

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bericht der Bundesregierung über die Nutzung der Solartechnik für die Niedertemperatur-Wärmeversorgung in der Bundesrepublik Deutschland

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorbemerkung	3
Teil 1: Bilanz über die Förderung von Techniken zur Nutzung der Sonnenenergie für die Niedertemperatur-Wärme-Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland	4
1. Stand der Technologie vor Beginn der Förderung	4
2. Zielvorstellungen der Bundesregierung 1974 und spätere Ergänzungen	4
— Forschungs- und Entwicklungsziele	4
— Marktvorstellungen	4
3. Heutige Situation und Bewertung des technischen Standes und der Marktentwicklung	5
— Solaranlagen	5
— Wärmepumpenanlagen	7
4. Perspektiven für die Zukunft	8
— Marktpotential	8
— Forschung, Entwicklung und Demonstration	9
— Maßnahmen zur Schließung der Lücke zwischen Entwicklung und Markteinführung	9
Anhang: Technische Bewertung des Entwicklungsstands von Wärmepumpen- und Solaranlagen	10
A. Komponenten — technischer Stand	10
a) Solarkollektoren	10
b) Wärmepumpen	10
c) Wärmespeicher	11

	Seite
B. Anlagen — technischer Stand und Wirtschaftlichkeit	11
a) Solaranlagen	11
b) Wärmepumpenanlagen	14
c) Wärmepumpen- und Solaranlagen für Sportstätten	18
Teil 2: Erfahrungen mit Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstra- tionsanlagen	20
1. Zukunftsinvestitionsprogramm	20
1.1 Ausgangssituation und förderungspolitischer Charakter	20
1.2 Ziele	21
1.3 Maßnahmen	21
1.4 Begleitendes Meßprogramm	22
1.5 Erfahrungen und Ergebnisse	23
2. Bäder und Sportstätten	26
2.1 Freibad Wiehl	26
2.2 Rationelle Energieverwendung in Bädern	27
2.3 Sportzentrum Paderborn	28
2.4 Schulzentrum Altenkunstadt	28
2.5 Sporthalle Unterensingen	28
2.6 Sportzentrum Leingarten	29
3. Hausbereich und kommunale Einrichtungen	29
3.1 Solarhaus Aachen	29
3.2 Solarhaus Freiburg	30
3.3 Solarhaus Essen	30
3.4 Solarhaus Otterfing	30
3.5 Solar-Warmwasserversorgung in Fertighäusern	31
3.6 Heggbacher Einrichtung	31
3.7 Technische Fachhochschule Berlin	31
3.8 Rathaus Ahlen	31
3.9 Theaterneubau Heilbronn	32
4. Gebrauchstauglichkeitstests und Akzeptanzumfragen	32
4.1 Kleine Brauchwasseranlagen	32
4.2 Umfragen	33
5. Schlußfolgerungen	33
5.1 Technik	33
5.2 Wirtschaftlichkeit	35

Vorbemerkung

Der Deutsche Bundestag hat in seiner Sitzung am 29. April 1982 entsprechend einer Beschlußempfehlung des Ausschusses für Forschung und Technologie vom 10. März 1982 (Drucksache 9/1461) die Bundesregierung aufgefordert, über die Förderung der Solartechnik in der Bundesrepublik Deutschland zu berichten.

Der Beschluß des Deutschen Bundestages lautet wie folgt:

Der Bundestag wolle beschließen, die Bundesregierung zu ersuchen,

1. auch weiterhin alles zu unternehmen, die Nutzung der Sonnenenergie in der Bundesrepublik Deutschland zu fördern, wobei von der Erwartung ausgegangen wird, daß die Förderung der Solarenergienutzung bei der geplanten Fortsetzung des Bund-Länder-Programms zur Förderung heizenergiesparender Maßnahmen gebührend berücksichtigt wird;
2. in einer angemessenen Frist einen Bericht vorzulegen, der
 - die Erfahrungen mit den in Betrieb befindlichen Demonstrationsanlagen darstellt,
 - durch Kosten-Nutzen-Analysen belegt, ob und inwieweit künftig der Energiebedarf öffentlicher Gebäude (Bürgerhäuser, Stadthallen, Mehrzweckhallen, Turnhallen, Schwimmbäder) mit Sonnenenergie gedeckt und bestehende Heizungsanlagen umgerüstet werden können,
 - aufzeigt, wie die Lücke zwischen Entwicklung und Markteinführung auch bei kleineren Anlagen geschlossen werden kann.

Die Bundesregierung entspricht dem Berichtsbegehren des Deutschen Bundestages zum jetzigen Zeitpunkt, um die bisher mit den *Demonstrationsanlagen* gesammelten Erfahrungen so frühzeitig wie möglich vorzulegen, obwohl zum Teil nur einjährige oder kürzere Betriebszeiten vorliegen und die letzten Anlagen erst Ende 1983 in Betrieb genommen wurden.

In den Erfahrungsbericht wurden auch Ergebnisse von *Forschungs- und Entwicklungsprojekten*, die in

den Jahren 1975 bis 1983 durchgeführt wurden, aufgenommen.

Die im Bericht angegebenen Marktdaten beruhen auf Angaben des Zentralverbandes der Elektrotechnischen Industrie (ZVEI) und des Bundesverbandes Solarenergie e. V. (BSE), die Wirtschaftlichkeitsausagen auf einer gemeinsamen Veröffentlichung des BSE und der Deutschen Sektion der Internationalen Gesellschaft für Sonnenenergie e. V. (ISES).

Die Bundesregierung nutzt die Vorlage des mehr technisch orientierten Erfahrungsberichts, um gleichzeitig aus ihrer heutigen Sicht eine Bilanz für den Bereich Solar- und Wärmepumpenanlagen zu ziehen. Sie setzt sich dabei mit den in Anlehnung an die energiepolitische Grundausrichtung gesetzten forschungs- und technologiepolitischen Zielen, dem früher von der Bundesregierung angegebenen Marktpotential und der angestrebten Markteinführung im Lichte des bisher Erreichten auseinander und erläutert ihre neuen politischen Zielvorstellungen.

Der Bericht bezieht sich — entsprechend dem Begehren des Deutschen Bundestages — *ausschließlich* auf die Anwendung der Solartechnik im *Niedertemperaturbereich* in der Bundesrepublik Deutschland und nicht auf die übrigen Bereiche der Solartechnik wie passive Sonnenenergienutzung, Prozeßwärme, Photovoltaik, Biomasse oder Windenergie.

Der Bericht ist daher in zwei Teile gegliedert:

Teil 1 gibt eine Bilanz über die Förderung von Techniken zur Nutzung der Sonnenenergie für die Niedertemperatur-Wärme-Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland, die auf den im *Anhang zu Teil 1* enthaltenen technisch-wirtschaftlichen Betrachtungen basiert. Die Maßnahmen der Bundesregierung werden erläutert, mit denen die Lücke zwischen technischer Entwicklung und Markteinführung geschlossen werden soll. Der Anhang zu Teil 1 enthält die geforderten Wirtschaftlichkeitsanalysen zur Solartechnik.

In *Teil 2* wird über die Erfahrungen mit Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsanlagen berichtet.

Teil 1

Bilanz über die Förderung von Techniken zur Nutzung der Sonnenenergie für die Niedertemperatur-Wärme-Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland

1. Stand der Technologie vor Beginn der Förderung

Vor der Ölpreiskrise der Jahre 1973/74 wurden in der Bundesrepublik Deutschland — abgesehen von akademischen Einzelfällen — keine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Nutzung der Sonnenenergie durchgeführt.

Die Industrie hatte zum Teil in internen Papieren analysiert, daß mit Solartechnik bei einem Ölpreinsniveau von seinerzeit 0,07 bis 0,08 DM pro Liter kein Markt aufgebaut werden kann.

In einigen sonnenreichen Ländern wie Australien, USA, Frankreich und Israel liefen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten teilweise schon seit Beginn der vierziger Jahre sehr erfolgreich. Insbesondere in Israel sind solare Warmwasserbereiter schon lange weit verbreitet.

2. Zielvorstellungen der Bundesregierung 1974 und spätere Ergänzungen

Drastisch steigende Ölpreise, die starke politische und wirtschaftliche Abhängigkeit von Ölimporten, die befürchtete Verknappung der Energieressourcen, aber auch die Notwendigkeit eines verstärkten Umweltschutzes veranlaßten die damalige Bundesregierung, alle Möglichkeiten zu untersuchen, mit denen die bedrohliche Ölabhängigkeit vermindert bzw. mit denen neue Energieressourcen erschlossen werden konnten.

Geleitet von ihrer Vorsorgepflicht gemäß den im Energieprogramm und der Ersten Fortschreibung formulierten Zielen

- mittel- und langfristige Sicherung der Energieversorgung,
- Bereitstellung der Energie zu günstigen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten auf lange Sicht,
- sachgerechte und frühzeitige Berücksichtigung der Erfordernisse des Umweltschutzes und des Schutzes der Bevölkerung und der Beschäftigten vor Gefahren bei Energieumwandlung und Anwendung von Energie,
- Steigerung der technologischen Leistungsfähigkeit zur Erhaltung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit in der Energietechnik

sollten neue Handlungsmöglichkeiten zur Umstrukturierung des Energiemarktes ermittelt werden.

Dazu zählte auch, unter den geänderten Rahmenbedingungen die Möglichkeiten und Grenzen zur

Nutzung der Sonnenenergie und ihre Bedeutung für die zukünftige Energieversorgung aufzuzeigen.

Mit der „Sammlung experimentell gesicherter Daten über die Einsatzmöglichkeiten von Sonnenenergie in europäischen Breiten“ (Rahmenprogramm Energieforschung 1974 bis 1977) sollte eine Basis für die Entscheidung über weitergehende Maßnahmen geschaffen werden.

— Forschungs- und Entwicklungsziele

Analysen zeigten, daß insbesondere im Niedertemperaturbereich Sonnenenergie mit hohem Wirkungsgrad nutzbar gemacht werden kann (Anhang). Gleichzeitig bestand eine hohe Nachfrage nach Niedertemperaturwärme (40% des Endenergiebedarfs), der überwiegend mit Öl gedeckt wird.

Durch die Nutzung der Sonnenenergie zeichnete sich somit eine qualitativ neue Möglichkeit ab, die den Energiemarkt beherrschende Ölabhängigkeit zu vermindern.

Durch gezielte Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten, die zum überwiegenden Teil in der Industrie durchgeführt wurden, sollte der Vorsprung des Auslands aufgeholt und eine Solartechnik, die unter den Klimabedingungen der Bundesrepublik Deutschland wirtschaftlich einsetzbar ist, entwickelt und erprobt werden.

1977 wurden die Zielvorstellungen im Programm „Technologien zur Nutzung der Sonnenenergie 1977 bis 1980“ konkretisiert. Neben dem politischen Ziel, Sonnenenergie zur Nutzung im eigenen Land verfügbar zu machen, wurde mit diesem Programm auch angestrebt, Anwendungspotentiale im Ausland, insbesondere in sonnenreichen Ländern der Dritten Welt, zu erschließen.

Bei den Energiepreisen von 1977 wurde von der Bundesregierung noch keine Möglichkeit gesehen, daß Solartechnik zu anderen Energieträgern wirtschaftlich konkurrenzfähig werden konnte.

Aufgrund erster erfolgversprechender technischer Lösungsansätze waren daher die Bemühungen, Solartechnik zu entwickeln und in den Markt einzuführen, langfristig angelegt. Die Zeiträume wurden nach Jahrzehnten bemessen.

— Marktvorstellungen

In der Informationsanlage zur „Zweiten Fortschreibung des Energieprogramms (14. Dezember 1977)“ werden von den wirtschaftswissenschaftlichen Instituten Perspektiven für einen zukünftigen Anteil regenerativer und sonstiger fossiler Energien (Ölsande und -schiefer) im Jahr 2000 erörtert. Für die Bundesrepublik

Deutschland weisen die Schätzergebnisse für das Jahr 2000 einen Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland von 560 Mio. t SKE aus, wobei perspektivisch 4 bis 5 % oder 25 bis 30 Mio. t SKE sonstigen Energieträgern, wozu insbesondere Umgebungswärme (Wärmepumpen) und Sonnenenergie (Solarkollektoren) gehören, zugerechnet werden*).

Die Institute schätzen für den Weltenergiemarkt bis zum Jahr 2000 zwar einen absolut stark ansteigenden Beitrag der regenerativen und sonstigen fossilen Energien, ihr relativer Beitrag wird aber auf 1 bis 2 % begrenzt sein**). Es wird deutlich hervorgehoben, daß alle Schätzungen höchst unsicher sind, weil der Energiebedarf und die tatsächlichen Energiepreise ebenso wenig vorhergesehen werden können wie die technischen Entwicklungen. Bei entsprechenden Entwicklungsanstrengungen wird den regenerativen und sonstigen fossilen Energien ein beträchtliches Potential für die Zeit nach der Jahrhundertwende zugeschrieben.

In der Dritten Fortschreibung des Energieprogramms (4. November 1981) wird der zukünftige Beitrag der erneuerbaren Energiequellen auf Grund von Schätzungen wissenschaftlicher Institute und der Industrie für das Jahr 2000 in der Größenordnung zwischen 1 und 5 % für die Bundesrepublik Deutschland angegeben.

— Maßnahmen zur Förderung der Markteinführung

Die Landesregierung Baden-Württemberg veröffentlichte 1977 ihr Programm zur Einsparung von Energie. Darin war u. a. vorgesehen, 500 Solaranlagen zur Warmwasserbereitung mit einem Investitionskostenzuschuß von 30 % zu fördern. Außerdem sollte der praktische Einsatz von Wärmepumpenanlagen zur Raumheizung in Demonstrationsanlagen erprobt werden.

Baden-Württemberg war damit das erste Bundesland, in dem der private Käufer motiviert werden sollte, die ersten in der Bundesrepublik Deutschland hergestellten Solar- bzw. Wärmepumpenanlagen anzuschaffen. Die Wirtschaftlichkeit und die Bewährung der Technik war zwar noch nicht gegeben, es sollte jedoch frühzeitig versucht werden, einen Markt durch Käufernachfrage in Bewegung zu bringen und dadurch den Übergang in eine industrielle Serienproduktion zu erleichtern.

Das 4,35 Mrd. DM-Bund-Länderprogramm zur Einsparung von Heizenergie trat am 1. Juli 1978 in Kraft. Wärmepumpen- und Solaranlagen konnten entweder im Antragsverfahren mit einem Zuschuß von 25 % bei einer Höchstgrenze der Investitionskosten von 12 000 DM gefördert oder über § 82a Einkommensteuereinführung

ungsverordnung (EStDV) in zehn Jahresraten (ohne Limitierung der Investitionskosten) erhöht steuerlich abgeschrieben werden.

Ebenfalls im Jahre 1978 wurde der § 4a Investitionszulagengesetz (InvZulG) um den Fördertatbestand „Solaranlagen“ erweitert; Wärmepumpenanlagen wurden bereits im Rahmen dieses Gesetzes seit 1975 gefördert. Mit diesen Fördertatbeständen sollte privaten Investoren und der gewerblichen Wirtschaft ein Anreiz zum Sparen von Energie gegeben werden. Gleichzeitig wurde die Möglichkeit gesehen, die Markteinführung solarer Energiesysteme verstärkt zu unterstützen.

Die wesentliche politische Motivation der Programme und Maßnahmen lag in der immer noch bedrohlichen Ölabhängigkeit begründet. Erst in zweiter Linie wurden sie auch als Instrumente zur Markteinführung neuer Technologien gesehen.

Ein weiterer markanter Fördertatbestand für Wärmepumpen- und Solaranlagen war im Zukunftsinvestitionsprogramm verankert, in dem 31 Mio. DM für die Jahre 1978 bis 1980 bereitgestellt wurden, um Demonstrationsanlagen in geeigneten bundeseigenen Gebäuden zu errichten.

Der im Entstehen begriffene Markt für Solartechnik sollte durch gezielte Maßnahmen der öffentlichen Beschaffung unterstützt werden. Gleichzeitig wurde die Möglichkeit eröffnet, die zuständigen Behörden, Bauverwaltungen und Genehmigungsbehörden durch eigene Projekte an die Solartechnik heranzuführen. In die Erprobung sollten insbesondere auch Anlagenkomponenten und -systeme aufgenommen werden, die ohne staatliche Forschungs- und Entwicklungsförderung hergestellt worden waren.

Anfängliche Behinderungen bei der baurechtlichen Genehmigung von Solaranlagen wurden durch Beschluß der Innenministerkonferenz (14. Juni 1977) sowie durch eine Empfehlung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau und seiner Länderkollegen überwunden.

Die Bundesregierung hat bisher aus dem Einzelplan 30 für Forschung, Entwicklung und Demonstration von Wärmepumpen- und Solaranlagen zur Nutzung von Niedertemperaturwärme von 1974 bis 1983 (einschließlich ZIP-Programm) rd. 177 Mio. DM zur Verfügung gestellt.

Nach Angaben des BSE und ZVEI stehen diesen Beträgen Aufwendungen der Industrie in Höhe von insgesamt 350 Mio. DM für Forschung, Entwicklung und Demonstration, Bau von Produktionsanlagen, Schulung und Vertrieb gegenüber.

3. Heutige Situation und Bewertung

— Solaranlagen

Die Umwandlung von Sonnenenergie in Niedertemperaturwärme ist heute technisch einfach

*) Energieprogramm der Bundesregierung, Zweite Fortschreibung vom 14. Dezember 1977, Teil II, Seiten 37 und 38.

**) Energieprogramm der Bundesregierung, Zweite Fortschreibung vom 14. Dezember 1977, Teil III, Seiten 43 und 44.

gelöst. Bei den *Komponenten* stehen einfache Flachkollektoren der ersten Generation in den unterschiedlichsten Ausführungen zur Verfügung und werden von der Industrie angeboten, während Hochleistungs-Flachkollektoren mit Vakuum-Röhren (zweite Generation) zur Zeit noch nicht serienmäßig von der deutschen Industrie produziert werden.

Die Entwicklung von *Solaranlagen* ist technisch erfolgreich verlaufen. Die einfacheren Anlagen der ersten Generation können aus wirtschaftlichen Gründen praktisch nur zur Erzeugung von warmem Brauchwasser eingesetzt werden. Sie erreichen in der Bundesrepublik Deutschland nur in besonders günstigen Fällen die Schwelle der Wirtschaftlichkeit, haben jedoch in Mittelmeerländern eine Marktchance. Anlagen der zweiten Generation mit Hochleistungs-Kollektoren erbringen unter den Klimabedingungen der Bundesrepublik Deutschland wesentlich höhere Wirkungsgrade und besseres Anlageverhalten. Ihre Marktchancen in unserem Land werden wesentlich von dem künftigen Marktpreis mit beeinflußt werden.

Solaranlagen zur *Raumheizung* sind im Normalfall technisch zu aufwendig und dadurch zu teuer.

Bei *Solaranlagen* ist der Installationsaufwand mit rd. 50% der gesamten Anlagekosten sehr hoch, was sich in der wirtschaftlichen Bilanz negativ auswirkt. Der Wartungsaufwand liegt in dem für technische Systeme üblichen Rahmen. Über die Lebensdauer ist noch keine abschließende Beurteilung möglich.

Keine wirklichen Fortschritte sind bei der Entwicklung eines Wärmespeichers, der nach wie vor die schwächste Komponente in einer Solar- bzw. Wärmepumpenanlage ist, zu verzeichnen.

Als Medium für die *Speicherung* von Niedertemperaturwärme wird heute ausnahmslos Wasser benutzt. Zwar wurden auch latent- und thermochemische Speicher entwickelt sowie Kiesspeicher für Luftsysteme untersucht, für den praktischen Einsatz sind sie jedoch bis heute ohne Bedeutung geblieben.

Die überwiegend angewandte Speichertechnik stammt aus der konventionellen Heiztechnik, dabei wurden oft Fehler, die dort nicht auffallen, übernommen.

Die gesteckten Ziele wurden bisher nicht erreicht. Es besteht auch für die Zukunft ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Neue technische Ansätze sind beim Vakuum- und Zeolithspeicher erkennbar, das Preis-Leistungsverhältnis dieser Speichertypen muß jedoch erheblich verbessert werden. Jeglicher Fortschritt in der Wärmespeicherung hat Bedeutung weit über die Solartechnik hinaus.

Heute sind mehr als 200 000 m² Solarkollektorfläche in mehr als 20 000 Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland installiert. Mit diesen Anlagen werden schätzungsweise jährlich rd.

6 Mio. Liter Heizöl eingespart. Etwa 55 000 m² Kollektorfläche wurden bisher ins Ausland verkauft, 87 000 m² wurden importiert, insbesondere aus Österreich und der Schweiz. Der Marktumsatz (1983) von Solaranlagen liegt mit rd. 15 000 m² Kollektorfläche, von denen rd. 10 000 m² exportiert wurden, derzeit bei einem Tiefpunkt.

Er ist erheblich hinter den Erwartungen zurückgeblieben, die aus der starken Expansion der Anfangsjahre von Regierung und Industrie abgeleitet wurden. Nach den Anfangsjahren 1977/78 mit insgesamt 30 000 m² verkaufter Kollektorfläche in 3 000 Anlagen erreichte der Marktumsatz im Jahre 1979 seinen Höhepunkt mit rd. 80 000 m² Kollektorfläche und 8 000 Anlagen.

Der Absatzrückgang führte dazu, daß einzelne Firmen die Produktion von Solarkollektoren einstellten oder eine Fertigung in Südeuropa aufnahmen bzw. zu einer Lizenzfertigung übergingen. Sieben von 14 mit Mitteln des BMFT geförderten Firmen produzieren (z. T. Auftragsproduktion, d. h. keine Serienfertigung) derzeit Kollektoren in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Marktentwicklung für Solaranlagen wird in erster Linie von der Entwicklung der Ölpreise bestimmt. Die Absatzplanungen der Hersteller bauten auf realen jährlichen Ölpreissteigerungen auf, die die Konkurrenzfähigkeit der Anlagen positiv beeinflußt hätten. Seit Anfang 1981 stagnieren die Heizölpreise in Deutschland jedoch, wodurch den Verbrauchern die Begrenztheit dieses Energieträgers weniger bewußt und seine Investitionsneigung verringert wird. Trotz der zur Zeit entspannten Situation am Weltölmarkt sind langfristig Ölpreissteigerungen wahrscheinlich.

Hinzu kommt, daß auch die zum Teil überhöhten technischen Erwartungen der Käufer von Solaranlagen mit den Produkten der ersten Generation nicht immer erfüllt werden konnten, was zu einer „Negativwertung“ führte. Die nach wie vor hohen Anlagepreise bilden eine Hemmschwelle, die sich besonders in der zurückliegenden Rezessionsphase sehr negativ auswirkte.

Über die rein ökonomischen Bedingungen hinaus ist eine Investitionsentscheidung aber auch von einer allgemeinen Stimmungslage abhängig. Eine betonte Problematisierung und zum Teil widersprüchliche Aussagen in den Medien führten ebenfalls zu Verunsicherungen beim Verbraucher.

Bei heutigen Ölpreisen können — abgesehen von Sonderfällen — Anlagen zur Warmwasserbereitung nur dann wirtschaftlich konkurrenzfähig werden, wenn sie wie derzeit öffentlich gefördert werden. Die geltende steuerliche Abschreibung nach § 82 a EStDV entspricht bei einem Steuersatz von 36 % und einem Zinssatz von 8 % dem in der Modellrechnung (Anhang) verwendeten Zuschußsatz von 25 %.

Die Auswirkungen des 4,35 Mrd. DM-Energiesparprogramms auf den Solarmarkt lassen sich noch nicht abschließend beurteilen, da statisti-

sche Unterlagen bisher nur für den gewährten Finanzzuschuß vorliegen. Für Wärmepumpen- und Solaranlagen wurde weniger als 1 % der Mittel in Anspruch genommen. Die entsprechenden Daten für die Nutzung der steuerlichen Abschreibungsmöglichkeiten sind frühestens 1986 verfügbar.

Zusammenfassend wird festgestellt:

1. Die technische Entwicklung von Flachkollektoren ist ausgereift; mit dem Einsatz von fortgeschrittenen Vakuumkollektoren kann in näherer Zukunft ein Fortschritt in der Solartechnik erwartet werden.
2. Wärmespeicher, die für die Nutzung der Sonnenenergie von zentraler Bedeutung sind, befinden sich noch in einem technisch unbefriedigenden Zustand. Abgesehen von punktuellen, wenn auch wichtigen Detailverbesserungen, sind derzeit keine durchschlagend neuen Perspektiven erkennbar.
3. Nach anfänglichen Erfolgen ist die Markterschließung trotz staatlicher Fördermaßnahmen steckengeblieben.

— Wärmepumpenanlagen

Der Einsatz von elektrischen Wärmepumpen zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme für Raumheizung und warmem Brauchwasser ist heute in den unterschiedlichsten Leistungsbereichen technisch gelöst. Während in der ersten Generation Komponenten der Kältetechnik verwendet wurden, werden heute Kompaktaggregate angeboten, die speziell auf Wärmeerzeugung optimiert wurden.

Wärmepumpenanlagen mit Gas- oder Dieselmotorantrieb sind für größere Heizleistungen technisch erprobt. Kleinere Leistungseinheiten sind noch Gegenstand der Forschung und Entwicklung. Mit einem Angebot für den Einsatz zur Raumheizung im Ein-/Zweifamilienhaus (kleiner 20 kW_{thermisch}) ist erst in den nächsten Jahren zu rechnen.

Absorptionswärmepumpen standen bisher nur für sehr große Wärmeleistungen zur Verfügung. Neuerlich werden sie auch für 10 bis 40 kW angeboten.

Der Installationsaufwand für Wärmepumpenanlagen ist sehr hoch (bis zu 50 % der Anlagekosten). Der Wartungsaufwand ist vergleichbar mit dem konventioneller Heizkessel.

Über die Lebensdauer von Wärmepumpenanlagen liegen noch keine statistisch gesicherten Daten vor, eine abschließende Beurteilung ist daher nicht möglich.

Wärmepumpenanlagen können in Ergänzung zu bestehenden Öl- oder Gasheizungen für bivalenten oder monovalenten Betrieb ausgelegt und eingesetzt werden. Sie eröffnen dem Verbraucher die Möglichkeit, auf Veränderungen im Energiepreisgefüge flexibel zu reagieren, indem er bei stärker steigenden Ölpreisen den elektrischen Anteil des Systems oder umgekehrt bei stärker steigenden Strompreisen den Ölanteil erhöhen kann.

Mehr als 200 000 elektrisch angetriebene Wärmepumpenanlagen wurden in der Bundesrepublik Deutschland bisher installiert, rd. 130 000 Anlagen für die Erzeugung von warmem Brauchwasser und rd. 75 000 für Raumheizung. Die Zahl der verbrennungsmotorisch angetriebenen Wärmepumpenanlagen wird von der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch (ASUE) mit etwa 500 angegeben.

Mit diesen Anlagen werden schätzungsweise rd. 130 Mio. l Heizöl pro Jahr eingespart bzw. durch andere Energieträger wie Kohle und Kernenergie substituiert. Die Öleinsparung entlastet die Zahlungsbilanz mit rd. 100 Mio. DM pro Jahr.

Eine Statistik über die Zahl der exportierten bzw. importierten Wärmepumpenanlagen besteht nicht.

Auch der Wärmepumpenmarkt ist erheblich hinter früheren Erwartungen der Bundesregierung und der Industrie zurückgeblieben, nicht nur in seiner absoluten Größe, sondern insbesondere in seiner zeitlichen Entwicklung. Bis 1977 wurden 6 000 Anlagen installiert, 1978 waren es 11 000 Anlagen, davon 3 000 Brauchwasseranlagen. Das Maximum der Verkaufszahlen fällt mit 58 000 Anlagen (davon 40 000 Brauchwasserwärmepumpen) in das Jahr 1981. Heute (1983) liegen diese Zahlen bei 43 000 verkauften Anlagen, davon ca. 35 000 zur Brauchwassererwärmung.

Die Zahl der Herstellerfirmen hat sich von anfänglich 140 auf heute rd. 50 reduziert mit einer weiteren Tendenz zur Konzentration. Die Gründe für die Marktentwicklung sind ähnlich gelagert wie im Fall der Solaranlagen.

Bei heutigen Energiepreisen können Wärmepumpenanlagen mit bestehenden öffentlichen Vergünstigungen nach § 82 a EStDV bzw. § 4 a InvZuG in bestimmten Anwendungsfällen konkurrenzfähig zu anderen Arten der Wärmeerzeugung sein (Anhang). Für die im Anhang beschriebenen Fälle liegen die Wärmegestehungskosten für alle Arten der Wärmeerzeugung in einer Grauzone von 0,15 bis 0,17 DM pro Kilowattstunde. Bei der Wertung dieser spezifischen Wärmegestehungskosten ist zu berücksichtigen, daß sowohl für Öl als auch für Strom ein Anstieg der Energiepreise in Höhe einer antizipierten durchschnittlichen Inflationsrate von 5 % unterstellt wurde. Diese Vorgehensweise ist insofern als konservativ anzusehen, als in der Vergangenheit ein Auseinanderstreben der Preise zwischen Öl und Strom zugunsten des Stromes beobachtet werden konnte. Auch ohne Berücksichtigung vorausgeschätzter Stromkostenvorteile für Wärmepumpen zeigt sich bereits heute ein Gleichgewicht zwischen Wärmepumpen und Ölkesseln. Wärmepumpen weisen heute im allgemeinen zwar noch keinen wirtschaftlichen Vorteil, keinesfalls aber wirtschaftliche Nachteile aus.

Ähnlich deutlich ausgeprägt wie bei Solaranlagen existiert auch für Wärmepumpenanlagen

wegen der hohen Anlagekosten eine Hemmschwelle bei der Investition.

Es ist zu erwarten, daß der Entwicklungstrend zu kleineren Anlagekapazitäten, zu weitergehender Integration der Komponenten und damit zu verbesserter industrieller Vorfertigung bei gleichzeitiger Senkung der Installationskosten sich insgesamt günstig für den Wärmepumpeneinsatz auswirkt.

Wegen der in der Vergangenheit beobachteten Engpässe im Installationsgewerbe und um die Installationskosten deutlich zu senken, haben einige, neuen Energietechniken gegenüber aufgeschlossene Handwerkskammern, inzwischen Energiespar- und Wärmepumpenlabors für Aus- und Fortbildungszwecke eingerichtet.

Obwohl VdEW und einzelne EVU den Einsatz der elektrischen Wärmepumpen befürworten und auch Werbung betreiben, schlägt sich diese positive Grundhaltung nicht in allen Regionen der Bundesrepublik Deutschland in der praktischen Handhabung nieder.

Zusammenfassend läßt sich feststellen:

1. Die technische Entwicklung hat zu ausgereiften Konzepten von Wärmepumpenanlagen geführt, die in bestimmten Anwendungsfällen konkurrenzfähig eingesetzt werden können.
2. Wirtschaftliche Vorteile sind bei steigenden Ölpreisen und bei weiter sinkenden Anlagekosten zu erwarten.
3. Trotz staatlicher Fördermaßnahmen hat der Markt bislang nicht den Umsatz gebracht, der nach den Anfangsjahren erhofft wurde.

4. Perspektiven für die Zukunft

Die Bundesregierung ist auf der Basis der bisher durchgeführten Projekte heute in der Lage, die Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpen- und Solaranlagen realistisch einzuordnen.

Die Zeit des orientierenden Suchens nach geeigneten Wärmepumpen- und Solarsystemen, die langfristig eine Möglichkeit bieten, den Ölverbrauch im Wärmemarkt in Zukunft weiter zu reduzieren und die zur Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland Beiträge leisten können, ist abgeschlossen. Die Techniken sind bekannt und durch die bisherige Förderung und Demonstration auch weitgehend ausgereift. Es lassen sich heute je keine relevanten Innovationspotentiale erkennen, die nicht von der Wirtschaft im wesentlichen selbst erschlossen werden können. Es geht nunmehr um die Verbreitung vorliegender Erkenntnisse und die Propagierung der neuen technischen Lösungen am Markt.

Mit der verfügbaren Technik ist es nicht nur möglich, den Primärenergieverbrauch zu senken, sondern auch heimische Energieträger, vor allem

Kohle — aber auch Kernenergie — für den Wärmemarkt anwenderfreundlich verfügbar zu machen. Durch Investitionen in neue Technologien können laufende Ausgaben für die Bereitstellung von Energiedienstleistungen ersetzt werden. Dies kann auch durch kluges Verbraucherverhalten in gewissem Umfang zu Stabilisierungseffekten auf das Energiepreisniveau führen.

Mit der Wärmepumpen- und Solartechnik kann ein wünschenswerter Beitrag zur Entlastung der Umwelt geleistet werden, sowohl durch den reduzierten Primärenergieverbrauch, als insbesondere auch durch die Verminderung fossil befeuerter dezentraler Einzelheizungen.

Die Bundesregierung wird die Wärmepumpen- und Solartechnik im Rahmen ihrer energie-, umwelt- und industriepolitischen Ziele weiter fördern.

— Marktpotential

Weiterhin wird als Langfristspektive die Möglichkeit gesehen, daß ein bedeutender Anteil des Niedertemperatur-Wärmemarktes durch Wärmepumpen- und Solaranlagen versorgt werden kann.

Ob die ursprünglich gesehenen 1 bis 5 % für die regenerativen Energien an der Gesamtenergieerzeugung im Jahre 2000 erreicht werden, kann nicht vorausgesagt werden, da der Anteil an der Gesamtenergieversorgung entscheidend von der Entwicklung des Öl- und Gaspreises abhängen wird. Von den technischen Möglichkeiten her ist ein solcher Beitrag jedoch durchaus denkbar. Insbesondere der Wärmepumpenmarkt wird bei Ansteigen des Ölpreises schnell und wirksam reagieren können, da der erzielbare Öl-Einspar-effekt mit einer spezifisch niedrigeren Investition als derzeit erreichbar erscheint.

Der Markterfolg wird darüber hinaus aber auch davon abhängen, inwieweit es politisch gelingt, die gesamtwirtschaftlichen Vorteile dieser Techniken herauszustellen. In diesem Zusammenhang ist insbesondere der Einsatz der elektrischen Wärmepumpe zu sehen. Hier sollte auch die Energiewirtschaft die bestehenden Möglichkeiten zur unternehmerischen Unterstützung der Markteinführung ausschöpfen; sie sollte insbesondere bei der Gestaltung der Bedingungen für den Einsatz von Wärmepumpen mehr Flexibilität zeigen.

In den USA und in Japan werden Elektro-Wärmepumpen vor allem auch als Klimageräte in großen Stückzahlen hergestellt und verkauft. USA und Japan haben die (Notwendigkeit zur) Klimatisierung im Sommer als wirtschaftlichen Hintergrund, so daß in der Regel nur die Mehrkosten für verhältnismäßig geringen zusätzlichen Geräteaufwand und die Heizungsanbindung dem Wärmepumpenbetrieb anzulasten sind. Diese besonderen Voraussetzungen sind nicht auf die Bundesrepublik Deutschland übertragbar. Sie führen in diesen Ländern jedoch zur Produktion in beachtlichen Serien mit entspre-

chenden Kostenvorteilen. Insbesondere japanische Hersteller bieten deshalb heute ausgereifte, an den europäischen Markt angepaßte Geräte kleiner und mittlerer Leistung zu sehr günstigen Preisen an.

— Forschung, Entwicklung und Demonstration

Die Bundesregierung wird jetzt in erster Linie die in bundeseigenen Gebäuden installierten Anlagen und Systeme über einen längeren Zeitraum meßtechnisch begleiten, die Erfahrungen auswerten und die Ergebnisse verfügbar machen. Produzenten von Wärmepumpen- und Solaranlagen sollen damit in die Lage versetzt werden, aufgrund von Schwachstellenanalysen die Leistungsfähigkeit und die Betriebseigenschaften ihrer Anlagen weitgehend in eigener Verantwortung und Finanzierung zu verbessern.

Bei den Wärmespeichern, deren Entwicklung mangels grundlegend neuer Ideen auf einem unbefriedigenden Stand stehen geblieben ist, soll gezielt nach neuen Konzepten gesucht werden; allerdings dürfen hieran keine überhöhten Erwartungen geknüpft werden.

Für Wärmepumpen sollen Fördermittel, abgesehen von Einzelproblemen, nur noch für die Entwicklung von Stirling- und Absorptionswärmepumpen bereitgestellt werden.

Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf mit z. T. grundlegend neuen Fragestellungen besteht bei Untersuchungen von kombinierten Systemen aktiver und passiver Solartechnik.

Insgesamt gesehen wird daher in der Zukunft die Förderung auf Techniken mit größerer Entwicklungstiefe und höherem Innovationspotential konzentriert, bei denen Wirtschaftlichkeit durch technische Entwicklungssprünge erreichbar erscheint.

— Maßnahmen zur Schließung der Lücke zwischen Entwicklung und Markteinführung

Ohne innovationsfreundliche Rahmenbedingungen kann bei den meisten neuen Technologien kurzfristig nicht mit einer erfolgreichen Markteinführung gerechnet werden. Wärmepumpen- und Solaranlagen bilden in dieser Hinsicht keine Ausnahme. Ein sich über mehrere Jahrzehnte erstreckender Zeitraum bis zur Kommerzialisierung kann als Regel angesehen werden.

Zur Verringerung der Lücke zwischen Entwicklung und Markteinführung hält die Bundesregierung jetzt indirekte Maßnahmen für geeignet, um den Markt von der Nachfrageseite her

zu beleben. Sie hat daher auch konsequenterweise die Fortführung der Förderung von Wärmepumpen- und Solaranlagen nach § 82 a EStDV beschlossen. Ebenso wird der Fördertatbestand des § 4 a InvZulG aufrechterhalten. Die Bundesregierung geht davon aus, daß durch Konzentrierung des § 82 a EStDV auf neue Technologien ein stärkerer Anreiz für potentielle Käufer geschaffen wurde.

Eine weitere Maßnahme, die bis 31. Dezember 1985 läuft, bisher aber nicht ausreichend für neue Technologien in Anspruch genommen wurde, ist das „Programm zur Einsparung von Energie im Gebäudebestand des Bundes“. Mit diesem Programm soll durch Maßnahmen der öffentlichen Beschaffung der Markt in geeigneter Weise unterstützt werden. Zur Auslotung und Stärkung des Exportpotentials soll auch von der Möglichkeit Gebrauch gemacht werden, unter Einsatz der verfügbaren Haushaltsmittel bei bundeseigenen Gebäuden im Ausland (z. B. Botschaftsgebäuden) verstärkt Wärmepumpen- und Solaranlagen zu Demonstrationszwecken einzubauen.

Da einerseits die technische Entwicklung schnell vorangekommen, andererseits die Nachfrage aufgrund der Ölpreisentwicklung hinter den Erwartungen zurückgeblieben ist, hält es die Bundesregierung für richtig, die Industrie in begrenztem Umfang bei der Suche nach Marktnischen bzw. Exportmöglichkeiten zu unterstützen, z. B. im Zuge von Beschaffungsmaßnahmen der öffentlichen Hand bzw. Anbahnung von Exportmöglichkeiten durch gezielte Information der Wirtschafts- und Wissenschaftsattachés bei den deutschen Botschaften über die heute schon vorhandenen Einsatzmöglichkeiten der Solartechnik vor allem in Ländern der Dritten Welt sowie Ausschöpfung der bereits vorhandenen Möglichkeiten zur Unterstützung von Unternehmen der Solarindustrie bei der Teilnahme an Fachmessen im Ausland.

Den meisten Bauherren, Architekten und Heizungsinstallateuren sind Wärmepumpen- und Solaranlagen kaum aus praktischer Erfahrung bekannt. Vor diesem Hintergrund hat der Bundesminister für Wirtschaft im Rahmen des Programms zur Förderung von Schulungs- und Informationsveranstaltungen über Maßnahmen zur sparsamen und rationellen Energieverwendung bereits spezielle Schulungsseminare für die Wärmepumpeninstallation unterstützt.

Es wird künftig weiterhin eine wichtige Aufgabe sein, Information und Beratung zu fördern, auch um psychologische Barrieren abzubauen.

Anhang zu Teil 1

Technische Bewertung des Entwicklungsstands von Wärmepumpen- und Solaranlagen

A. Komponenten — technischer Stand

- a) Solarkollektoren
- b) Wärmepumpen
- c) Wärmespeicher

B. Anlagen — technischer Stand und Wirtschaftlichkeit

- a) Solaranlagen
- b) Wärmepumpenanlagen
- c) Wärmepumpen- und Solaranlagen für Sportstätten

A. Komponenten — technischer Stand

a) Solarkollektoren

Der Solarkollektor bestimmt maßgeblich die einem Solarsystem zugeführte Energie und damit die Leistungsfähigkeit einer Anlage. Kollektoren weisen nach Wirkungsweise und Leistungscharakteristik erhebliche Unterschiede auf.

Die Entwicklung der Kollektoren der ersten Generation in den unterschiedlichsten Bauarten (Einfachverglasung, Doppelscheibenabdeckung, selektive Beschichtung; Absorberplatinen aus Kunststoff, Aluminium und Edelstahl; Wärmerohrkollektor; Wasser, Luft oder organische Substanzen als Wärmetransportmedium) kann im wesentlichen als abgeschlossen angesehen werden. Dies gilt allerdings unter dem Vorbehalt, daß das längerfristige Korrosionsverhalten und damit verbunden die Frage der Lebensdauer noch nicht abschließend beurteilt werden kann.

Dagegen gibt es noch eine Reihe von Entwicklungsmöglichkeiten für Hochleistungskollektoren (Vakuum-Röhren-Kollektoren), die gegenwärtig in verschiedenen Konstruktionsformen die Serienreife erlangt haben und als zweite Generation betrachtet werden können. Fortschritte sind hier auch im Bereich der Schnittstellen zwischen Kollektor und System zu erwarten.

Mit einer Vielzahl von Kollektoren ist das Ziel, eine geeignete Technik für den Einsatz unter dem Klima der Bundesrepublik Deutschland und für sonnenreiche Länder zur Verfügung zu haben, erreicht worden.

Der noch nicht in der heimischen Industrie serienmäßig produzierte Vakuumröhrenkollektor hat nach einer EG-Erhebung in einer Pilotanlage in Freiburg bessere Ergebnisse gebracht als der normale Flachkollektor im Mittelmeerraum.

Für Kollektoren mit Wasserfüllung wurde die DIN-Norm 4757 aufgestellt. Bei Luft- und Vakuumkollek-

toren steht eine Normung noch ebenso aus wie die verbindliche Aufstellung von Prüfbedingungen und Testverfahren. Eine Standardisierung der Kollektoren hinsichtlich Geometrie und Leistungsklassen wurde bisher nicht eingeführt, um nicht Angebotsvielfalt und Ideenwettbewerb zu frühzeitig zu beschränken.

Es besteht noch erheblicher FuE-Bedarf auf dem Gebiet des Korrosionsschutzes praktisch für alle Kollektorentypen und Werkstoffkombinationen.

Ebenso wichtig ist die Ermittlung des Alterungsverhaltens der in diesem Bericht aufgeführten Anlagen.

Für den Vakuumkollektor steht zur Serienreifmachung eine wertanalytische Überprüfung der Fertigungs- und Produktionstechnik noch aus.

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Luftkollektoren (Warmluftheizung, Temperierung von Hallen und auf passive Solarnutzung ausgerichtete Gebäude, Anwendung in der Landwirtschaft) bedürfen der weiteren Konkretisierung insbesondere im Hinblick auf neuartige Kollektorkonzepte.

Von den mit Mitteln des BMFT geförderten 14 Firmen produzieren (z. T. Auftragsproduktion) derzeit sieben Kollektoren in der Bundesrepublik Deutschland. Zwei weitere Firmen haben entweder die Produktion ins Ausland verlagert oder eine Lizenzfertigung im Ausland ermöglicht. Zwei Firmen haben ihre Aktivitäten eingestellt. Drei Firmen haben nach Beendigung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten keine Produktion aufgenommen.

Nach Angaben der Verbände produzieren zur Zeit noch rund 20 Firmen Solarkollektoren in der Bundesrepublik Deutschland.

b) Wärmepumpen

Elektrische Wärmepumpenaggregate kleiner und großer Leistung gehören heute zum Stand der Technik.

Gasmotorisch betriebene Aggregate werden vornehmlich für größere Heizleistungen angeboten; für den Einsatz im Einfamilienhaus sind sie noch nicht als erprobt anzusehen. Absorptionswärmepumpen standen bisher nur bei sehr großen Leistungseinheiten zur Verfügung, neuerlich werden sie auch im Bereich von 10 bis 40 kW angeboten.

Die angebotenen Produkte gehören im internationalen Vergleich zur Spitzenklasse. Für elektrische Wärmepumpen besteht eine Normung (DIN 8900). Ferner existiert eine Produktinformation unter dem Dach der Deutschen Gesellschaft für Produktinformation (DGPI).

Für die Entnahme der Wärme aus Erdreich, Wasser oder Luft steht eine Vielzahl ausgereifter Techniken aus den unterschiedlichsten Materialien zur Verfügung (Stahl-, Kupfer-, Aluminium-, Kunststoff- und Betonabsorber mit unterschiedlichen geometrischen Anordnungen wie Energiedach, -fassade, -stapel, -kugel, -baum sowie mit konventioneller Wärmetauschergeometrie).

In der Entwicklung befinden sich Diesel/Gasmotorwärmepumpen für den Einsatz in Einfamilienhäusern.

Es besteht weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarf für die Bestimmung des Leistungsverhaltens und der Geräuschminderung von Luftwärmetauscher und für die Lösung der Kopplungsprobleme von Wärmetauschern mit Wärmepumpenaggregaten. Vom technischen Potential und vom erwarteten Preis-Leistungsverhältnis her wird die in Entwicklung befindliche Stirling-Wärmepumpe als sehr attraktiv angesehen.

Die Entwicklung von Wankelmotoren für den gasmotorischen Wärmepumpeneinsatz ist über einen ersten Ansatz hinaus nicht weiter verfolgt worden.

Nach Auskunft des Zentralverbands der Elektrotechnischen Industrie (ZVEI) hat sich die Zahl der Hersteller von Wärmepumpen auf etwa 50 reduziert.

c) Wärmespeicher

Als Medium für die Speicherung von Niedertemperaturwärme wird heute ausnahmslos Wasser benutzt. Es wurden zwar auch Latent- und thermochemische Speicher entwickelt sowie Kiesspeicher für Luftsysteme untersucht, für den praktischen Einsatz sind sie jedoch bis heute ohne Bedeutung geblieben.

Wärmespeicher sind die schwächste Komponente in einer Solar- oder Wärmepumpenanlage, obwohl es keine prinzipiellen Wissenslücken gibt. Die in der überwiegenden Mehrzahl der Installationen angewandte Speichertechnik stammt aus der konventionellen Heiztechnik. Dabei wurden oft Fehler, die in den konventionellen Heizsystemen nicht auffallen, übernommen (konstruktive Detailfragen wie Ein- und Auskopplung der Wärme, Ausbildung einer Temperaturschichtung, Verluste durch Abstrah-

lung, Wärmeleitung und Temperaturmischung oder Oberflächen-Volumen-Verhältnis).

Die gesteckten Ziele wurden bisher nicht erreicht und es besteht auch für die Zukunft ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Es sind wichtige technische Ansätze wie z. B. beim Vakuum- und Zeolithspeicher erkennbar, das Preis-Leistungsverhältnis dieser Speichertypen muß jedoch erheblich verbessert werden.

Jeglicher Fortschritt in der Wärmespeicherung hat Bedeutung weit über das Gebiet der Solartechnik hinaus.

B. Anlagen — technischer Stand und Wirtschaftlichkeit

Die für den Verbraucher nutzbare Wärme einer Solar- oder Wärmepumpenanlage wird sowohl durch die Leistungsfähigkeit der Komponenten und deren richtige Dimensionierung untereinander als auch durch die Anpassung an den Verbraucher und die Regelung des Systems bestimmt.

a) Solaranlagen

— Technischer Stand

Erprobte Anlagen stehen heute durchaus zur Verfügung. Die theoretischen Berechnungsmethoden zur Auslegung von Anlagen wurden durch Experimente abgesichert und bestätigt. Die wichtigsten Daten für die technische Beurteilung eines Systems (jährlich *abgegebene* nutzbare Wärme, solarer Anteil an der Versorgung, Systemwirkungsgrad) wurden in Testverfahren durch die Stiftung Warentest ebenso untersucht wie Fragen der Regelungstechnik, der Installation und des Wartungsaufwands.

Im Rahmen einer Testserie der Stiftung Warentest und bei einer großen Vielzahl der Anlagen in bundeseigenen Gebäuden konnte beobachtet werden, daß auftretende Probleme weniger durch die eigentlichen solaren Komponenten als durch den konventionellen Teil verursacht wurden. Die Installation ist bis heute technisch zu aufwendig, im Normalfall sind drei unterschiedliche Gewerke erforderlich (Dachdecker, Heizungs-Sanitär- und Elektro-Installateur). Die Regelungstechnik und die Schnittstellen mit dem konventionellen Teil des Technischen Ausbaus sind nur in Ausnahmefällen ohne Nachbesserung oder Umstellung befriedigend gelöst worden. Die Systemwirkungsgrade wurden teilweise um den Faktor 2 bis 3 oder mehr durch eine falsche Systemauslegung aufgrund fehlerhafter Annahmen über den tatsächlichen Wärmebedarf verschlechtert.

Die notwendige regelmäßige Wartung der Anlagen ist nicht aufwendiger als bei konventionellen Heizanlagen.

Der Wartungsaufwand der Anlagen ist jedoch häufig unterschätzt worden (Dosierung des Wär-

meträhers zur Verhinderung von Korrosion und als Frostschutz, Entlüftung, Überhitzung und Dichtungsfragen), was zu Störfällen beim Betrieb führte.

Die jährlich nutzbare Wärme für Brauchwasseranlagen beträgt bei Systemen mit Flachkollektoren (selektiv beschichtet) bis zu 250 bis 300 kWh pro Quadratmeter und Jahr, mit solaren Deckungsraten von etwa 65% im Sommer bzw. 25% bis 30% im Jahresmittelwert. Mit Vakuumkollektoren werden in der Praxis Werte von 500 kWh pro Quadratmeter und Jahr registriert mit einer sommerlichen Deckungsrate von 95% oder einem Jahresmittelwert von 60% bis 70%.

Anlagen zur Raumheizung sind im Normalfall technisch zu aufwendig. Es gibt jedoch Einzelansätze, wo durch Erweiterung (Kollektor und Speicher) einer solaren Brauchwasseranlage insbesondere in der Übergangszeit auch ein geringer Beitrag zur Raumwärmeversorgung geleistet werden kann.

Genehmigungsrechtliche Schwierigkeiten beim Einbau von Solaranlagen bestehen heute nicht mehr.

Der künftige Forschungs- und Entwicklungsbedarf konzentriert sich auf die Langzeiterprobung der installierten Systeme, auf die Fortentwicklung der Testmethoden, auf Breitentests von Anlagen mit Vakuumkollektoren und -speichern sowie auf die optimale Anpassung von Gebäuden mit passiver Solarnutzung mit aktiven Solarsystemen. Diese Förderung muß als notwendige Voraussetzung für einen Marktdurchbruch dieser Techniken angesehen werden.

— Wirtschaftlichkeit

Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage (Einfamilienhaus, Warmwasserbereitung) wird in der BSE-ISES-Veröffentlichung*) der Wärmepreis der genutzten Sonnenenergie mit dem Wärmegestehungspreis konventioneller Anlagen verglichen:

1. Der Wärmepreis P einer Solaranlage mit integrierter Zusatzheizung setzt sich zusammen aus den jährlichen Kosten K und der insgesamt jährlich genutzten Wärmemenge Q_0 .

$$Q_0 = Q_{\text{solar}} + Q_{\text{zusatz}}$$

$$P = \frac{K}{Q_0}$$

2. Die Kosten K eines Solarsystems mit integrierter Zusatzheizung setzen sich wie folgt zusammen:

*) Deutsche Sektion der Internationalen Gesellschaft für Sonnenenergie (ISES), Bundesverband Solarenergie, Tagungsbericht Bewertung der Wirtschaftlichkeit regenerativer Energien, Fachtagung 1. Dezember 1982, München, Vertrieb: Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik GmbH, Karlsruhe, 7514 Eggenstein-Leopoldshafen.

— Investitionskosten I_0 .

— jährliche Kosten des Energieverbrauchs, die für das erste Betriebsjahr $n = 1$ bekannt sind und einer jährlichen Progression e unterliegen

$$E_n = E_1 (1 + e)^{n-1}$$

— jährlich zu zahlende Wartungs-, Reparatur- und Nebenkosten W_n mit inflatorischen Kostensteigerungen i

$$W_n = W_1 (1 + i)^{n-1}$$

Der Barwert der Energiekosten über die Lebensdauer der Anlage ist bei einem Diskontierungsprozentsatz p :

$$E = \frac{1 - \left[\frac{1+p}{1+e} \right]^{-L}}{p - e} \cdot E_1$$

der Barwert der Wartungskosten

$$W = \frac{1 - \left[\frac{1+p}{1+i} \right]^{-L}}{p - i} \cdot W_1$$

3. Der Wärmepreis P wird ermittelt aus der Annuität des Barwertes der Gesamtkosten ($I_0 + E + W$) bezogen auf die genutzte Wärme Q_0 .

$$P = \frac{p (I_0 + E + W)}{1 - (1 + p)^{-L}} \cdot \frac{1}{Q_0}$$

Nach der beschriebenen Methode wurde der Wärmepreis für eine Solaranlage mit integrierter Zusatzheizung berechnet mit folgenden Annahmen:

Jährlicher Wärmebedarf

(Warmwasser oder priv.

Schwimmbad, Einfamilienhaus)

$$Q_0 = 3\,000 \text{ kWh}$$

Gesamtsystem — inkl. Kollektor- und Installationskosten

$$9\,000 \text{ DM}$$

Öffentlicher Zuschuß (25% *)

$$2\,250 \text{ DM}$$

Effektive Investitionskosten (DM)

$$I_0 = 6\,750 \text{ DM}$$

Wartungskosten

(1. Betriebsjahr)

$$W_1 = 100 \text{ DM}$$

Stromkosten

(1. Betriebsjahr)

$$200 \text{ DM}$$

Lebensdauer der Anlage

$$L = 15 \text{ Jahre}$$

Diskontierungszinssatz

$$p = 8\%$$

Inflationsrate

$$i = 5\%$$

Energiepreissteigerung e = Inflationsrate i

Der Wärmegestehungspreis der Solaranlage, die 2 000 kWh pro Jahr nutzbare Solarwärme liefert, beträgt ca. 0,40 DM pro kWh, mit 2 500 kWh ca. 0,35 DM pro kWh.

*) Dieser Betrag entspricht auch einer Abschreibung über zehn Jahre bei einem Steuersatz von rd. 36%.

Die vergleichbaren Preise für Gas- und Ölbrenner bzw. unterschiedliche Elektroheizgeräte liegen in einem Kostenband zwischen 0,30 DM pro kWh und 0,40 DM pro kWh. Sie wurden mit folgenden Werten berechnet:

	I ₀ (DM)	E ₁ (DM)	W ₁ (DM)
Öl/Gasbrenner	3 000	450	100
Elektrospeicher Tag	2 000	650	50
Elektrospeicher Nacht	3 750	400	50
Durchlauferhitzer	1 000	600	50
el. Wärmepumpenanlage (4 500 DM — 25%)	3 540	300	100

Der Wärmepreis der Wärmepumpenanlagen wurde unter Berücksichtigung eines öffentlichen Zuschusses von 25% zu 0,31 DM pro kWh berechnet.

Die Frage, ob Solaranlagen herstellbar sind, die 500 kWh pro Quadratmeter und Jahr nutzbare Wärme liefern, konnte am Solarhaus Freiburg und neuerlich am Experimentierhaus in Aachen mit Vakuumkollektoren positiv beantwortet werden. Die Industrie geht davon aus, daß mit Anlagekomponenten der zweiten Generation die Anlagekosten so weit sinken, daß ein breiterer Markt entsteht.

Als Fazit bleibt festzuhalten:

1. Nur beim Einbau einer Komplettanlage (Solar- und elektrische Zusatzheizung) lassen sich die berechneten Wärmepreise erzielen, d.h. beim Neubau oder beim Ersatz einer Warmwasser-Alt-Anlage.

Wenn eine Solaranlage zu einer vorhandenen Warmwasseranlage hinzugebaut wird, können in einer Wirtschaftlichkeitsanalyse die Wärmepreise der Solaranlage nur mit den eingesparten Energiekosten der existierenden Anlage verglichen werden.

2. Systemnutzungsgrade von 50% und mehr, die bei den gegenwärtigen Kosten von Solaranlagen zum wirtschaftlichen Betrieb erforderlich sind, können im allgemeinen nur mit Vakuumkollektoren erreicht werden.

Lediglich im Ausnahmefall eines besonders günstig gelagerten Wärmebedarfsprofils kann dieser Anteil auch mit Kollektoren der ersten Generation näherungsweise erreicht werden.

Es ist daher notwendig, in jedem Einzelfall vor dem Einbau einer Solaranlage die technischen und wirtschaftlichen Details sorgfältig zu klären.

3. Zu den zitierten Veröffentlichungen wurden ebenfalls Verbrauchsberechnungen bei Energiepreissteigerungen, die über der Inflationsrate liegen, durchgeführt. Diese Zahlen wurden in diesem Bericht nicht übernommen; sie führen zu günstigeren Beurteilungen der Solaranlagen.
4. In den Kostenvergleichen ist keinerlei Bonus für volkswirtschaftliche Aspekte enthalten, wie etwa für die Umweltentlastung durch Öl-

einsparung oder die Umwidmung konsumtiver Ausgaben in Investitionen für neue Technologien etc.

5. Bei der Berechnung des Wärmepreises wurde ein öffentlicher Zuschuß auf die Investition in Höhe von 25% unterstellt (dies entspricht etwa einer Abschreibung über zehn Jahre bei einem Steuersatz von 36% und einem Zinssatz von 8%). Um konkurrenzfähige Wärmepreise *ohne staatliche Subvention* zu erzielen, müssen die Kosten einer Warmwasseranlage, die den Bedarf eines 4-Personen-Haushalts zu ca. 60% solar deckt auf ca. 7 000 DM gesenkt werden.

Für *öffentliche Gebäude und Einrichtungen* ist eine geschlossene Betrachtungsweise zur Wirtschaftlichkeit wie im Falle des Einfamilienhauses nicht möglich, da völlig unterschiedliche Wärmebedarfsprofile vorliegen.

Die Frage, ob der Einbau einer Solaranlage sinnvoll ist, wird daher nach den „Vorläufigen Richtlinien (Grundsätze) für die Auswahl von baulichen Maßnahmen zur Einsparung von Energie im Gebäudebestand des Bundes vom 29. Februar 1980, Fassung September 1983, Ziffer 2.3.2“ des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau beurteilt. Danach wird eine Meßzahl eingeführt, die ein Maß für den Wert der jährlich eingesparten Energie setzt. Sie berechnet sich wie folgt:

Meßzahl = Investitionskosten 0,055

bei Primärenergieeinsparungen bis zu 50%, bei Einsparungen über 50% wird ein Multiplikator 0,045 angesetzt.

Unter den insgesamt 105 installierten Warmwassersystemen befinden sich 80 Solar- und 25 Wärmepumpenanlagen.

In den Solaranlagen wurden ausschließlich Komponenten der ersten Generation eingebaut. Für sie wurden folgende Werte ermittelt:

Die Kosten für den Quadratmeter Solarkollektor variieren je nach Werkstoff und Ausführung zwischen 300 DM und 950 DM. Eine deutliche Massierung ist darüber hinaus im Quadratmeterpreis von 350 DM anzutreffen.

Die Kubikmeterpreise für die Wärmespeicher inklusive Wärmetauscher und Wärmedämmung liegen zwischen 2 500 DM und 8 000 DM, im Mittel bei 5 500 DM. Diese Werte sind für eine konventionelle Technik unverhältnismäßig hoch. Mit einer Spanne von 20% bis 70% und einem deutlich ausgeprägten Maximum bei etwa 50% an den Gesamtkosten liegen die Installationskosten unvertretbar hoch. Dies führt dazu, daß die Gesamtkosten der Solaranlagen, bezogen auf einen Quadratmeter Kollektorfläche zwischen 1 000 DM und 3 500 DM mit einem deutlich ausgeprägten Maximum bei 2 100 DM liegen.

Erst für eine kleine Zahl von Anlagen liegen gemessene Einsparwerte vor. Unter den zehn Systemen, die im Preis-Leistungsverhältnis dabei am günstigsten liegen, befinden sich fünf Solaranlagen:

	Systemkosten DM	Meßzahl DM	Einsparung pro Jahr DM
1. Autobahn Motel Bruchsal-West	66 000	3 630	6 052
2. BfA Rebenzüchtung Geilweilerhof	68 000	3 740	4 200
3. BfA für Ernährung, Forstwirtschaft Frankfurt ...	116 766	6 422	7 200
4. BfA Rebenzüchtung Langenscheiderhof	123 000	6 775	18 900
5. Mehrfamilienhaus Saarlouis	84 000	4 620	5 564

Alle hier aufgeführten Anlagen erfüllen die Auswahlkriterien, die Investitionen sind als sinnvoll anzusehen.

Durch die Errichtung von Solaranlagen in bundeseigenen Gebäuden konnten bzw. können erstmals statistisch abgesicherte Daten über Anlagekosten und deren Struktur sowie über Betriebskosten und Energiesparmöglichkeiten zusammengetragen werden.

Die Zusammenarbeit aller Ressorts und der nachgeordneten Behörden war vorbildlich. Das besondere Engagement einzelner Projektleiter spiegelt sich in der Qualität und Güte der von ihnen beaufsichtigten Anlagen wider.

Insbesondere die Installationskosten sind bei einigen Anlagen prohibitiv hoch, wobei eine nähere Analyse zeigt, daß oftmals erhebliche bauliche Veränderungen notwendig waren. Trotzdem bleibt in diesem Bereich ein Defizit, das mit verstärkten Anstrengungen aufgeholt werden kann und sollte. Ebenso besteht im Bereich der Wärmespeicher die Notwendigkeit, das Preis/Leistungsverhältnis erheblich zu verbessern.

b) Wärmepumpenanlagen

— Technischer Stand

Es stehen erprobte Anlagen zur Verfügung. Die Berechnungsmethoden zur Auslegung der Komponenten und die Logistik der Regelung wurden in vielen Experimentieranlagen überprüft und in einer Vielzahl von Installationen abgesichert und bestätigt. Die wichtigsten Daten für die Beurteilung eines Systems (jährlich *abgegebene* nutzbare Wärme, Systemwirkungsgrad und Leistungsziffer, Anteil der Wärmepumpenanlage an der Wärmeversorgung) wurden untersucht, ebenso Installations- und Wartungsaufwand analysiert.

Bei elektrischen Wärmepumpenanlagen stehen für Anlagen kleinerer Leistung (Warmwasser und Heizung — Ein-Zweifamilienhaus) Kompaktgeräte zur Verfügung. Während für öffentliche Einrichtungen im Normalfall eine individuelle Anlagenauslegung mit markt gängigen Komponenten notwendig ist. Auch bei Diesel/Gasmotor-Wärmepumpen ist bisher eine individuelle Auslegung erforderlich.

Zu Beginn der Einführung von Wärmepumpenanlagen führten falsche Systemauslegung und fehlerhafte Regelung zu schlechten Systemwirkungsgraden.

Der Wartungsaufwand ist normal bis gering. In Einzelfällen konnte nach der Aufnahme des Betriebs einer Wärmepumpe und Stilllegung der Heizzentrale in einer bundeseigenen Liegenschaft während der Sommermonate sogar Betriebspersonal abgezogen werden.

Ebenso wie bei Solaranlagen ist die Installation bis heute technisch zu aufwendig (zwei bis drei Gewerke!). Probleme mit Schnittstellen und mit der Regelungstechnik waren zwar nicht so evident wie bei Solaranlagen, trotzdem mußte häufig nachgebessert werden.

Komponentenhersteller und Versorgungswirtschaft sind bemüht, im Kontakt mit den Installationsbetrieben, das in der Handwerkerschaft noch bestehende Informationsdefizit über Wärmepumpenanlagen zu überwinden.

Baugenehmigungen für Wärmepumpenanlagen werden problemlos erteilt, solange als Wärmequelle die Außenluft oder das Erdreich dient. Genehmigungsrechtliche Schwierigkeiten treten verständlicherweise auf, wenn Grundwasser bisweilen auch Oberflächenwasser als Wärmequelle verwendet werden sollen.

Im Bereich öffentlicher und gewerblicher Bauten werden Wärmepumpenanlagen auch eingesetzt, um Abwärme aus der Fortluft von Lüftungsanlagen oder aus Abwasser zurückzugewinnen. Dabei sind an einzelnen Stellen lokale Netze zur Wärmeversorgung entstanden.

In der Industrie ist der Einsatz von Wärmepumpen in der Produktion an vielen Stellen besonders wirtschaftlich, weil die Benutzungsstunden pro Jahr sehr hoch liegen, sonst verlorene Abwärme nutzbar gemacht werden kann und eine Wärmequelle bei hoher Temperatur ganzjährig zur Verfügung steht.

Bei der Elektro-Wärmepumpe werden zwei Betriebsweisen (monovalent, bivalent) unterschieden, die sich auf das Anlagenkonzept auswirken.

Die monovalente Anlage deckt allein den gesamten Wärmebedarf (z. B. Warmwasser und/oder Heizung). Hierzu ist eine adäquate Wärmequelle (Erdreich, Grundwasser) und ggf. eine Nieder-temperaturheizung notwendig.

Die bivalente Anlage wurde speziell zur Ergänzung bestehender Ölheizungen entwickelt. Sie kann mit Außenluft als Wärmequelle bei Temperaturen oberhalb 3°C betrieben werden. Bei

niedrigeren Temperaturen wird sie durch den Ölkessel ergänzt oder ersetzt.

Wärmepumpenanlagen zur Raumheizung können im Ein-Zweifamilienhaus bei bivalentem Betrieb etwa 65% bis 85% der jährlich benötigten Wärme bereitstellen.

Je nach Betriebsweise und Wärmequelle variiert die über das Jahr gemittelte Leistungsziffer (Verhältnis Wärmeherzeugung zu verbrauchter elektrischer Energie) zwischen 2.9 und 2.2. Bei Industrieprozessen werden Leistungsziffern von 4 bis 5 (Kochvorgänge) und in einzelnen Bereichen bis 10 (Verdampfer) erreicht.

Diesel/gasmotorisch betriebene Wärmepumpen können zwar monovalent ausgelegt werden, aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wird jedoch in der Regel ein Öl/Gaskessel für die Spitzenabdeckung in das System integriert.

Diesel/gasmotorisch angetriebene Wärmepumpenanlagen erreichen eine Jahresheizzahl von 1.4 bis 1.5 (in diesem Fall wird die erzeugte Wärme ins Verhältnis zur benötigten Öl/Gas-Menge gesetzt).

Die Lebensdauer der Wärmepumpenaggregate wird für elektrischen und Diesel/Gasmotor-Antrieb mit 12 bis 15 Jahren angegeben. Es besteht jedoch noch Forschungsbedarf für eine Langzeiterprobung der installierten Systeme.

— Wirtschaftlichkeit

Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpenanlage zur Warmwasserbereitung im Ein/Zweifamilienhaus wurden die Wärmegestehungspreise unterschiedlicher Systeme verglichen, wobei die Rechenmethode identisch ist mit dem Fallbeispiel der Solaranlage.

Unter den dort getroffenen Annahmen errechnet sich ein Wärmegestehungspreis für eine elektrische Wärmepumpenanlage zur Warmwasserbereitung von 0,31 DM pro kWh. Dieser Preis liegt in derselben Bandbreite wie die Wärmegestehungskosten bei konkurrierenden Anlagen (Öl-Gasbrenner, Elektro-Warmwassergeräte). Die Preisvergleiche gelten jedoch nur, wenn ein Neubau mit einer Warmwasseranlage ausgerüstet wird oder in einem Altbau der Ersatz einer Altanlage ansteht. Bei einem zusätzlichen Einbau muß der Wärmegestehungspreis der Wärmepumpenanlage mit den Grenzkosten der existierenden Anlage verglichen werden.

In günstig gelagerten Fällen lohnt sich der Einbau einer Wärmepumpenanlage zur Warmwasserbereitung.

Für die Berechnung der Wärmegestehungskosten von elektrisch angetriebenen Wärmepumpen zur Beheizung von Ein/Zweifamilienhäusern werden sieben unterschiedliche Heizungsanlagen für Ein/Zweifamilienhäuser mit 20 kW Heizleistung und einem Jahreswärmebedarf von typischerweise 37 000 kWh angenommen:

System 1

Betrieb eines vorhandenen Ölkessels älterer Bauart

System 2

Anschaffung eines neuen modernen Ölkessels

System 3

Anschaffung einer monovalenten Wärmepumpe (20 kW_{thermisch})

System 4

Betrieb eines Ölkessels älterer Bauart und Erweiterung durch bivalente Wärmepumpe (10 kW_{thermisch}) mit 65% Jahresanteil an der Bedarfsdeckung

System 5

Betrieb eines Ölkessels älterer Bauart und Erweiterung durch bivalente Wärmepumpe (10 kW_{thermisch}) mit 85% Jahresanteil an der Bedarfsdeckung

System 6

Einbau einer Neuanlage mit modernem Ölkessel und bivalenter Wärmepumpe (65%)

System 7

Einbau einer Neuanlage mit modernem Ölkessel und bivalenter Wärmepumpe (85%).

Für die Berechnung nach BSE-ISES wurden folgende Eingangsdaten festgelegt:

Jährlicher Wärmebedarf	$Q_o =$	37 000 kWh
Installierte Heizleistung		20 kW
Öffentlicher Zuschuß (für Wärmepumpenanlagen)		25 %
Lebensdauer der Anlagen	$L =$	15 Jahre
Diskontierungszinssatz	$p =$	8 %
Inflationsrate	$i =$	5 %
Energiepreissteigerung	$e =$	Inflationsrate i
Stromkosten zum Betrieb der Wärmepumpe pro kWh		0,155 DM
Ölpreis pro Liter		0,75 DM

System 1

Mittlerer Wirkungsgrad des Ölkessels (alt)		65 %
Ölkosten (1. Betriebsjahr)	$E_1 =$	4 269 DM
Wartungskosten (1. Betriebsjahr)	$W_1 =$	435 DM
Berechneter Wärmepreis	$P =$	0,171 DM pro kWh

System 2

Mittlerer Wirkungsgrad des Ölkessels (neu)		80 %
Investitionskosten (Ölkessel)	$I_o =$	8 000 DM
Ölkosten (1. Betriebsjahr)	$E_1 =$	3 469 DM
Wartungskosten (1. Betriebsjahr)	$W_1 =$	435 DM
Berechneter Wärmepreis	$P =$	0,167 DM pro kWh

System 3

Kosten der Wärmepumpenanlage (25 000 DM — 25%)	$I_o = 18\,750 \text{ DM}$
Leistungsziffer	$= 2.5$
Stromkosten (1. Betriebsjahr)	$E_{lw} = 2\,294 \text{ DM}$
Wartungskosten (1. Betriebsjahr)	$W_l = 350 \text{ DM}$
Berechneter Wärmepreis	$P = 0,155 \text{ DM pro kWh}$

System 4

Kosten der Wärmepumpenanlage (15 000 DM — 25%)	$I_o = 11\,250 \text{ DM}$
Leistungsziffer	$= 2.9$
Jahresarbeit Wärmepumpe (thermisch)	$Q_{ow} = 24\,000 \text{ kWh}$
Jahresarbeit Ölkessel	$Q_{oo} = 13\,000 \text{ kWh}$
Stromkosten (1. Betriebsjahr)	$E_{lw} = 1\,285 \text{ DM}$
Ölkosten (1. Betriebsjahr)	$E_{lo} = 1\,500 \text{ DM}$
Wartungskosten Wärmepumpe (1. Betriebsjahr)	$W_{lw} = 200 \text{ DM}$
Wartungskosten Ölkessel (1. Betriebsjahr)	$W_{lo} = 435 \text{ DM}$
Berechneter Wärmepreis	$P = 0,160 \text{ DM pro kWh}$

System 5

Kosten der Wärmepumpenanlage (15 000 DM — 25%)	$I_o = 11\,250 \text{ DM}$
Leistungsziffer	$= 2.8$
Jahresarbeit Wärmepumpe (thermisch)	$Q_{ow} = 31\,500 \text{ kWh}$
Jahresarbeit Ölkessel	$Q_{oo} = 5\,500 \text{ kWh}$
Stromkosten (1. Betriebsjahr)	$E_{lw} = 1\,741 \text{ DM}$
Ölkosten (1. Betriebsjahr)	$E_{lo} = 640 \text{ DM}$
Wartungskosten Wärmepumpe (1. Betriebsjahr)	$W_{lw} = 250 \text{ DM}$
Wartungskosten Ölkessel (1. Betriebsjahr)	$W_{lo} = 435 \text{ DM}$
Berechneter Wärmepreis	$P = 0,147 \text{ DM pro kWh}$

System 6

Kosten der Wärmepumpenanlage (15 000 DM — 25%)	$I_{ow} = 11\,250 \text{ DM}$
Kosten eines Heizkessels	$I_{oo} = 8\,000 \text{ DM}$
	$I_o = 19\,250 \text{ DM}$
Leistungsziffer der Wärmepumpe	$= 2.9$

Jahresarbeit der Wärmepumpe

$$Q_{ow} = 24\,000 \text{ kWh}$$

Jahresarbeit des Ölkessels

$$Q_{oo} = 13\,000 \text{ kWh}$$

Stromkosten

$$(1. \text{ Betriebsjahr}) \quad E_{lw} = 1\,285 \text{ DM}$$

Ölkosten

$$(1. \text{ Betriebsjahr}) \quad E_{lo} = 1\,214 \text{ DM}$$

Wartungskosten

$$\text{Wärmepumpe (1. Betriebsjahr)} \quad W_{lw} = 200 \text{ DM}$$

Wartungskosten

$$\text{Ölkessel (1. Betriebsjahr)} \quad W_{lo} = 435 \text{ DM}$$

Berechneter

$$\text{Wärmepreis} \quad P = 0,175 \text{ DM pro kWh}$$

System 7

Kosten der Anlage

$$(wie \text{ System } 6) \quad I_o = 19\,250 \text{ DM}$$

Leistungsziffer

$$= 2.8$$

Jahresarbeit

$$\text{Wärmepumpe} \quad Q_{ow} = 31\,500 \text{ kWh}$$

Jahresarbeit

$$\text{Ölkessel} \quad Q_{oo} = 5\,500 \text{ kWh}$$

Stromkosten

$$(1. \text{ Betriebsjahr}) \quad E_{lw} = 1\,741 \text{ DM}$$

Ölkosten

$$(1. \text{ Betriebsjahr}) \quad E_{lo} = 520 \text{ DM}$$

Wartungskosten

$$\text{Wärmepumpe (1. Betriebsjahr)} \quad W_{lw} = 250 \text{ DM}$$

Wartungskosten

$$\text{Ölkessel (1. Betriebsjahr)} \quad W_{lo} = 435 \text{ DM}$$

Berechneter

$$\text{Wärmepreis} \quad P = 0,168 \text{ DM pro kWh}$$

Zusammenfassend ergeben die Berechnungen folgendes Bild:

Wird bei einem Haus mit einer Heizleistung von 20 kW und einem Jahreswärmebedarf von 37 000 kWh der Heizbedarf mit einem vorhandenen Ölkessel älterer Bauart abgedeckt, so muß ein Wärmepreis von 0,171 DM pro kWh bezahlt werden. Mit einem neuen Ölkessel reduzieren sich diese Kosten auf 0,167 DM pro kWh, bei einer monovalenten Wärmepumpe liegt der Preis bei 0,155 DM pro kWh*).

Wird eine bivalente Wärmepumpenanlage zu einem existierenden Ölkessel älterer Bauart hinzugebaut, dann errechnet sich ein Wärmedurchschnittspreis der Gesamtanlage von 0,160 DM*) pro kWh falls die Wärmepumpe den Wärmebedarf zu 65% abdeckt und von 0,147 DM pro kWh bei 85%.

Wird der Einbau einer bivalenten Wärmepumpenanlage mit der Installation eines neuen Ölkessels kombiniert, dann ergibt sich ein Preis von 0,175 DM*) pro kWh bei 65% und 0,168 DM*) bei 85% Deckungsanteil der Wärmepumpe.

*) mit 25% öffentlicher Zuschuß zu den Investitionen der Wärmepumpenanlage gerechnet (siehe Seite 10).

Die Randbedingungen für die Berechnung wurden mit Herstellern und Elektrizitätsversorgungsunternehmen erörtert und auf Grund der dort vorhandenen Erfahrungen als realistisch ermittelt.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Wärmegestehungskosten für alle beschriebenen Einsatzfälle in einem sehr schmalen Preisband zwischen 0,147 DM und 0,175 DM liegen. Nach den berechneten Zahlen lassen sich die günstigsten Ergebnisse mit bivalenten Anlagen erreichen, aber selbst eine monovalente Anlage ist günstiger als der Betrieb eines Ölkessels. Diese Werte liegen aber praktisch in einem Graubereich, der keinen wirtschaftlichen Vorteil, aber auch keinen wirtschaftlichen Nachteil für Wärmepumpenanlagen ausweist!

Den Berechnungen liegen keine realen Energiepreissteigerungen zugrunde. Für System 6 wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die in der folgenden Tabelle enthalten ist. In Spalte 1 sind die Basiswerte für System 6 zusammengestellt, in Spalte 2 angenommene Änderungen der Basiswerte mit einem unteren und einem oberen Wert. In Spalte 3 sind die aus den Annahmen in Spalte 2 resultierenden Wärmepreise P enthalten. Hierbei ist anzumerken, daß diese Preise berechnet wurden für die Veränderung nur jeweils eines Parameters, für die übrigen Werte wurde der Basiswert eingesetzt:

konformen Verhaltens verschafft. Er erhält das technische Instrument, jederzeit bei stärker steigenden Ölpreisen, den elektrischen Anteil des Systems zu erhöhen oder umgekehrt bei stärker steigenden Strompreisen auf ein höheres Ölkontingent umzusteigen.

(In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß bei Verbrauchern mit niedrigerem Wärmebedarf der Kostenvergleich für Wärmepumpenanlagen im Vergleich zur Ölheizung ungünstiger ausfällt.)

Volkswirtschaftliche Aspekte wurden bei der Kostenbetrachtung mit Ausnahme der existierenden steuerlichen Abschreibungsmöglichkeit nicht berücksichtigt.

Für diesel/gasmotorisch betriebene Wärmepumpenanlagen im Ein/Zweifamilienhaus wurden keine Berechnungen durchgeführt, weil die Technik im notwendigen Leistungsbereich heute nicht zur Verfügung steht.

Für die Versorgung öffentlicher Gebäude und Einrichtungen mit Heizwärme und Warmwasser durch Wärmepumpenanlagen ist wegen der Vielfalt der Bedarfsprofile eine geschlossene Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wie im Fall des Einfamilienhauses nicht möglich.

Der Beurteilung, ob eine Maßnahme zum Einbau einer Wärmepumpe sinnvoll ist, liegen da-

	Basiswerte	Grenzwerte	Wärmepreis DM/kWh
	1	2	3
Wärmebedarf in kWh	37 000	32 000/45 000	0,187/0,150
Investitionskosten	19 250 DM	14 250/24 250	0,159/0,190
Leistungsziffer	2,9	2,4/3,4	0,184/0,168
Ölkesselwirkungsgrad	0,8	0,6/0,9	0,189/0,170
Ölpreis pro Liter	0,75 DM	0,6/0,9	0,166/0,183
Strompreis pro kWh	0,155 DM	0,11/0,20	0,161/0,188
Wartungskosten	635 DM	435/835	0,167/0,182
Diskontierungszinssatz	8 %	6/10	0,169/0,180
Energiepreissteigerung	5 %	3/7	0,164/0,187
Inflationsrate	5 %	3/7	0,172/0,178
Lebensdauer	15 Jahre	12/18	0,177/0,175
Wärmepreis für Basiswerte 0,175 DM pro kWh			

So ändert sich zum Beispiel der Wärmepreis P von 0,175 DM auf 0,159 DM bzw. 0,190 DM, wenn die Investitionskosten sich auf 14 250 DM verringern bzw. auf 24 250 DM erhöhen und die übrigen Werte unverändert sind. Eine Änderung von Lebensdauer, Inflationsrate und Zinsniveau haben einen geringeren Einfluß als insbesondere die Energiepreisentwicklung.

Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, wenn sich der Hausbesitzer über eine bivalente Wärmepumpenanlage die Möglichkeit eines markt-

her die „Vorläufigen Richtlinien“ Ziffer 2.3.1 zugrunde (Anlage 3).

Für die im Rahmen des ZIP errichteten 25 Wärmepumpenanlagen, wurden folgende Werte ermittelt:

Unter den 25 im Rahmen des ZIP errichteten Wärmepumpenanlagen befinden sich 21 elektrisch angetriebene Anlagen, zwei mit Gasmotor und zwei mit Dieselmotor.

Zu den 21 elektrisch angetriebenen Anlagen gehört auch die Installation auf der Zugspitze, die als nicht charakteristisch bei der folgenden Datenübersicht ausgelassen wurde:

Der spezifische Wärmepumpenpreis (ohne Installation) liegt zwischen 1 000 DM pro kW (elektrischer Anschlußleistung) und 3 000 DM pro kW.

Die Mehrzahl der Anlagen wird mit Flächenabsorbern betrieben. Der Absorberpreis variiert zwischen 77 DM pro Quadratmeter und 953 DM

pro Quadratmeter mit einem Mittelwert von 391 DM pro Quadratmeter.

Die Speicherkosten sind wie bei den Solaranlagen unverhältnismäßig hoch.

Auch die Installationskosten liegen mit rd. 50 % der Gesamtanlagenkosten deutlich zu hoch.

Vier Wärmepumpenanlagen mit elektrischem Antrieb zählen zu den zehn Objekten, für die eine erste vorsichtige Angabe der Energieersparnis vorliegt:

	Anlagekosten DM	Meßzahl DM	Einsparung pro Jahr DM
1. Aus- und Fortbildungsstätte des AA in BN-Ippendorf	308 862	16 940	28 000
2. Kaserne „Auf der Ell“ Merzig/Saar	418 441	23 014	82 910
3. Theodor-Blank-Kaserne Rheine	484 487	26 646	39 000
4. Marine Flugplatz Kiel-Holtenau	105 000	5 775	9 660

Die Investitionen sind nach den Kriterien des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau sinnvoll.

Die Zahl der mit Diesel/Gasmotor betriebenen Wärmepumpen ist zu gering, um statistische Angaben zu machen.

Es besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf in der Langzeiterprobung der installierten Anlagen und Komponenten und die Notwendigkeit, diese Ergebnisse der Industrie zur Verfügung zu stellen.

c) Wärmepumpen- und Solaranlagen für Sportstätten (Frei-, Hallenbäder, Turn- und Sporthallen)

— Wirtschaftlichkeit

Während für Schwimmbadanlagen im privaten Bereich als Kalkulationsgrundlage die Berech-

nung der Wärmepreise im Ein/Zweifamilienhaus sowohl für Solar- als auch für Wärmepumpenanlagen anwendbar sind, gelten bei bundeseigenen Bauten die Vorläufigen Richtlinien des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.

In der nachfolgenden Übersicht sind die relevanten Zahlen für die bisher mit BMFT-Mitteln installierten Anlagen im Sportstättenbereich aufgeführt.

Während in den Forschungs- und Entwicklungsprojekten Wiehl, Ahaus, Stadtsteinach und Unna die Meßzahl nicht erreicht wurde, liegen für Leingarten, Unterensingen und Paderborn Ergebnisse vor, die die Investitionen als sinnvoll auszeichnen.

In diesem Zusammenhang muß jedoch hervor-gehoben werden, daß mit allen Forschungs- und Entwicklungsanlagen zunächst Unterlagen erar-

	Systemkosten DM	Meßzahl DM	Einsparung pro Jahr DM
1. Wiehl	1 722 600	94 743	31 875
2. Leingarten	417 000	22 935	41 657
3. Paderborn	337 000	18 535	187 000
4. Unterensingen	36 600	2 013	7 500
5. Ahaus	1 930 000	106 150	55 000
6. Stadtsteinach	1 099 000	60 445	36 000
7. Unna	840 000	46 200	20 700*)
8. St. Hubertus Lübeck	199 000	10 945	2 770
9. Bredtstedt	216 684	11 918	7 180
10. Bad Bramstedt	173 784	9 558	10 000
11. Below-Kaserne Ratzeburg	187 690	10 323	11 200

*) hochgerechnet aus einem Monatswert

beitet werden mußten, die unterschiedliche technische Einzelmaßnahmen experimentell erfassen sollten, um daraus Rückschlüsse für die Einbindung in Anlagensysteme auch im Hinblick auf deren Wirtschaftlichkeit zu erhalten.

Insofern besteht die Notwendigkeit, die existierenden Anlagen weiterhin meßtechnisch zu erfassen, um belegbare Aussagen über die Langzeitstabilität zu erhalten.

Die bisher vorliegenden Daten über die realisierte Energieeinsparung in den Anlagen 8 bis 11, die über das ZIP-Programm abgewickelt wurden, lassen erkennen, daß in zwei Fällen die Kri-

terien des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau zu positiven, in zwei Fällen zu negativen Ergebnissen führen.

Es wird notwendig sein, mit statistisch abgesicherten Daten eine genauere Analyse durchzuführen und eine Dokumentation über die technischen Lösungen zusammenzustellen, mit denen wirtschaftliche Resultate erzielt werden können. Aber auch darin können nur generelle Feststellungen enthalten sein; es wird die Aufgabe der Bauverwaltungen sein, in jedem Einzelfall zu prüfen, ob Solar- oder Wärmepumpenanlagen eine sinnvolle Investition darstellen.

Teil 2:

Erfahrungen mit Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsanlagen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zukunftsinvestitionsprogramm	20
1.1 Ausgangssituation und förderungspolitischer Charakter	20
1.2 Ziele	21
1.3 Maßnahmen	21
1.4 Begleitendes Meßprogramm	22
1.5 Erfahrungen und Ergebnisse	23
2. Bäder und Sportstätten	26
2.1 Freibad Wiehl	26
2.2 Rationelle Energieverwendung in Bädern	27
2.3 Sportzentrum Paderborn	28
2.4 Schulzentrum Altenkunstadt	28
2.5 Sporthalle Untersingen	28
2.6 Sportzentrum Leingarten	29
3. Hausbereich und kommunale Einrichtungen	29
3.1 Solarhaus Aachen	29
3.2 Solarhaus Freiburg	30
3.3 Solarhaus Essen	30
3.4 Solarhaus Otterfing	30
3.5 Solar-Warmwasserversorgung in Fertighäusern	31
3.6 Heggbacher Einrichtung	31
3.7 Technische Fachhochschule Berlin	31
3.8 Rathaus Ahlen	31
3.9 Theaterneubau Heilbronn	32
4. Gebrauchstauglichkeitstest und Akzeptanzumfragen	32
4.1 Kleine Brauchwasseranlagen	32
4.2 Umfragen	33
5. Schlußfolgerungen	33
5.1 Technik	33
5.2 Wirtschaftlichkeit	35

1. Zukunftsinvestitionsprogramm (ZIP)**1.1 Ausgangssituation und förderungspolitischer Charakter**

Zum Zeitpunkt des Anlaufens des ZIP-Programms 1977/78 waren die meisten staatlichen Verwaltungen nicht mit den besonderen Gegebenheiten und Anforderungen der Solartechnik vertraut. Sie mußten sich bei der Auslegung und Planung von Solar- und Wärmepumpenanlagen auf wenige, unvollstän-

dige und vor allem nicht durch Erfahrungswerte aus der Praxis belegte Angaben abstützen. Als Planungsunterlagen standen zum damaligen Zeitpunkt zur Verfügung:

- Eine im Auftrag des BMFT/BMVg im Jahre 1977/78 durchgeführte Studie über die „Solartechnische Wärmeversorgung von Bundeswehrgebäuden“.
- Eine darauf aufbauende Expertise im Auftrag des BMVg, in der die wesentlichen Ergebnisse

der Studie in Ausschreibungsunterlagen für öffentliche Submissionen umgesetzt wurden.

Mit diesen Unterlagen wurde eine Standardplanung für öffentliche Ausschreibungen nach dem Funktionalprinzip von der Landesbauabteilung der Oberfinanzdirektion Freiburg für Solaranlagen und der Landesbauabteilung der Oberfinanzdirektion Münster für Energieabsorber- und Wärmepumpenanlagen für den militärischen Bereich der Bundeswehr im Auftrag des BMVg erstellt.

Diese Unterlagen wurden weitgehend von den anderen Bauverwaltungen für Planungen, Ausschreibungen und Baudurchführung in ihrem eigenen Zuständigkeitsbereich übernommen.

Die Durchführung und administrative Abwicklung des ZIP-Programms entspricht in wesentlichen Punkten und operationellen Elementen den Kriterien eines *indirekt-spezifischen Förderprogramms*. Die notwendigen finanziellen Mittel zur Durchführung der umfassenden öffentlichen Beschaffungsmaßnahmen wurden den betreffenden Ressorts zur selbständigen Bewirtschaftung vom BMFT zugewiesen. Die Art der zu installierenden neuen Energietechniken sowie der generelle Einsatzbereich wurden vorgegeben. Objektauswahl, Planung, Ausschreibung, Durchführung der Baumaßnahme und administrative Abwicklung lagen in Händen der für den Bund tätigen öffentlichen Bauverwaltungen, wobei keine fachliche Prüfung des Einzelprojekts durch den BMFT erfolgte.

1.2 Ziele

Mit der Durchführung des Zukunftsinvestitionsprogramms verfolgte die Bundesregierung folgende Ziele:

1. Allen Unternehmen, die an der Entwicklung der Solartechnik interessiert sind, Gelegenheit zu geben, die von ihnen auch ohne staatliche Fördermittel entwickelten Komponenten und Anlagen energiesparender und umweltfreundlicher Energietechniken im Zuge von Beschaffungsmaßnahmen des Bundes in bundeseigenen Gebäuden und Liegenschaften zu installieren, zu erproben und Erfahrungen im Langzeitbetrieb zu sammeln.
2. Die Bundesressorts und ihre nachgeordneten Behörden, die mit der planerischen, baulichen und administrativen Abwicklung von Bauvorhaben befaßt sind (Bundesbau-, Oberfinanz- und Oberpostdirektionen, die zuständigen Baudienststellen der Bundesländer wie Staatshochbauämter, Staats- und Landesbauämter, Straßenbau- und Finanzbauämter) sowie die Genehmigungsbehörden, am Beispiel der konkreten Abwicklung an die neuen Energietechniken, ihre Möglichkeiten und Grenzen heranzuführen.
3. Vorbilder im öffentlichen Bereich für den Einsatz neuer Energietechniken zu schaffen und damit Anreize im öffentlichen und privaten Sektor zu geben, Solar- und Wärmepumpenanlagen verstärkt bei Planungen zu berücksichtigen.

4. Erkenntnisse aus den betrieblichen Erfahrungen (Wartung, Instandhaltung und Störfälle) zu gewinnen, um daraus gesichertes Datenmaterial über die Einsparmöglichkeiten bei öffentlichen Gebäuden zu erhalten.
5. Technischen Hochschulen, Fachhochschulen und Universitäten die Möglichkeit zu geben, an den installierten Anlagen Erfahrungen anhand meßtechnischer Untersuchungen zu sammeln und zur Optimierung der Betriebsweise der Anlagen beizutragen.
6. Die Handwerkskammern verstärkt für eine konstruktive Auseinandersetzung und Beschäftigung mit neuen Energietechniken zu gewinnen z. B. für die Einrichtung von Energiesparzentren wie Wärmepumpen- und Solarlabors bei den Technischen Ausbildungszentren und Berufsbildungszentren der Handwerkskammern.

1.3 Maßnahmen

Im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogramms der Bundesregierung wurden für den Zeitraum vom 1. September 1977 bis 31. Dezember 1982 Mittel in Höhe von rd. 50 Mio. DM für den Einbau von Solar- und Wärmepumpenanlagen in bundeseigene Gebäude bereitgestellt. Mit einem Mittelaufwand von rd. 35 Mio. DM wurden 107 Projekte (*Tabelle 1*) unterschiedlicher Größe und Leistungsfähigkeit installiert, so z. B. im Zuständigkeitsbereich des

- Auswärtigen Amtes (AA) (drei Projekte), u. a. die Aus- und Fortbildungsstätte für Anwärter der Attachélaufbahn in Bonn-Ippendorf mit einer Wärmepumpenanlage, sowie die deutsche Botschaft in Kairo mit einer Solaranlage zur Brauchwasserbereitung;
- Bundesministers der Finanzen (BMF) (19 Projekte), so z. B. verschiedene Dienst- und Wohngebäude beim Zoll sowie vom Bundesvermögensamt verwaltete Wohngebäude und Liegenschaften mit Solaranlagen zur Warmwasserbereitung;
- Bundesministers des Innern (BMI) die Ausrüstung von zehn Sport- und Freibadanlagen in verschiedenen Unterkünften des Bundesgrenzschutzes (BGS) mit Solar- und Wärmepumpenanlagen. Zusätzlich zum ZIP-Programm wurden im Rahmen einer Energiesparkonzeption im Bereich des vom Bund geförderten Sportstättenbaus für den Hochleistungsport von 1976 bis 1983 in folgenden Sportanlagen Wärmerückgewinnungs- bzw. Wärmepumpenanlagen eingebaut: Bundesleistungszentrum für Leichtathletik in Dortmund, für Eishockey in Füssen, für Eisschnelllauf in Inzell, für Eiskunstlauf in Oberstdorf sowie für Fechten in Tauberbischofsheim;
- Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung (BMA) (zwei Projekte), so z. B. die Ausrüstung des Neubaus des Arbeitsamtes in Heilbronn/Neckar mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) in Verbindung mit einer elektrischen Wasser/

Wasser-Wärmepumpe zur Raumheizung, sowie der bundeseigenen Höhenklinik Valbella/Davos/Davos-Dorf in der Schweiz mit einer Wärmerohr-Solaranlage;

- Bundesministers für Verkehr (BMV) (elf Projekte), so z. B. Zugwaschanlagen bei der Deutschen Bundesbahn (DB) oder Raststätten und Motels entlang der Bundesautobahnen mit Solaranlagen zur Warmwasserbereitung;
- Bundesministers für das Post- und Fernmeldewesen (BMP) (14 Projekte), so z. B. bei verschiedenen Dienst- und Betriebsheimen mit Solaranlagen, u. a. ein Posterholungsheim in Cuxhaven sowie die neue Funkübertragungsstelle Garmisch II auf der Zugspitze;
- Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) (vier Projekte), so einige Geräte- und Laborgebäude bei Bundesforschungsanstalten mit Brauchwasser-Solaranlagen, z. B. bei der Bundesforschungsanstalt für Rebenzüchtung in Rheinland-Pfalz, der Bundesforschungsanstalt für Milchwirtschaft in Kiel-Schaedtbeck oder dem Bundesamt für Ernährung und Forstwirtschaft in Frankfurt/Main;
- Bundesministers für Jugend, Familie und Gesundheit (BMJFG) (drei Projekte), so Dienst- und Laborgebäude mit Solaranlagen beim Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes in Berlin-Marienfelde;
- Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) (zwei Projekte) die Hausmeisterwohnung und das Gästehaus des Deutschen Historischen Instituts (DHI) in Rom mit einer Absorber- und Wärmepumpenanlage zur Heizung bzw. Kühlung sowie zur Warmwasserbereitung; und
- Bundesministers der Verteidigung (BMVg) (29 Projekte) in 25 Standorten der Bundeswehr über die gesamte Bundesrepublik Deutschland verteilt mit Wärmepumpen- und Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung, in drei Fällen auch zur Raumheizung in Unterakunftsgebäuden oder auch als solare Vorwärmanlagen für die Zentrale Versorgungs-Anlage (ZVA = Heizzentrale) einer ganzen Liegenschaft, insbesondere zur Energieeinsparung während der Sommermonate, Verwendung finden, z. B. bei der Kaserne „Auf der Ell“ in Merzig/Saar, der Theodor-Blank-Kaserne in Rheine oder dem Marine-Flugplatz in Kiel-Holtenau*).

[Die Bundesbaudirektion (BBD) hat sich bereits sehr frühzeitig u. a. auch im Rahmen eines BMFT-

*) Ein kleines deutsches Unternehmen, das auch die Solarkomponenten für die Ausrüstung des Freibades in Ahaus lieferte, hat (s. Kapitel 2.2) aufgrund der im Bereich der Bundeswehr installierten Solaranlagen einen Auftrag des marokkanischen Verteidigungsministeriums zur Ausrüstung von Unterakunftsgebäuden der Armee im Gebiet der Sahara mit 2 500 m² Solarkollektorfläche gegenüber härtester ausländischer Konkurrenz gewonnen.

Forschungsvorhabens („Gasmotorgetriebene Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Speicher für das Bürogebäude der BBD-Bonn“) intensiv mit der Anwendung neuer Energietechniken in öffentlichen Gebäuden, insbesondere Büro- und Verwaltungsgebäuden, auseinandergesetzt. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß sie aufbauend auf diesen Erkenntnissen und ohne Inanspruchnahme zusätzlicher Fördermittel aus dem ZIP-Programm das neue Dienstgebäude des Bundeskriminalamtes (BKA) in Meckenheim-Merl mit einer großen Gas-Absorptions-Wärmepumpe (2 MW_{th}) in Verbindung mit dem bisher größten Erdschichtwärmespeicher und -taucher (16 000 m³) ausgestattet hat. Diese Anlage ist mit dem Preis der deutschen Gaswirtschaft für rationellen Erdgaseinsatz 1982 als vorbildliche und zukunftsweisende Anlage im öffentlichen Bereich ausgezeichnet worden.]

Die Anlagen sind innerhalb der Bundesrepublik Deutschland geographisch von der Nordsee-Insel Borkum bis zur Zugspitze gestreut, weitere Anlagen sind in bundeseigenen Gebäuden im Ausland (Kairo, Davos, Rom) installiert worden.

Sämtliche am ZIP-Programm beteiligten Institutionen, Unternehmen, Betreiber der Anlagen können dem Jahresbericht 1981/82*) entnommen werden. Weitere Informationen sind den Statusseminarberichten zu entnehmen**).

1.4 Begleitendes Meßprogramm

Durch ein projektbegleitendes Meßprogramm soll sichergestellt werden, daß Erfahrungen und Ergebnisse bis Ende der 80er Jahre gesammelt, aufbereitet und bekannt gemacht werden.

Das Meßprogramm wird von der Zentralstelle für Solartechnik (ZfS), einer Arbeitsgemeinschaft der Gesellschaft zur Förderung der Heizungs- und Klimatechnik mbH (GFHK)/Hilden und der Kernforschungsanlage Jülich (KFA), betreut***). Die Arbeitsgemeinschaft von einer mittelständisch ausgerichteten Fördergesellschaft und einer Großforschungseinrichtung des BMFT ist — wie die Praxis der Zusammenarbeit zeigt — ein idealer Verbund für einen sich wechselseitig anregenden Technologie-Transfer.

Die Zentralstelle für Solartechnik koordiniert nicht nur den Einsatz von Meßinstrumenten und Daten-

*) Teilprogramm Neue Energiequellen, ZIP-Jahresbericht Nutzung der Sonnenenergie in bundeseigenen Gebäuden (ISBN 0724 — 6943).

**) Statusberichte Sonnenenergie 1983 I—X „Nutzung der Sonnenenergie in bundeseigenen Gebäuden“, DGS-Sonnenenergie-Verlags GmbH, München. Statusbericht Sonnenenergie 1982: „Nutzung der Sonnenenergie in bundeseigenen Gebäuden in Berlin“, DGS-Sonnenenergie-Verlags GmbH, München.

***) Die GFHK ist die technisch-wissenschaftliche Einrichtung der Vereinigung der deutschen Zentralheizungswirtschaft (VdZ), die ca. 33 000 Mitglieder umfaßt, vor allem kleine und mittlere Unternehmen der Heizungsanlagen- und Klimatechnik sowie Betriebe des Heizungsinstallations- und Lüftungsgewerbes.

erfassungsgeräten für Solaranlagen im ZIP-Programm, sondern lagert auch Meßgeräte und Instrumente, die beim Abschluß anderer Solarprojekte nicht mehr benötigt werden. Sie werden für solartechnische Untersuchungen an Fachhochschulen oder bei Kommunen ausgeliehen. Durch die zentrale Erfassung und Bewirtschaftung hochwertiger und kostspieliger Meßgeräte in einem Pool und deren revolvierendem Einsatz werden die Beschaffungskosten für neue Instrumentierungen begrenzt.

1.5 Erfahrungen und Ergebnisse

a) Zielerreichung

1. Durch die öffentliche und systemoffene Ausschreibung wurde erreicht, daß ca. 50 Hersteller als Anbieter und Lieferanten energietechnischer Komponenten (Solarkollektoren, Energieabsorber, Wärmespeicher, Wärmepumpen) am ZIP beteiligt waren, davon 33 kleine und mittlere Unternehmen.

Damit wurde die Absicht verfolgt, die angebotene Systemvielfalt aufzugreifen und interessant erscheinende, aber noch nicht ausreichend erprobte Anlagenkonzepte nicht vorzeitig aus dem Ideenwettbewerb auszuschließen.

Diese Vorgehensweise erhöhte das Risiko, noch nicht vollkommen ausgereifte und von Kinderkrankheiten befreite Anlagentechnik zu erhalten. Die Bundesregierung hat sich jedoch entschieden, dieses Risiko bewußt einzugehen und dem Ideenwettbewerb und der Systemvielfalt den Vorzug zu geben, soweit dies mit Rücksicht auf die berechtigten Belange des späteren Betreibers zu vertreten war. Die systemoffene Ausschreibung hat die freie Entfaltung des Lernprozesses aller Beteiligten und das Herantasten an die richtigen Daten und Werte ermöglicht.

Die Beteiligung an der Submission sowie die spätere Installation der Anlagen erfolgte nahezu ausschließlich von kleinen und mittleren Betrieben des installierenden Handwerks. Insgesamt dürfte damit die Beteiligung von kleinen und mittleren Unternehmen als Komponentenlieferanten und Installateure von ZIP-Anlagen bei ca. 90 Prozent liegen.

2. Von den insgesamt 15 Bundesministerien waren 10 Bundesressorts mit entsprechenden Vorhaben in ihren nachgeordneten Dienstbereichen am ZIP-Programm beteiligt.

An der Planung, Ausschreibung und Vergabe waren die nachfolgend aufgeführten Dienststellen beteiligt:

- die Bundesbaudirektion in Berlin und Bonn
- alle 16 Oberfinanzdirektionen
- 8 von insgesamt 18 Oberpostdirektionen
- 3 Bundesbahndirektionen und eine Wasser- und Schifffahrsdirektion
- bei den nachgeordneten Bauverwaltungen der einzelnen Bundesländer
 - 16 Staatshochbauämter bzw. Staatliche Hochbauämter

- 8 Staatsbauämter
- 3 Landesbauämter
- 11 Finanzbauämter
- 2 Straßenbauämter

Im Durchschnitt dürften somit schätzungsweise ca. 50 % der öffentlichen Bauverwaltungen am Programm beteiligt gewesen sein.

3. Mit insgesamt rd. 45 Anlagen, die seit der Inbetriebnahme — von Anlaufschwierigkeiten abgesehen — heute technisch einwandfrei und zur Zufriedenheit des Betreibers arbeiten, können damit derzeit 45 % der errichteten Anlagen als Vorbilder erfolgreicher Anwendungen angesehen werden.

Gründe für dieses verbesserungsbedürftige und grundsätzlich verbesserungsfähige Ergebnis sind, daß die Installation der Anlagen überwiegend nachträglich in dem vorhandenen Gebäudebestand und damit unter erschwerten Bedingungen erfolgte, wobei der Gebäudebestand häufig z. T. erheblichen Sanierungsmaßnahmen unterzogen werden mußte.

Es ist davon auszugehen, daß durch eine weitere intensive Beschäftigung mit den noch nicht optimal arbeitenden Anlagen im Rahmen eines gemeinsamen Lernprozesses aller am ZIP-Programm beteiligten Stellen die Anzahl der technisch zufriedenstellend laufenden Anlagen etwa verdoppelt werden kann. Dies setzt allerdings eine mehrjährige und auf die Beobachtung und Erfassung des Langzeitverhaltens aller Anlagen ausgerichtete Fortsetzung und Erweiterung des laufenden Meßprogramms voraus, das derzeit i. w. nur die im Bereich der Bundeswehr installierten Anlagen bis Ende 1984 meßtechnisch betreut und die Betreiber bei der Betriebsoptimierung der Anlagen unterstützt.

4. Von den 107 installierten Projekten laufen zur Zeit 45 technisch zufriedenstellend. Zur Zeit liegen für zehn von den 45 technisch einwandfrei laufenden Projekten erste Einsparwerte vor. Diese Anlagen genügen den Kriterien des BMBau für eine sinnvolle Maßnahme zur Energieeinsparung in bundeseigenen Gebäuden.
5. Sechs Solarprojekte am Standort Berlin werden heute vom Institut für Elektrische Maschinen und Antriebe an der Technischen Universität Berlin, eine weitere Solaranlage von der Technischen Fachhochschule in Berlin meßtechnisch betreut und ausgewertet.

Das Betriebsverhalten der Solaranlage bei der Bundesanstalt für Milchforschung in Kiel-Schaedtbeck wurde im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel untersucht. Bezogen auf die Gesamtzahl von derzeit rd. 50 in entsprechender Weise für eine projektbegleitende Untersuchung geeigneten Stellen sind heute nur ca. 6 % der Fachhochschulen und universitären Einrichtungen am ZIP-Programm beteiligt.

Im Verlauf der Durchführung der zehn Statusseminare zum ZIP-Programm im Zeitraum von Juni bis Oktober 1983 ist von den anwesenden Vertretern zahlreicher Fachhochschulen lebhaftes Interesse und eine grundsätzliche Bereitschaft an einer regional begrenzten Mitarbeit am projektbegleitenden Meßprogramm der Zentralstelle für Solartechnik bekundet worden, so z. B. von den Fachhochschulen in Flensburg, Lübeck, Hamburg, Paderborn, Köln, Bingen, Würzburg, Ulm und München.

Durch die Beteiligung dieser Fachhochschulen an dem langfristig angelegten Meßprogramm wird dem interessierten ingenieurtechnischen Nachwuchs Gelegenheit gegeben, sich bereits im Rahmen der Ausbildung mit praktisch ausgeführten Solaranlagen zu befassen und Erfahrungen für die spätere Berufsausübung sammeln zu können. Der Aufbau praxisorientierter Ausbildungspläne an den Fachhochschulen für neue Energietechniken kann damit unterstützt werden.

6. Bei der Installation der Solaranlagen vor Ort waren nahezu ausschließlich Handwerksbetriebe mit z. T. sehr unterschiedlichen Vorkenntnissen und Qualifikationsniveau beschäftigt.

Um den erhöhten Anforderungen bei der Installation neuer Energietechniken im Vergleich zu Anlagen der konventionellen Heizungstechnik in Zukunft besser entsprechen zu können, sind bisher sechs von 43 Handwerkskammern, die sowohl technischen wie auch organisatorischen Innovationen aufgeschlossen gegenüberstehen, bereits von sich aus dazu übergegangen, Energie-sparzentren, Wärmepumpen- und Solarlabors oder Fort- und Weiterbildungskurse einzurichten und anzubieten (Frankfurt, Hamburg, Hannover, Karlsruhe, Kassel und Koblenz).

Da sich mittlerweile an jedem Standort einer Handwerkskammer auch eine Fachhochschule befindet, ist es für den Lernprozeß und den weiteren Einsatz von neuen Energietechniken von erheblicher Bedeutung, die Zusammenarbeit zwischen diesen beiden Partnern auf regionaler Ebene zu intensivieren und im Rahmen des Meßprogramms auszubauen.

b) Spezifische Kosten und Einsparwerte

Die spezifischen Investitionskosten der ZIP-Anlagen lassen sich anhand einer statistischen Auswertung wie folgt zusammenfassen:

- Die spezifischen Kosten für den Quadratmeter Solarkollektor (nicht installiert) liegen je nach Werkstoff und Verarbeitung zwischen 300 und 950 DM/m². Eine deutliche Häufung von Werten im Bereich von 300 bis 450 DM/m² deutet darauf hin, daß solare Flachkollektoren zu vertretbaren spezifischen Kosten auf dem Markt sind.
- Die spezifischen Absorberkosten liegen in der Bandbreite von 100 bis 900 DM/m². Häufig im Bereich 250 bis 400 DM/m². Die durchschnittlichen spezifischen Absorberkosten liegen um ca.

30% unter den spezifischen Kosten für Solarkollektoren.

- Die spezifischen Speicherkosten (inclusive Wärmetauscher und Wärmedämmung) liegen zwischen 2 500 bis 8 000 DM/m³ Speichervolumen. Häufig bei 4 000 bis 6 000 DM/m³. Diese unverhältnismäßig hohen spezifischen Kosten für installierte Speicher müssen durch eine Überprüfung der Auslegung, Konstruktion, Fertigung und Montagefreundlichkeit von Wärmespeichern erheblich gesenkt werden, um Wirtschaftlichkeit zu erreichen.
- Die spezifischen Wärmepumpenkosten liegen im Bereich zwischen 1 500 DM und 3 000 DM pro installierter kW-Antriebsleistung. Häufig bei rd. 2 000 bis 2 500 DM/kW.
- Mit einer Spanne von 20 bis 70% der Installationskosten an den Gesamtkosten von installierten Anlagen und einem Durchschnittswert von ca. 50% Kostenanteil für den Einbau der Solaranlage, ist der eindeutige Schwerpunkt für die Weiterentwicklung neuer Energietechniken zu montage-, installations- und wartungsfreundlichen Kompaktsystemen durch die wirklich an der Solartechnik interessierten Unternehmen vorgegeben.
- Aufgrund hoher Installationskosten von nahezu 50% der Gesamtkosten weisen die spezifischen Anlagekosten eine Bandbreite von 1 000 bis 3 500 DM/m² Solarkollektor- oder Absorberfläche mit einem Durchschnittswert von ca. 2 100 DM/m² auf.

Die Erfahrungsbasis über die Höhe der eingesparten Energiekosten pro Jahr ist noch zu schmal, um eine verlässliche Übersicht zu geben, ob die einzelnen Maßnahmen nach dem Kriterienkatalog des BMBau für jedes Einzelprojekt als sinnvoll anzusehen sind.

Soll die Solarenergie in Zukunft eine größere Verbreitung erfahren, wird es unerlässlich sein, alle Kräfte auf eine Senkung der spezifischen Gesamtkosten der installierten Solaranlage zu konzentrieren.

c) Betriebliche Ergebnisse

Im Gegensatz zu Forschungsanlagen, an denen Energieströme meßtechnisch genau erfaßt werden, sind die Solaranlagen des Zukunftsinvestitionsprogramms von der Ursprungskonzeption her Gebrauchsanlagen. Sie sind deshalb nicht alle mit umfassenden Meßinstrumentierungen ausgerüstet worden. Die periodische Inspektion und Beobachtung der Anlagen durch die ZfS ermöglicht aber eine Mängel- und Störfallstatistik über aufgetretene Installations- und Komponentenfehler zu erstellen, Informationen über das Langzeitbetriebsverhalten der Anlagen zu sammeln sowie aufgrund belastbarer Daten und Fakten den Betreiber bei der Optimierung der Betriebsweise der Solaranlage zu unterstützen und ihn mit den besonderen Anforderungen bei der Betriebsführung vertraut zu ma-

chen. Bisher vorliegende wesentliche Erkenntnisse aus den Betriebserfahrungen der ZIP-Anlagen sind:

- Der spezifische Energiegewinn für Solaranlagen und Flachkollektoren beträgt 50 bis 350 kWh/m² und Jahr. (Das Solarhaus in Freiburg-Tiengen [siehe Kapitel 3.2] weist Werte von 420 bis 500 kWh/m² unter Einsatz von Hochvakuum-Röhrenkollektoren auf.)
- Der Deckungsbeitrag der Solarenergie an der genutzten Energie (solare Deckungsrate) beträgt im Sommer häufig 100 Prozent bei Brauchwasseranlagen und erlaubt damit die Stillegung der in öffentlichen Gebäuden und Liegenschaften häufig überdimensionierten herkömmlichen Heizungsanlage zur Warmwasserbereitung im Sommer. Die durchschnittliche solare Deckungsrate aller bisher erfaßten Anlagen liegt im Sommer bei ca. 75%.

Bezogen auf das ganze Jahr liegt die solare Deckungsrate je nach Objekt zwischen 10 und knapp 50 %, im Mittel bei ca. 28 %. (Im Solarhaus Freiburg werden solare Deckungsraten von 60 bis 70 % erreicht.) Deckungsraten über 50 % mit Flachkollektoranlagen erfordern stark überproportional größere Kollektorflächen und sind unwirtschaftlich.

- Die besten bis heute mit Anlagen des ZIP-Programms beobachteten Systemnutzungsgrade (Verhältnis vom Verbraucher genutzte Wärme zu eingestrahelter Sonnenenergie) liegen bei 35 %, der Durchschnittswert bei ca. 25%.
- Zur genaueren Vorausberechnung des tatsächlich gewinnbaren Energieertrags von Solaranlagen müssen dynamische Effekte (z. B. Aufwärmen und Abkühlen der Kollektoren sowie das Regelungsverhalten) berücksichtigt werden.
- Solaranlagen arbeiten mit hoher Energieausbeute, wenn ein niedriges betriebliches Temperaturniveau eingestellt wird, z. B. Vorwärmung des Kaltwassers der Warmwasserbereitungsanlage durch die Solaranlage und die Aufheizung auf Solltemperatur durch die Zusatzheizung.
- An den 1979/1980 errichteten Anlagen der ersten Generation in Liegenschaften der Bundeswehr mußten Umbauten zur Verbesserung der Betriebsverhalten der Anlagen vorgenommen werden. Durch verdreifachten Durchsatz durch die Solarspeicher konnte z. B. der Systemnutzungsgrad verdoppelt werden.
- Der Warmwasserverbrauch in der Praxis liegt z. T. erheblich niedriger als für den Regelfall bei der Auslegung angenommen. Dies führt zu niedrigen Systemnutzungsgraden. Das tatsächliche Energiebedarfsprofil sollte daher auf jeden Fall vor dem Einbau einer Solaranlage bekannt sein.
- Eine 100%-Deckung des Warmwasserverbrauchs an einem guten Sonnentag, d. h. bei einer solaren Einstrahlung von ca. 6 kWh pro m² effektiver Kollektorfläche sowie einer Speicherkapazi-

tät entsprechend dem Warmwasserbedarf eines Tages, zeichnet sich als erste Richtgröße für eine optimale Bemessung von solaren Brauchwasseranlagen für die Zukunft ab.

- Die Zirkulationsverluste in Warmwasserbereitungsanlagen können über die Hälfte des Tageswärmeverbrauches betragen.
- Die Speicherverluste sind oft ein Vielfaches dessen, was aufgrund der Wärmedämmung erwartet werden kann. Mit bekannten konstruktiven Änderungen besteht die Möglichkeit, den Wärmeverlust aus Speichern erheblich zu verringern.
- Viele Anlagen weisen nicht-solarspezifische konstruktive Mängel auf, die durch bessere Zusammenarbeit zwischen Komponentenhersteller einerseits und Installateur andererseits vermeidbar sind. Die Problemfelder beziehen sich auf den Kollektorkreislauf (Kollektorfeld und Verrohrung), die Regelung sowie den Speicher und die Nacherwärmung.
- Durch falschen Einbau der Regelfühler und nicht gut auf das System abgestimmte Regelungsstrategien oder durch eine anfällige Regелеlektronik kann die Effektivität eines Solarsystems sehr stark herabgesetzt werden.
- Zuverlässigkeit und Robustheit von Meßfühlern und Meßgeräten, z. B. Wärmemengenzählern, lassen zu wünschen übrig und sind daher durch gezielte Weiterentwicklung wirksam zu verbessern, da kleine Fehler gerade in diesem Bereich oft große Wirkung zeigen.
- Solaranlagen müssen — wie andere technische Anlagen auch — regelmäßig kontrolliert und fachlich qualifiziert betreut werden. Beste betriebliche Ergebnisse wurden mit den Anlagen erzielt, die vom Betreiber interessiert und mit Engagement gewartet wurden. Schwerwiegende Mängel wurden überwiegend bei den Anlagen festgestellt, die unsachgemäß geplant und ausgeführt wurden und bei denen eine kontinuierliche fachliche Betreuung nicht gegeben war.

Ganz allgemein läßt sich feststellen, daß die an Solaranlagen gestellten hohen Erwartungen bislang nur in wenigen besonders günstig gelagerten Einzelfällen erfüllt wurden. Das reale Leistungsvermögen der Anlagen beträgt in manchen Fällen nur 50% oder weniger des vom Planer oder Hersteller angegebenen Wertes. Dies macht deutlich, daß die Effizienz neuer Energietechniken, die theoretisch oder unter labormäßigen Testbedingungen erreichbar ist, heute nur mit Abstrichen in der Praxis erreicht wird. Die im ZIP-Programm gewonnenen Erfahrungen sind jedoch für alle Beteiligten von großem Wert für die Orientierung der weiterführenden Entwicklungsarbeit und der Beseitigung von nach wie vor vorhandenen Schwächen von Komponenten und Anlagenkonzepten.

Ein unerwartetes Ergebnis des ZIP-Programms war, daß auch schwerwiegende Mängel in konventionellen Systemen und Komponenten, also im Be-

reich der herkömmlichen Heizungs- und Anlagentechnik, durch das projektbegleitende Meßprogramm vorurteilsfrei und rückhaltlos aufgedeckt worden sind. Das erlaubt berechnete Zweifel an der heute üblichen Installationstechnik und dem Maß der Qualifikation bei der Auslegung und Ausführung von konventionellen Heizungs- und Wärmeversorgungssystemen.

2. Bäder und Sportstätten

Die Bundesregierung hat mit einem Mitteleinsatz von ca. 25 Mio. DM im Zeitraum von 1975 bis 1982 Forschungs- und Pilotvorhaben zur rationellen Energieverwendung und Nutzung der Sonnenenergie im öffentlichen Sport- und Bäderbereich durchgeführt. Sie verfolgte hierbei das Ziel,

- die Eignung und Vorteile der Technik, Verfahren und Produkte nachzuweisen,
- zur Verbesserung und Weiterentwicklung von Konzepten, Anlagen und Produkten anzuregen, und
- durch geeignete Vorbilder zur Verwirklichung gleichwertiger Anlagen beizutragen.

Die wesentlichen technischen Merkmale der Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben in Bädern und Sportstätten sind in Tabelle (2) zusammengestellt. Weitere Detailinformationen über die Demonstrationsanlagen im Bäderbereich sowie über Anlagen in Sportstätten sind in der Statusberichtsreihe des BMFT enthalten*).

2.1 Freibad Wiehl

Mit der Freibadanlage der Stadt Wiehl/Oberbergischer Kreis sollten erste Erfahrungen sowohl mit Auslegung, Installation und Betrieb größerer Solaranlagen gewonnen, als auch Lebensdauer und Energieertrag, u. a. auch von energiesparenden Maßnahmen wie Beckenabdeckungen und Wärmerückgewinnungsanlagen, aus mehrjähriger meßtechnischer Beobachtung ermittelt werden.

Das Freibad Wiehl war zum Zeitpunkt seiner Errichtung im Jahr 1975/76 die weltweit erste Versuchsanlage zur solaren Badewassererwärmung. Weder die eingesetzte Technologie noch die Investitionsaufwendungen sind deshalb repräsentativ für den heutigen Entwicklungsstand. Allerdings konnte mit dieser Anlage die bisher längste Betriebserfahrung mit einer Solaranlage mit großer Kollektorfläche (1 485 m², 1 100 Kollektoren) gesammelt werden.

a) Betriebliche Ergebnisse

- Die vom Beckenwasser durchströmten, einfach verglasten Solarkollektoren aus Edelstahl wie-

*) BMFT-Statusbericht „Energieeinsparung in Sportstätten“, September 1983, Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik/Karlsruhe (Hrsg.)

sen bei einer Differenz von 8 Grad Celsius zwischen Beckenwasser- und Lufttemperatur, die im Mittel der Badesaison (viereinhalb Monate) auftrat, einen Wirkungsgrad zwischen 60 und 70% auf.

- Der mittlere Systemwirkungsgrad während der Badesaison beträgt ca. 50%. Hierbei sind Wärmeverluste in Rohrleitungen, ungleiche Wasseraufteilung auf die einzelnen Kollektoren sowie Einflüsse des instationären Betriebs infolge solarer Einstrahlungsschwankungen berücksichtigt.
- Der saisonale Nutzungsgrad der gesamten Kollektoranlage (Verhältnis der an das System abgegebenen Nutzwärme zur solaren Einstrahlung) lag im Mittel bei 43%. Hierbei sind die Zeitspannen eingeschlossen, in denen die globale Bestrahlungsstärke keinen Betrieb der Anlage zuließ. Der Nutzungsgrad erhöht sich rechnerisch auf 47% bei einer Kollektoranlage mit guter Wasserverteilung bzw. auf 49%, wenn zusätzlich wärmedämmende Rohrleitungen eingesetzt werden würden.
- Während der Betriebsdauer der Anlage von rund 160 Tagen im Sommer werden etwa 590 kWh/m² eingestrahlt, die zu einer Nutzwärmeabgabe von 280 kWh/m² effektiver Kollektorfläche führt.
- Der Gesamtenergieertrag der Solaranlage vermindert den Einsatz von Heizöl um rd. 49 000 Liter je Badesaison entsprechend rd. 32% des Energiebedarfs.
- Der Einsatz von Abdeckeinrichtungen der Wasseroberfläche außerhalb der Betriebszeiten des Bades verringert den Wärmebedarf pro m² Wasseroberfläche und Badesaison um ca. 40%.
- Durch das Zusammenwirken von Solarkollektoranlage, Abdeckeinrichtung und des Wärmerrückgewinns aus der Wasseraufbereitung wird der theoretische Gesamtwärmebedarf des Freibades zu ca. 90% gedeckt. In windreicheren Lagen würde die Kombination dieser Einrichtungen einen Deckungsanteil am dann höheren Wärmebedarf von rd. 75% ergeben.

b) Beobachtungen

An der Solaranlage des Freibades Wiehl traten im wesentlichen zwei Schadensarten auf:

- Die Glasscheibenbrüche seit Inbetriebnahme bis heute betragen durchschnittlich 1,5%/a. Die Glasbruchgefahr könnte durch geringe Vergrößerung des Luftspaltes zwischen Absorberplatte und Glasabdeckung vermieden werden.
- Der Anteil der Kollektorabsorberplatten aus Edelstahl, die Korrosionsmerkmale aufweisen, stieg bis Ende 1982 auf rund 46% an. Die Korrosionserscheinungen treten ausschließlich im Bereich der geschweißten Steppnähte auf, durch die die Strömungskanäle des Absorbers voneinander getrennt werden (Spannungsrißkorrosion).

durch erhöhte Chloridkonzentration). Durch ein anderes Schweißverfahren können diese Schäden vermieden werden.

Zur Fortschreibung der Schadensstatistik wird die Anlage in den nächsten zwei Jahren ohne Reparatur betrieben.

c) Kosten

- Von den Kosten der Kollektoranlage, die 1 160 DM/m² Kollektorfläche betragen, ist die Hälfte (580 DM/m²) durch die Kollektoren bedingt. Der Kostenanteil der Rohrleitungen beträgt rund 25%.
- Die Gesamtjahreskosten der Kollektoranlage von rd. 153 DM/m² und Jahr werden von den Kapitalkosten (145 DM/m².a) bestimmt. Sie können im Beispiel des Wiehler Freibades durch optimierte Anlagenauslegung und Komponentengestaltung auf ca. 115 DM/m².a gesenkt werden. Hieraus würden sich Nutzwärmekosten von 0,41 DM/kWh errechnen.
- Zweckmäßig ausgewählte Beckenabdeckeinrichtungen führen bei Investitionskosten von 200 bis 250 DM/m² bedeckter Wasseroberfläche zu Gesamtjahreskosten von 30 bis 35 DM/m² und Jahr. Damit ergeben sich Kosten von 0,07 bis 0,09 DM je eingesparter kWh Wärme.
- Die Investitionskosten für Wärmerückgewinnungsanlagen betragen beim Neubau eines Freibades ca. 35, bei nachträglichem Einbau dagegen etwa 50 DM je m² Wasseroberfläche. Die Wärmeersparnis beträgt bei modernen Wasseraufbereitungsanlagen etwa 50, bei älteren Anlagen nur etwa 30 kWh/m² Wasseroberfläche. Entsprechend ergeben sich Wärmekosten zwischen 0,09 bis 0,20 DM je kWh eingesparter Wärme. Der Anteil der durch Wärmerückgewinnungsanlagen erzielbaren Wärmeersparnis liegt unter 6% des ursprünglichen Wärmebedarfs.

Die Erfahrungen zeigen, daß durch Abdeckeinrichtungen der Brennstoffbedarf eines öl- oder gasbeheizten Freibades wesentlich gesenkt werden kann. Sie sind für alle Freibäder eine wirkungsvolle und wirtschaftliche Maßnahme zur Energieeinsparung. Die Wirtschaftlichkeit von Wärmerückgewinnungsanlagen muß im Einzelfall geprüft werden. Mit Rücksicht auf die hohen Investitionskosten von Sonnenkollektoranlagen sollte ein Verhältnis von 0,4 bis 0,6 von Kollektorfläche zu Beckenwasserfläche nicht überschritten werden. Auch in diesem Fall sollte ein Deckungsanteil von ca. 50% des verbleibenden Restwärmebedarfs und optimalen Anlagenkonzepten erzielt werden können*). Den Investitions- und Kapitalkosten ist jedoch große Aufmerksamkeit zu schenken, um die finanziellen Möglichkeiten von Gemeinden nicht zu übersteigen.

*) Dieser Anteil kann dadurch erheblich gesteigert werden, daß man statt der Beibehaltung einer Mindesttemperatur des Beckenwassers von z. B. 24° C ein Absinken auf z. B. 22° C in sonnenschwachen Zeiten zuläßt.

Weiterhin bleibt zu berücksichtigen, daß umfassende technische Neuerungen und Erweiterungen bestehender Einrichtungen höhere Instandhaltungskosten verursachen und qualifizierte technische Mitarbeiter zur Betreuung dieser Anlagen erfordern können.

2.2 Rationelle Energieverwendung in Bädern

Sechs Frei-, Hallen- bzw. Hallenfreibäder an den Standorten Ahaus, Inzell, Schwalmtal, Stadtsteinach, Uelzen und Unna wurden bzw. werden im Rahmen eines gemeinsam mit der Kommission der Europäischen Gemeinschaft durchgeführten umfangreicheren Demonstrationsprogramms mit unterschiedlichen Maßnahmenkombinationen von Solar- und Absorberanlagen ausgerüstet.

Im Demonstrationsprogramm werden mit ca. 50 Schwimmbädern in den Ländern der Gemeinschaft Erfahrungen bei der Planung, beim Bau und mit dem Betrieb der Anlagen zur rationellen Energieverwendung gesammelt. Nach einer Phase mehrjähriger Betriebsbeobachtung und Datensammlung sollen dann die Erfahrungen aus den sehr unterschiedlichen Demonstrationsprojekten verglichen, die Wirksamkeit einer breiten Palette energiesparender Maßnahmen in verschiedenen Klimazonen belegt sowie Aussagen zur Wirtschaftlichkeit getroffen werden.

Die Beobachtungsphase des europäischen Demonstrationsprogramms solarbeheizter Bäder wird erst Ende 1985 abgeschlossen sein.

Die öffentlich ausgeschriebenen Anlagen der Bäder in Ahaus, Unna und Stadtsteinach sind erst seit einer Badesaison in Betrieb und eine abschließende Bewertung der noch unvollständigen Betriebsergebnisse ist noch nicht möglich. Die Anlagen für die Bäder in Inzell und Uelzen werden erst im Juli 1984 fertiggestellt. Einige vorläufige Meßdaten können jedoch angegeben werden.

a) Ahaus

In diesem neugebauten Wellenfreibad mit 2 324 m² Beckenoberfläche wurden sowohl unverglaste Absorber (405 m² auf dem Dach des Funktionsgebäudes) als auch verglaste Kollektoren (1 880 m² auf Ständerwerk über dem Parkplatz) des gleichen Herstellers eingebaut. Einige Beobachtungen sind:

- Die Absorberanlage erbrachte bei ca. 5,18 kWh/m² und Tag solarer Einstrahlung in den Monaten Juni bis September 1983 eine mittlere nutzbare Leistung von rd. 2,04 kWh/m² und Tag; dies entspricht einem Systemwirkungsgrad von 39%.
- Die Kollektoranlage erreichte in der gleichen Zeitperiode einen Systemwirkungsgrad von 36%.
- Der mittlere Systemnutzungsgrad der gesamten Kollektor- und Absorberanlage betrug ca. 36% bei einem Energiegewinn von rd. 1,91 kWh/m²

und Tag. Damit wurden ca. 83% des Energiebedarfs des Freibades gedeckt.

- Während der außergewöhnlich heißen Tage im Juli 1983 wurde das Beckenwasser derart erwärmt, daß zur Abkühlung die Beckenabdeckung an zwölf Nächten nicht ausgefahren wurde.

b) Stadtsteinach

Es handelt sich hier um die technische Umrüstung eines 1974 erbauten Freibades mit 1 123 m² Beckenoberfläche. Die Fläche der Solaranlage (verglaste Kollektoren) betrug 900 m².

Die Solaranlage erbrachte in den Monaten Juli bis September 1983 einen mittleren Systemnutzungsgrad von 58% und deckte damit voll den Energiebedarf. Die Kesselanlage zur Beckenwassererwärmung war während der gesamten Saison abgeschaltet. Dabei wurde jedoch zugelassen, daß die Beckentemperatur unter den Sollwert von 24° C bis minimal 22° C absank.

c) Unna

Das neue Freibad Unna-Massen ist mit einer Wärmepumpenanlage und einer Absorberfläche von 1 144 m² ausgestattet. Die Beckenoberfläche ist 1 304 m², von denen 472 m² ganzjährig betrieben werden.

Die Absorberanlage des Freibades Unna wurde im August 1983 ohne Wärmepumpe zur Beckenwassererwärmung genutzt. Dabei wurde jedoch wegen noch nicht erfolgter Optimierung nur ein Systemnutzungsgrad von 25% erzielt.

d) Schwalmthal

Der jährliche Wärmebedarf des neuen Hallenbades Schwalmthal (270 m² Beckenoberfläche) wurde durch konsequente Wärmedämmung, durch den Einbau hochwirksamer Wärmerückgewinnungseinrichtungen aus Abluft, Dusch- und Filterspülwasser sowie durch den Einsatz einer Wärmepumpenanlage mit Absorber (1 600 m² wirksame Fläche) auf rund 30% gegenüber einer herkömmlichen Bauweise und Anlagentechnik gesenkt.

Mit der dem Filterspülwasser entzogenen Wärmemenge konnten 55% des Wärmebedarfs für das zugeführte Beckenwasser gedeckt werden. Die Anlage zum Wärmerückgewinn aus Filterspülwasser arbeitet so wirkungsvoll, daß eine Leistungsziffer von knapp zehn erreicht wurde.

2.3 Sportzentrum Paderborn

Das 1977 errichtete Sportzentrum umfaßt eine Vierfachturnhalle (1 620 m²) und eine Schwimmhalle (4 220 m² Beckenoberfläche) und ist mit einer Gasmotor-Wärmepumpenanlage ausgestattet. Als innere Wärmequelle werden die Abluft aus dem Schwimmbadbereich, Duschabwasser und die Luft

aus dem Maschinenraum, als äußere Wärmequelle ein im Gebäudekomplex integrierter Brunnen (100 bis 210 m³/h) herangezogen.

Nach Überwindung verschiedener Anfangsprobleme arbeitet die Kompressions-Wärmepumpe reibungslos. Der tatsächliche Wärmebedarf des Sportzentrums erwies sich deutlich geringer als die der Anlagenbemessung zugrunde gelegte Heizleistung. Ursächlich hierfür ist u. a. die Vernachlässigung interner Wärmequellen bei der Wärmebedarfsrechnung nach DIN 4701 in der bis 1980 gültigen Fassung. Die erheblichen Baumassen und der Wassergehalt von Becken, Speicher und Rohrleitung führten weiterhin zu einer unerwartet hohen Speichervirkung des Gebäudes. Die Außentemperaturabhängigkeit des Wärmebedarfs ist deshalb bedeutend geringer als erwartet. Auch die erzielten Heizzahlen der Wärmepumpen (2.12 bis 2.21) erwiesen sich erheblich höher als vorher berechnet (1.82).

Damit wurden in der Wärmepumpenanlage im Durchschnitt der letzten Jahre rd. 47 Einheiten Primärenergie zur Bereitstellung von 100 Einheiten Nutzenergie aufgewendet. Der erzielte Primärenergieeinsparungseffekt im Vergleich zur Versorgung mit einer herkömmlichen Gaskesselanlage beträgt rd. 60%.

Die ursprüngliche Überkapazität der Gaswärmepumpenanlagen des Sportzentrums wird zwischenzeitlich zur Heizung und Kühlung einer in der Nähe errichteten Stadthalle genutzt. Alle Wärmeverbraucher können bis zu einer Außenlufttemperatur von 0° C aus inneren Wärmequellen versorgt werden.

2.4 Schulzentrum Altenkunstadt

In diesem Vorhaben wurde eine bivalente Gaskessel-/Gaswärmepumpenanlage mit Wärmenutzung aus Flußwasser über drei Heizperioden meßtechnisch im Betrieb verfolgt. Die Anlage wurde im Zusammenhang mit der ersten Bauphase eines Schul- und Sportzentrums errichtet, in ihrer Kapazität aber bereits für die 2. Baustufe ausgelegt.

Das gasmotorisch betriebene Wärmepumpenaggregat arbeitet seit Inbetriebnahme im November 1977 zufriedenstellend. Im Beobachtungszeitraum betrug die Wärmeabnahme nur 50% der Endausbaustufe. Die hierfür bei den Planungen unterstellten Energieersparnisse haben sich im Ganzjahresbetrieb mit Jahresheizzahlen von rund 1,7 und einer Primärenergieeinsparung von 60% im Vergleich mit einer konventionellen Gasfeuerungsanlage eingestellt.

Die Energiekostensparnis deckt bisher nur die laufenden Betriebskosten. Eine Endaussage über die Wirtschaftlichkeit der Anlage kann erst nach Realisierung der 2. Baustufe und weiteren meßtechnischen Beobachtungen getroffen werden.

2.5 Sporthalle Unterensingen

Die Solaranlage (32 m² Kollektoren) der Sporthalle (2 025 m²) dient zur Warmwasserbereitstellung für

die Duschräume. Die Sporthalle verfügt über keine eigene Heizzentrale, sondern wird über eine Stichleitung von der Heizzentrale einer 100 m entfernt gelegenen Schule wärmetechnisch versorgt. Da die Schule im Sommer keine Wärme für die Raumheizung benötigt, sollte die meßtechnische Verfolgung Aufschluß darüber geben, in welcher Höhe der stark schwankende Warmwasserbedarf der Sporthalle allein durch die Solaranlage in den Sommermonaten gedeckt und damit die Heizanlage abgestellt werden kann.

Aus den Messungen ergab sich, daß der tatsächliche Wasserverbrauch geringer ist als in der Planungsphase angenommen. Die Solaranlage ist daher überdimensioniert. Der gesamte Brauchwasserbedarf für die Duschen wird daher in den Monaten März bis Oktober ohne nennenswerte Zusatzenergie bereitgestellt. Durch Stilllegung der Kesselanlagen des Schulzentrums im Sommerhalbjahr wird eine Öleinsparung von ca. 10 000 Liter Heizöl im Jahr erzielt. Die Anlage ist seit acht Jahren störungsfrei in Betrieb.

2.6 Sportzentrum Leingarten

In Leingarten wurde 1976 erstmals in der Bundesrepublik Deutschland ein Gemeindesportzentrum mit Hallenbad (250 m²), Sporthalle (1 260 m²) und Schultrakt sowie ein Sommerfreibad mit einer Luft-/Wasserwärmepumpe mit Wärmerückgewinnung aus Abluft und Abwasser zur Wärmeerzeugung ausgestattet.

In den Untersuchungen wurde der Energieverbrauch über eine Heizperiode gemessen. Vom Gesamtwärmebedarf des versorgten Objektes werden rd. 30% aus dem Wärmerückgewinn aus Abluft und Abwasser und rd. 18% aus innerem Wärmerücklauf gewonnen. Der innere Wärmegehalt deckt den Wärmebedarf bis zu Außentemperaturen von 5° C. Die Primärenergieeinsparung beträgt rd. 50% gegenüber einer konventionellen Ölfeuerungsanlage ohne Wärmerückgewinnung. Dies entspricht einer Heizöleinsparung von rund 175 t pro Jahr.

Mit der erzielten Energie- und Betriebskostensparnis in Höhe von ca. 42 TDM/a wurde die Gesamtwirtschaftlichkeit der Einrichtung gesichert nachgewiesen.

3. Hausbereich und kommunale Einrichtungen

In einer Reihe von Einzelvorhaben hat die Bundesregierung die Erprobung von verschiedenen forschungsintensiven Solar- und Wärmepumpensystemen sowie von passiver Solarenergiegewinnung zur Brauchwassererwärmung als auch zur Raumheizung unterstützt. Hierbei standen wissenschaftlich-technische Fragestellungen im Vordergrund des Interesses. Die staatliche Unterstützung erstreckte sich dabei von einer Förderung des Gesamtvorhabens (in Einzelfällen) über die Mittelbereitstellung für die solartechnische Einrichtung (im Regelfall) bis zur Übernahme von lediglich der Kosten für die Anlagenplanung oder meßtechnische Verfolgung.

In den Forschungsvorhaben wurden Systemverhalten und Wärmeertrag mit unterschiedlichen Solar- und Absorber-/Wärmepumpenanlagen in einigen Anwendungsfällen zur Wärmeversorgung von Häusern und Gebäuden untersucht. Das Spektrum der bisherigen betrieblichen Erfahrungen reicht von ausgezeichneten Ergebnissen bis zum Totalversagen von Anlagen aufgrund fehlerhafter Betriebsweise. Die Betriebserfahrungen ermöglichen jedoch heute, Einsatzmöglichkeiten sowie Randbedingungen für eine optimale Systemnutzung und -auslegung als Voraussetzung einer wirtschaftlichen Solarenergienutzung abzuleiten.

In *Tabelle 3* sind die charakteristischen Daten der Gebäude-Versuchsanlagen zusammengestellt.

3.1 Solarhaus Aachen

Die Möglichkeiten zur Verringerung des vorwiegend aus fossilen Quellen gedeckten Energiebedarfs in Gebäuden sind vielfältig. Sie umfassen eine große Zahl aktiver und passiver Maßnahmen. Bei den Möglichkeiten handelt es sich z.T. um bekannte Techniken, z.B. verbesserte Wärmedämmung, zum anderen Teil um Techniken wie den Einsatz von Wärmepumpen- und Solaranlagen oder dem Solarenergiegewinn durch Fensterflächen oder Wintergärten, deren jahreszeitlich nutzbarer Energieertrag entscheidend von der energetischen Auslegung des Gesamtsystems „Haus“ beeinflusst wird.

Die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen zur Energieeinsparung auf den Restenergiebedarf eines Gebäudes und die Möglichkeiten zur Nutzung der Solarenergie wurden am Beispiel eines freistehenden Einfamilienhauses, das 1975 in Aachen errichtet wurde, experimentell untersucht und mit systemanalytischen Modellen zur Wärmebedarfsrechnung verglichen. Die Ergebnisse der umfassenden Untersuchungen wurden in Buchform veröffentlicht*).

Wesentliche zusammenfassende Aussagen sind:

- Das technisch mögliche Ausmaß, den Heizenergiebedarf von Gebäuden durch Energieeinsparung ohne Komforteinbuße zu reduzieren, liegt weit über den bisher allgemein angenommenen Grenzen. Bei einem neu zu errichtenden Einfamilienhaus durchschnittlicher Größe läßt sich unter akzeptablen ökonomischen Bedingungen und bei optimaler Abstimmung der Maßnahmen der Wärmeenergiebedarf auf ca. 13% eines nach der Wärmeschutzverordnung von 1977 isolierten Hauses verringern. Bei bestehenden Wohnhäusern führt die nachträgliche Verbesserung der Wärmedämmung rechnerisch zu einer Senkung des Heizenergiebedarfs bis auf ca. 55%.
- Der Einsatz von Solaranlagen und Wärmepumpensystemen zur Raumheizung ist erst im An-

* H. Hörster (Hrsg.): „Wege zum energiesparenden Wohnhaus“, Philips Fachbuchreihe, Hamburg 1980 (ISBN 3-87145-250-5)

schluß an Maßnahmen zur Verringerung des Wärmebedarfs sinnvoll.

- Höher effiziente Solarkollektoren sind den Standard-Flachkollektoren hinsichtlich des solaren Deckungsanteils deutlich überlegen. Mit höher effizienten Kollektoren versehene Solaranlagen vermögen den Raumwärmebedarf eines normalen Einfamilienhauses bis zu 40% zu decken. Dieser Anteil kann für hochwärmedämmte Häuser bis zu 100% betragen. Der Systemnutzungsgrad der Anlage fällt allerdings mit zunehmend geringerem Wärmebedarf, da in diesem Fall im Sommer mehr Wärme produziert als für die Warmwasserbereitung benötigt wird.

Die Ergebnisse und Erfahrungswerte aus diesem Forschungsvorhaben haben zwischenzeitlich Eingang in die Praxis gefunden. In dem in Eigeninitiative und Kooperation zwischen einem Fertighaushersteller und der Elektrizitätswirtschaft entwickelten Niedrig-Energie-Fertighaus werden diese Erkenntnisse umgesetzt. Dieses 174 m² große Haus weist einen minimalen Wärmebedarf aus, der mit 1 250 l/a an Heizöl gedeckt werden kann. Das entspricht rund 25% des im Bundesdurchschnitt für die gleiche Wohnfläche benötigten Energiebedarfs.

3.2 Solarhaus Freiburg

Untersuchungsgegenstand ist eine Wärmerohr-Vakuumkollektoranlage zur Versorgung des Brauchwassersystems und zur Teilheizung eines mit verstärkter Wärmedämmung und weiteren energiesparenden Vorkehrungen ausgestatteten Zwölf-Familienhauses (Sozialer Wohnungsbau). Zwei Kollektorflächen unterschiedlichen Fabrikats können wahlweise eingesetzt und vergleichend untersucht werden. Die Anlagenauslegung und ein mikroprozessor-gesteuertes Regelungssystem erlauben eine Vielzahl von Betriebsarten. Ein konventionell ausgestattetes Haus gleichen Typs dient energetischen Vergleichsmessungen.

In diesem Haus werden 45 bis 50 Liter pro Tag und Person bei 45° C, insgesamt 1 100 bis 1 200 Liter/Tag an Warmwasser benötigt. Mit einer der beiden Kollektorflächen können von April bis September 90 bis 100% des Warmwasserbedarfes des Hauses gedeckt werden. Im Jahresdurchschnitt liegt die Deckungsrate zwischen 60 und 70%. Die Jahresenergieausbeute der Anlage liegt zwischen 420 und 500 kWh/m² effektiver Kollektorfläche. Dies entspricht einer Heizöleinsparung von 60 bis 70 Liter/m² Kollektorfläche im Jahr, wenn von einem durchschnittlichen Nutzungsgrad der Ölkesselanlage von 70% ausgegangen wird. Im Vergleich zu einer Flachkollektoranlage wird nur etwa die Hälfte der Kollektorfläche für den gleichen Energieertrag benötigt.

Während der gesamten Betriebszeit von 1978 an entstand kein Glasbruch. Die Kollektoren weisen keinerlei Alterserscheinungen auf. Seit 1979 sind keine Betriebsstörungen aufgetreten.

Nicht zuletzt aufgrund engagierter wissenschaftlich-technischer Betreuung durch ein Ingenieurbüro, das die Betriebsweise und Regelstrategie zunehmend optimierte, lieferte die Anlage des Solarhauses Freiburg europaweit die weitaus besten jährlichen Energieertragswerte im Vergleich zu allen anderen vergleichbaren Solarinstallationen, die von der Kommission der Europäischen Gemeinschaft in einem vergleichenden Meßprogramm in allen Ländern der Gemeinschaft beobachtet wurden.

2.3 Solarhaus Essen*)

Dieses Haus wurde als erstes bewohntes Solarhaus in Deutschland 1975 von privater Seite errichtet. Die fachliche Planung einer nach dem Wärmerohrprinzip arbeitenden Solaranlage und eines Wasser-/Wasser-Wärmepumpensystems sowie die Versuchsauswertung wurden von einem Stromversorgungsunternehmen durchgeführt. Die Solaranlage dient der Brauchwasserbereitung für eine vierköpfige Familie, der Beheizung von 200 m² Wohnfläche und der Erwärmung von Beckenwasser in einem kleinen Hausschwimmbad; die Zusatzwärmeversorgung übernimmt die Wärmepumpe.

An dieser Anlage wurde ein Verhältnis von nutzbarer zu eingestrahelter Solarenergie von 28% im Jahresdurchschnitt ermittelt. Dieser relativ niedrige Wert ist vor allem darauf zurückzuführen, daß bei der großen Kollektorfläche in den Sommermonaten eine praktisch nicht nutzbare Überschußenergie anfällt. In den Übergangsmonaten März und Oktober betrug der Nutzungsgrad hingegen ca. 50%. Der durchschnittliche Deckungsgrad der Solarenergie am Wärmebedarf des Hauses belief sich auf rd. 45%, wobei etwa zu gleichen Teilen die unmittelbar von den Kollektoren gelieferte Energie und die durch den Wärmepumpenbetrieb im Kollektorkreis zusätzlich nutzbare Energie zu dieser Deckungsrate beitrugen. Dies entspricht einer Heizöleinsparung von rd. 36 Liter pro m² Kollektorfläche pro Jahr.

Bei dieser Einrichtung wurden erstmals Prototypen von Wärmerohrkollektoren eingesetzt. Die Anlage arbeitet bis heute störungsfrei.

3.4 Solarhaus Otterfing

In diesem zu Versuchszwecken errichteten freistehenden Einfamilien-Fertighaus wurde eine modulare Flachkollektor-Solaranlage zur Brauchwassererwärmung und Zusatzraumheizung installiert und während nur einer Heizperiode vermessen.

An dieser Anlage konnte die vorausberechnete Energieeinsparung nicht erreicht werden. Der Wärmebedarf des Hauses lag um rd. 33% höher als erwartet. Der Solarkreis des Hauses war nicht optimal auf diesen Bedarf eingestellt und mit den zusätzlichen Heizeinrichtungen regelungstechnisch

*) J. Broschk (et al): „Solarhaus Essen“, BMFT-Berichtsreihe Technologische Forschung und Entwicklung (Nichtnukleare Energietechnik), BMFT-FB-T 81-120, Juli 1981.

abgestimmt. Die Stillstands- und Zirkulationsverluste erwiesen sich als zu hoch. Die Solaranlage wurde zwischenzeitlich ausgebaut.

Die Erfahrungen aus dieser frühen Anlage zeigten, daß dem Systemaufbau und der Systemschaltung solarer Zusatzeinrichtungen hohe Bedeutung zukommt. Es wurde ersichtlich, daß Solaranlagen sorgfältig auf den spezifischen Einsatzfall abgestimmt sein müssen und regelungstechnisch anspruchsvoll sind. Aus der Erfahrung mit diesem Vorhaben wurde weiterhin die Notwendigkeit ersichtlich, eine meßtechnische Beobachtung über mindestens drei Jahre durchzuführen, um Schwankungen des Wetters und der Betriebsbedingungen bei der Systembeurteilung berücksichtigen zu können.

3.5 Solar-Warmwasserversorgung in Fertighäusern *)

An Standorten von Schleswig-Holstein bis Bayern wurden der Energiegewinn mit Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung für den simulierten Bedarf einer vierköpfigen Familie über drei Jahre hinweg vermessen. Hierzu wurden identische solare Brauchwasseranlagen in Fertighäusern in Wahlstedt, Lauenstein, Büdingen, Walldorf, Neustadt, Rottal installiert.

Trotz unterschiedlicher Wetterbedingungen und Standorte zeigten alle Anlagen ähnlichen Energiegewinn. Die Versuche ergaben, daß im Sommerhalbjahr ca. 50% des Wärmebedarfs zur Brauchwassererwärmung durch Sonnenenergie abgedeckt wurden. Der Betrieb von Ölheizanlagen zur Brauchwassererwärmung in den Sommermonaten wird damit weitgehend überflüssig. Die Leistungsfähigkeit der Anlagen zeigte im Beobachtungszeitraum von 1976 bis 1979 keine Änderung.

Der solaren Deckungsrate liegen die für den Haushalt charakteristischen Verbrauchsspitzen am Abend und Morgen zugrunde. Bei einem für öffentliche Gebäude typischen eher gleichmäßig über den Tag anstehenden Warmwasserverbrauch würden höhere Deckungsraten erzielt werden.

3.6 Heggbacher Einrichtung

Zwei neu erbaute Wohnheime für schwerstbehinderte Kinder der Heggbacher Einrichtungen wurden 1978 mit einer Flachkollektoranlage zur Raumheizung und Warmwassserbereitung in Verbindung mit einem regenerativen Lüftungssystem ausgestattet. Der Restwärmebedarf sollte ursprünglich von einer bestehenden Ölheizung erbracht werden.

Nach Inbetriebnahme der Anlage konnte die Solarheizanlage nur sechs Monate ohne Störungen betrieben werden. Durch Kollektordefekte bedingt,

war in der Folgezeit nur ein Teilbetrieb möglich. Meßdaten über den Anlagenbetrieb konnten wegen vielfacher Defekte nur beschränkt gesammelt werden.

Die Anlage ist durch erhebliche Korrosionsschäden in der Folgezeit funktionsunfähig geworden. In der Zwischenzeit wird der Restwärme- und Eigenstrombedarf der Einrichtung durch ein in Kraft-Wärmekopplung arbeitendes Blockheizkraftwerk (BHKW) gedeckt.

Das Beispiel zeigt, daß thermische Solaranlagen wie konventionelle Heizungsanlagen einer regelmäßigen Kontrolle und Wartung bedürfen.

3.7 Technische Fachhochschule Berlin

An einem Institutsgebäude der Technischen Fachhochschule Berlin wurde der Versuch unternommen, Solarkollektoren als Fassadenelemente in die Architektur eines Gebäudes zu integrieren und zur Brauchwasserbereitung einzusetzen. Das Anlagenverhalten wurde über zwei Jahre beobachtet.

In energietechnischer Hinsicht ergab sich, daß ein sinnvoller Betrieb nur im Sommerhalbjahr April bis September möglich ist. Für diese Periode ergab sich eine nutzbare Wärmemenge von 76 kWh/m² Kollektorfläche. Damit konnte die Brauchwassermenge zu rd. 55% abgedeckt werden. Die mittlere tägliche Deckungsrate lag zwischen 50 und 85%. Nach anfänglichen Schwierigkeiten einer architektonisch und optisch zufriedenstellenden Ausführung traten bis heute an der Fassadenkonstruktion und Kollektoranlage keine technischen Mängel oder Schäden auf. Die Erfahrung mit der Fassadenanlage zeigt, daß derartige Systeme technisch machbar und mit handelsüblichen Bauelementen betriebssicher zu gestalten sind. Die wegen Überdimensionierung der Kollektoranlage vergleichsweise geringe Energieausbeute bei erhöhtem Aufwand für Ingenieur- und Architektenleistungen lassen jedoch eine Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen in absehbarer Zeit nicht erwarten.

3.8 Rathaus Ahlen

Zur Wärmeversorgung und Kühlung des 1977 erbauten Rathauses der Stadt wurde eine elektrische Wärmepumpe eingesetzt mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft und Oberflächenwasser als Wärmequelle.

Die Wärmepumpe der Anlage arbeitet mit Leistungszahlen zwischen 3,5 und 4,1. Damit wird eine Primärenergieeinsparung von rd. 45 % im Vergleich zu einer konventionellen Ölfeuerungsanlage ohne Wärmerückgewinnung erzielt. Die Energiekosteneinsparung entsprach bereits auf der Energiepreisbasis von 1979 den erhöhten Kosten für Kapitaldienst und Wartung.

Seit 1978 ist die Anlage ohne nennenswerte Störungen in Betrieb.

*) H. Reiss (et al): „Meßprogramm Solar-Warmwasserversorgung in Fertighäusern“, BMFT-Berichtsreihe Technologische Forschung und Entwicklung (Nichtnukleare Energietechnik), BMFT-FB-T 80-101, September 1980.

3.9 Theaterneubau Heilbronn

Bei dem Theaterneubau Heilbronn wird erstmalig die gesamte Zuluft für das Klimatisierungssystem des Gebäudekomplexes in einem unterirdischen Erdreich/Luftwärmetauscher (Thermolabyrinth) unter dem Stadttheater vorgewärmt bzw. abgekühlt. Zusätzlich wird Wärme aus der Fortluft rückgewonnen.

An einem extremen Wintertag und während eines neunstündigen Betriebstages bringt der Wärmetauscher rund 43 % der Wärmeleistung, an einem extremen Sommertag rund 100 % der Kühlleistung. Für den Zeitraum eines Betriebsjahres ergibt sich rechnerisch eine Energieeinsparung von 16 % für die Heizleistung und 100 % für die Kühlleistung. Bei dieser Berechnung ist eine betriebsbedingte Sommerpause von Mitte Juli bis Ende August berücksichtigt. Es wird erwartet, daß durch diese Maßnahme rund 37 % der anderenfalls erforderlichen Energiekosten eingespart werden. Ohne Annahme künftiger Energiepreissteigerungen amortisieren sich die zusätzlichen Baukosten rechnerisch damit in ca. 16 Jahren. Die lange Lebensdauer derartiger Betonkanäle und der minimale Wartungsaufwand sind ein charakteristisches Merkmal in diesem Spezialfall einer Einrichtung zur Energieeinsparung.

4. Gebrauchstauglichkeitstests und Akzeptanzumfragen

4.1 Kleine Brauchwasseranlagen

Die Leistungsfähigkeit von Solaranlagen wird nicht allein von der Güte der Kollektoren, sondern in vergleichbarem Maß durch die Systemauslegung, Regelungsstrategie, Höhe der Speicherverluste, WärmetauscherAuslegung usw. beeinflusst. Zur Sicherung des Problembewußtseins bei der herstellenden Industrie hinsichtlich Auslegung, Konstruktion, Regelung und Installationserfordernissen solarer Brauchwasseranlagen für den Einfamilienhaushalt hat die Bundesregierung deshalb den Gebrauchstauglichkeitstest kleiner Anlagen zur solaren Brauchwassererwärmung unter gleichen, praxisnahen und weitgehend reproduzierbaren Bedingungen bei der Stiftung Warentest unterstützt. Die technischen Untersuchungen werden vom TÜV Bayern durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchung einschließlich Kosten und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen erscheinen in Kürze in der Zeitschrift „test“^{*)}.

Im Versuchsaufbau wurden 14 marktübliche Anlagen zur solaren Warmwasserbereitung untersucht, die entsprechend den Marktverhältnissen 1980 ausgewählt wurden und damit dem damaligen technischen Stand entsprachen. Viele der in diesen Anlagen eingesetzten Solarkollektoren werden allerdings heute nicht mehr geliefert oder sind inzwischen technisch verbessert worden. Nach

^{*)} „So fangen Sie die Sonne ein“, Zeitschrift „test“ der Stiftung Warentest, Teil 1, Heft 12, 18. Jahrgang, Dez. 1983; Teil 2, Heft 1, 19. Jahrgang, Januar 1984.

Angaben des Bundesverbandes Solarenergie e. V. (BSE) werden heute sowohl bessere Kollektoren als auch kostengünstigere Systeme am Markt angeboten.

Entsprechend den Herstellerempfehlungen für die Deckung des Warmwasserbedarfs eines Drei- bis Vierpersonenhaushaltes liegen die Kollektorflächen der getesteten Anlagen bei ca. 7 m² und die Speichervolumen bei ca. 320 Liter. In den Anlagen kamen nur Flachkollektoren zum Einsatz. Im Versuch entsprachen die Wasserentnahmelasten dem Warmwasserbedarf eines Drei- bis Vierpersonenhaushaltes.

Eine Vorabauswertung der Betriebsbeobachtungen führt zu folgenden vorläufigen Erkenntnissen:

- Eine gut dokumentierte, weitgehend vormontierte und vollständig gelieferte Anlage erfordert rd. ein Drittel des Installationsaufwandes einer diesbezüglich weniger gut konzipierten Anlage. Unter dem Aspekt des Montageaufwandes sind eindeutig Kollektoren vorzuziehen, die außen über der Dachhaut montiert werden können.
- Die technische Zuverlässigkeit der Anlagen läßt sich bislang positiv beurteilen, obwohl einige Mängel zu beobachten waren. Die aufgetretenen Mängel sind jedoch nicht solarspezifischer Natur, sondern sind Fehler in konventionellen Anlagenteilen sowie bei der Regelungstechnik, die prinzipiell und i. W. problemlos beseitigt werden können. Nach dem derzeitigen Eindruck können Solaranlagen durchaus die Lebensdauer konkurrierender Heizungssysteme erreichen.
- In der bisherigen Versuchszeit von rund zwei Jahren wurden je nach Anlage 42 % bis 72 % des Warmwasserbedarfes solar gedeckt. Es ist absehbar, daß sich im Jahresmittel ein solarer Bedarfsdeckungsanteil von durchschnittlich 50 % aller untersuchten Anlagen ergeben wird.
- Die um mehr als einen Faktor 2 höhere Leistungsfähigkeit der guten gegenüber der weniger guten Anlagen hat seine Ursache in vielen technischen Details. Dazu gehören u. a. Größe der Kollektorfläche, Höhe der thermischen Verluste des Kollektors während des Betriebs, Fläche der Wärmetauscher, Leistungsbedarf von Umwälzpumpen, Regelstrategie der Solarkreissteuerung, gute Temperaturschichtung sowie Bereitschaftsverluste des Speichers.
- Die Erfahrungen aus der Alterungsbeobachtung der Kollektoren besagen, daß es durchaus Kollektoren auf dem Markt gibt, die praktisch keiner Alterung unterliegen, aber auch Kollektoren angeboten werden, deren Leistungsfähigkeit innerhalb eines Jahres um bis zu 20 % abnimmt.
- Die Installationsaufwendungen für die Brauchwasseranlagen selbst unter den Bedingungen eines allseits zugänglichen Testdaches verdoppeln die Gesamtkosten der Anlagen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß kleine solare Brauchwasseranlagen bei optimaler

Auslegung hohe Nutzungsgrade erreichen können, die durch den Einsatz von hocheffizienten Vakuumkollektoren entscheidend verbessert werden könnten. Von besonderer Bedeutung für höhere Wirtschaftlichkeit ist jedoch die verbesserte ingenieurmäßige Auslegung der Anlagen im Hinblick auf eine problemlose und schnelle Installation vor Ort.

4.2 Umfragen

Nach Statistiken des Bundesverbandes Solarenergie (BSE) waren bis einschließlich des 1. Quartals 1983 ca. 210 000 m² Solarkollektoren, ca. 100 000 Kleinwärmepumpenanlagen zur Warmwasserbereitung und etwa 75 000 Wärmepumpen zur Hausheizung installiert. Darüber hinaus sind derzeit ca. 500 verbrennungsmotorisch betriebene Wärmepumpen im Einsatz.

Um die Erfahrungen der Praxis mit Solaranlagen und elektrischen Wärmepumpen zu erfassen und zugänglich zu machen, hat sich die Bundesregierung sowohl an Repräsentativumfragen über die Erfahrungen mit dem Einbau von Wärmepumpenanlagen beim installierenden Handwerk beteiligt*), als auch eine Erhebung über die Erfahrungen mit bestehenden Solaranlagen bei Nutzern und Betreibern im Jahre 1979 durchführen lassen**). Diese Erkenntnisse werden durch Ergebnisse einer Untersuchung über Betriebserfahrungen mit aus öffentlichen Mitteln geförderten Solaranlagen in Baden-Württemberg ergänzt, die im Auftrag der Landesregierung 1981 durchgeführt wurde***).

Die Umfrage über Erfahrungswerte mit elektrischen Wärmepumpenanlagen bei ca. 700 Installateuren — 400 des Heizungs- und Installationsgewerbes und 400 des Elektrohandwerks — kommt zu den wesentlichen Ergebnissen, daß

- rund die Hälfte der befragten Installationsbetriebe schon Wärmepumpen installiert hat, im Schnitt rund sieben Wärmepumpen pro befragten Handwerksbetrieb,
- mehr als 90 % der Befragten angeben, daß ihre Kunden mit den von ihnen installierten Anlagen zufrieden sind,
- nur rund 6 % der Befragten Unzufriedenheit bei ihren Kunden nach erfolgter Installation feststellten und
- ca. 65 % der befragten Installateure beim Einbau der Wärmepumpen durch den betreffenden Hersteller unterstützt bzw. betreut wurden.

Die Angaben dieser Umfrage wurden durch zwei weitere Erhebungen voll bestätigt, die von einem

*) „Mehrthemenumfrage bei 400 Elektro-Installateuren und 300 Zentralheizungs- und Lüftungsbauern“, BMFT/GFM-Polytechnic, August 1982.

**) G. Keller (et al): „PESA — Praktische Erfahrungen mit bestehenden Solaranlagen“, BMFT-Forschungsbericht Solartechnik, BMFT-FB (ET 4286 A), März 1980.

***) „Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung“, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Nr. 1-1982.

Elektrizitätsunternehmen und einem Beratungsbüro unabhängig durchgeführt wurden*).

Die Ergebnisse der Untersuchungen von Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung des Landes Baden-Württemberg ergänzen und bestätigen im wesentlichen die Aussagen der Studie der Bundesregierung über praktische Erfahrungen beim Bau und Betrieb mit Solaranlagen (PESA) und geben eine Vergleichsmöglichkeit über einen längeren Beobachtungszeitraum:

- Nach PESA waren über 83 % der Eigentümer mit ihren Solaranlagen zufrieden. Nach der Untersuchung in Baden-Württemberg würden sich nur 7 % der Befragten nicht mehr für eine Solaranlage entscheiden.
- Aufgetretene Mängel und Störfaktoren sind vornehmlich auf undichte Rohrverbindungen, undichte Kollektoren, mangelnde Entlüftungsmöglichkeit sowie Schwierigkeiten bei der Regelung der Anlage zurückzuführen.
- Festgestellte Mängel und Schäden an Solaranlagen wurden in 70 % der Fälle zufriedenstellend durch Hersteller oder Installateure, überwiegend als Garantie- oder Kulanzleistung, behoben.
- Genehmigungsrechtliche Schwierigkeiten mit dem Einbau von Solaranlagen erwiesen sich statistisch als vernachlässigbar. Die aus den frühen Jahren der Markteinführung bekanntgewordenen Schwierigkeiten beschränkten sich auf Einzelfälle.

5. Schlußfolgerungen

Die Erfahrungen aus den wissenschaftlich-technischen Untersuchungen und aus dem Betrieb der mit öffentlichen Mitteln geförderten Solar- und Wärmepumpenanlagen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

5.1 Technik

- a) Der Einsatz von Wärmepumpenanlagen zur Beheizung größerer Gebäude und öffentlicher Einrichtungen in Verbindung mit Wärmerückgewinnung aus internen Wasserquellen und Wärmeentzug aus Grund- oder Oberflächengewässern stellt eine sowohl technisch verfügbare als auch energiesparende und umweltschonende Alternative zu konventionellen Heizungstechniken dar.
- b) Mangels einer Lösung des Langzeit-Energiespeicherproblems ist der sinnvolle Einsatz von Solaranlagen vor allem bei der Erwärmung von Brauchwasser im Hausbereich und bei der Beheizung von Freibädern gegeben. In größeren Einrichtungen mit konstanten Wärmegrundla-

*) Umfragen des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerks (RWE) Essen sowie der Fa. Gewiplan/Frankfurt.

sten ohne ausgeprägte Bedarfsspitzen können Solaranlagen in den Übergangsmonaten jedoch zur Heizwasservorwärmung und so zur Primärenergieeinsparung beitragen.

- c) Solarthermische Niedertemperatursysteme sind im Aufbau durchaus anspruchsvoll und erfordern im Gegensatz zur konventionellen Heizsystemtechnik eine größere ingenieurmäßige Bearbeitung und eine sorgfältige technische Planung. Mit Ausnahme von kleinen Brauchwasseranlagen ist eine individuelle Planung für jedes einzelne Objekt kaum zu umgehen. Bei größeren Anlagen sollten Energieberater an der Festlegung der Gebäude- und Energienutzungskonzeption beteiligt werden, um optimale Systemlösungen zu finden.
- d) Bei der Auslegung von Solar- oder Wärmepumpenanlagen muß von einem möglichst genau ermittelten aktuellen Wärmebedarfsprofil ausgegangen werden. Bei Schätzwerten oder aus Regelwerken entnommenen Bedarfswerten besteht die Gefahr nicht optimaler Systemauslegungen. Eine Überdimensionierung von Solaranlagen, die wegen der in den Sommermonaten häufig nicht nutzbaren solaren Überschußenergie zu niedrigen Nutzungsgraden führt, muß vermieden werden.
- e) Der solare Wärmegewinn kann bis zu 500 kWh/m² und Jahr für hocheffiziente Vakuumkollektoren und bis zu 300 kWh/m² und Jahr für selektiv beschichtete Flachkollektoren betragen. Der tatsächlich mit diesen Werten erzielbare solare Deckungsbeitrag zur Wärmeerzeugung hängt neben dem Wärmebedarfsprofil jedoch stark von der Systemauslegung und einer optimalen Regelungstrategie im Zusammenwirken mit den konventionellen Wärmeerzeugungsanlagen ab.
- f) Der Energiebedarf einer Person für Warmwasser kann unter den in Deutschland gegebenen meteorologischen Bedingungen und unter optimalen Voraussetzungen mit 1 m² Solarkollektorfläche bis zu knapp 70 % gedeckt werden. Es lassen sich damit Primärenergieeinsparungen von 50 bis 60 Liter Heizöl/m² effektiver Kollektorfläche in Verbindung mit modernen Ölheizungsanlagen, bzw. 80 bis 150 Liter Heizöl/m² in Kombination mit weniger effizienten älteren ölgefeuerten Heizanlagen, bei der Brauchwassererwärmung in Haushalten erzielen.
- g) Das gute Zusammenwirken der an der Montage von Solaranlagen beteiligten Berufsgruppen (Architekt/Bauingenieur, Heizungsingenieur und -monteur, Dachdecker, Elektriker, Installateur) ist eine Voraussetzung für einen zufriedenstellenden Betrieb.
- h) Größere Anlagen sollten von einer technisch veranlagten Bezugsperson betreut und gewartet werden. Bei falscher Betriebsweise kann der Energieeinsparungseffekt stark verringert, im Extremfall die Anlage zerstört werden.
- i) Bei der Solartechnik ist der technische Reifeprozess noch in vollem Gange. Sowohl konstruktive

als auch regelungstechnische Probleme sind noch zu lösen und auch grundsätzlich behebbar. Die Anlagentechnik, insbesondere von kleinen Solaranlagen, muß noch wesentlich vereinfacht und damit weniger aufwendig gestaltet werden. Komfortansprüche setzen hier jedoch eine deutliche Grenze.

Über die Lebensdauer von Solarenergienutzungsanlagen, die für den Einsatz in der Bundesrepublik Deutschland entwickelt wurden, liegen noch keine abgesicherten Erkenntnisse vor. Hierzu müssen weitere betriebliche Langzeitbeobachtungen an bestehenden Anlagen durchgeführt und gezielt die Korrosionsprobleme von Werkstoffen und Werkstoffkombinationen unter den Einsatzbedingungen in der Solartechnik weiter wissenschaftlich untersucht werden (zur Zeit werden in einem mit Fachleuten für Korrosionsfragen und Solartechnik besetzten Arbeitskreis sog. „10 goldene Regeln“ zur Vermeidung von Korrosion bei Solaranlagen erarbeitet).

Um das Potential der thermischen Solarnutzung auch in den Übergangsjahreszeiten voll ausschöpfen zu können, ist ferner die Fortentwicklung zur Marktreife von hocheffizienten Kollektoren, die große Anteile diffusen Lichtes mit geringer Leistungsdichte noch nutzbar machen können, von besonderer Bedeutung. Die Auswahl des Kollektortyps sollte jedoch stets von seinen Arbeitsbedingungen abhängig gemacht werden. So kann im Freibad-Bereich auch der unverglaste Absorber zu guten Betriebsergebnissen führen, während teurere, hocheffiziente Kollektoren das wirtschaftliche Ergebnis negativ beeinflussen können.

- j) Die Erfahrung zeigt, daß in aller Regel eine beachtliche Leistungssteigerung der Anlage möglich war, wenn durch eine intensive meßtechnische Betreuung und Projektbegleitung sowie durch den orientierenden Vergleich an den Ergebnissen der Messungen an anderen Anlagen eine schrittweise Optimierung der Betriebsweise im Verbund mit der bestehenden konventionellen Anlagentechnik durchgeführt wurde.
- k) Als entscheidende Voraussetzung für eine erfolgreiche Integration neuer Energietechniken in öffentliche Gebäude hat sich eine sinnvolle und wohlüberlegte Kombination mit anderen energiesparenden Maßnahmen erwiesen, z. B.
 - die Durchführung entsprechender wärmedämmender Maßnahmen, vor allem bei den warmwasserführenden Rohrleitungen,
 - die Verringerung zum Teil unerwartet hoher Zirkulationsverluste in den Verteilleitungen,
 - die Umstellung von konventionellen Wärmeversorgungseinrichtungen von Dampf- auf Warmwasserbetrieb,
 - der vollständige Ersatz häufig erheblich überdimensionierter konventioneller alter Heizungsanlagen,
 - die Nachrüstung der vorhandenen Heizungsanlage mit einer witterungsgeführten Außen-temperatursteuerung,

- die Einführung der fernsteuerbaren Einzelraumtemperatursteuerung sowie
- der Einbau von Thermostatventilen.

Die Eingliederung der neuen Energietechniken in ein vorhandenes energie- und anlagentechnisches Umfeld und eine sehr sorgfältige Abstimmung mit anderen energiesparenden Maßnahmen ist erforderlich, wenn der wirtschaftliche Einsatz neuer Energietechniken sichergestellt werden soll.

- 1) Diesel-/gasbetriebene Wärmepumpen kleiner Leistung für das Ein- oder Mehrfamilienhaus werden noch nicht am Markt angeboten.

5.2 Wirtschaftlichkeit

- a) Abdeckeinrichtungen führen im Vergleich zu allen anderen möglichen Maßnahmen der Energieeinsparung in Freibädern zu den niedrigsten Kosten je eingesparter kWh Wärme. Diese Maßnahme ist außerordentlich wirtschaftlich.
- b) Der Einbau von Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus Filterspül- und Duschabwasser ist eine energiesparende, wirtschaftlich vertretbare Maßnahme.
- c) Die Nutzwärmekosten großer Solarkollektoranlagen werden zu über 90 % von den Kapitalkosten bestimmt. Ihre Fläche in öffentlichen Freibädern sollte deshalb nicht größer als 40 bis 60 % der Beckenwasserfläche sein. Ein betriebswirtschaftlich attraktiver Einsatz kann erwartet werden, wenn einfachere Kollektoranlagen mit Systemkosten unter 500 DM/m² und 300 kWh/m² nutzbarer Wärme während der Badesaison verfügbar sind.

Ob sich ein Einbau wirtschaftlicher lohnt, muß in jedem Einzelfall überprüft werden. Leitlinien für den privaten Investor sind die BSE/ISES-Richtlinien*), für eine öffentliche Beschaffungs-

*) ISES/BSE (Hrsg.): Bewertung der Wirtschaftlichkeit regenerativer Energiequellen, Tagungsbericht, 1. Dezember 1982.

maßnahme die Vorläufigen Richtlinien des BMBau**).

- d) Für größere und gut wärmegeämmte Gebäude und Einrichtungen sind richtig dimensionierte Gas-, Öl- oder Elektrowärmepumpenanlagen, die interne Wärmequellen durch Wärmerückgewinnung sowie Grund-, Oberflächen- oder Luft-Erdreichwärmetauscher als externe Wärmequellen nutzen, wirtschaftlich. Voraussetzung dafür ist, daß nach Minimierung des Wärmebedarfs durch Reduzierung der energetischen Verluste ein hinreichend hoher Wärmebedarf verbleibt.
- e) Die Wirtschaftlichkeit der solaren Heizung von Gebäuden ist noch nicht erreicht. Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung in größeren Gebäuden können jedoch wirtschaftlich zur Vorwärmung in den Übergangsperioden beitragen.
- f) Die Wirtschaftlichkeit von Baumaßnahmen zur passiven Nutzung der Solarenergie ist in Versuchsvorhaben meßtechnisch noch nicht überprüft worden. Die lange Lebenszeit baulicher Komponenten lassen eine Wirtschaftlichkeit jedoch erwarten.
- g) Bei konkreten Investitionsentscheidungen ist immer zu berücksichtigen, daß damit eine langfristig wirksame Entscheidung für unsere Volkswirtschaft und unsere Umwelt getroffen wird. Bei nicht wesentlichen Unterschieden in der Wirtschaftlichkeit von unterschiedlichen Wärmeversorgungskonzepten sollte stets der weniger Energie benötigenden Alternative der Vorzug gegeben werden.

Die Bundesregierung berücksichtigt diesen Gesichtspunkt bei ihren Maßnahmen zur Einsparung von Energie**).

**) BMBau: Vorläufige Richtlinien (Grundsätze) für die Einsparung von Energie im Gebäudebestand des Bundes vom 29. Februar 1980 (Fassung September 1983) — Anlage 4.

Tabelle 1

Übersicht über Solaranlagen in bundeseigenen Gebäuden (Zukunftsinvestitionsprogramm)

Standort	Objekt	Projekt-Nr. ¹⁾ Bereich	System- typ ²⁾			Nutz- ung ³⁾			Fläche ⁴⁾ (m ²)	Inbe- trieb- nahme	Meßergebnisse von ... bis ... / ab ...
			K	A	WP	B	H	S			
Berlin	Versuchs- Fertighaus	4300 Z/0-1 BMJFG	×		×	×	×		34	10/79	keine Meßfühler
Berlin	Laborgebäude	4300 Z/0-2 BMJFG	×			×			16	1/79	6/80—11/81
Berlin	Appartement- haus, Küche	4300 Z/0-3 BMF	×			×			128	5/81	5/82—8/82
Berlin	Gästehaus	4300 Z/0-4 BMF	×		×	×	×		100	6/80	9/80
Kairo	Deutsche Botschaft	4300 Z/0-5 AA	×			×			60	6/82	—
Berlin	Appartement und Wohnhaus Bundesgesund- heitsamt	4300 Z/0-6 BMJFG	×			×			100 + 30	im Bau 2/82	—
Meckenheim- Merl	EF-Wohnhaus BKA	4300 Z/0-7a BMI	×			×			6	12/82	—
Meckenheim- Merl	Gästehaus BKA	4300 Z/0-7b BMI	×		×	×	×		60	12/82	—
Bonn-Ippen- dorf	Ausbildungs- stätte AA (220 Apparte- ments)	4300 Z/0-8 AA		×	×	×			120	5/82	—
Rom	Hausmeister- wohnung (DHI)	4300 Z/0-9a BMFT		×	×	×	×		48	12/82	—
Rom	Gäste- und Dienstzimmer (DHI)	4300 Z/0-9b BMFT			×		×		—	3/83	—
Davos	Klinik	4301 Z/0 BMA	×			×			220	8/81	Anlage durch Schneedruck zerstört
Bützfleth	4-Familien- Haus	4302 Z/1-3.1 BMF	×			×	×		40	8/82	derzeit im Umbau
Willen/ Wittmund	1-Familien- Haus	4302 Z/1-3.2 BMF	×			×			9	5/79	Ergebnisse nicht korrekt
Norderney	Doppel-Wohn- haus	4302 Z/1-3.3 BMF	×		×	×	×		28	12/82	keine Meßfühler
Bovenden- Lenglern	Doppelhaus- hälfte	4302 Z/1-3.4 BMF	×			×			8	5/79	5/79
Oerbke	Doppelreihen- haus	4302 Z/1-3.5a BMF							(konv. beheiztes Vergleichshaus)		
										12/81	—
Oerbke	Doppel- reihenhaus	4302 Z/1-3.6b BMF	×			×	×		30	12/81	—

Standort	Objekt	Projekt-Nr. ¹⁾ Bereich	System- typ ²⁾			Nutz- ung ³⁾			Fläche ⁴⁾ (m ²)	Inbe- trieb- nahme	Meßergebnisse von ... bis ... / ab ...
			K	A	WP	B	H	S			
Oerbke	Doppelreihen- haus	4302 Z/1-3.5c BMF	×		×	×	×		60	12/82	—
München	Sporthalle Europäische Schule	4303 Z/2-1 AA	×			×			60	8/81	9/81
Ströbing	Sport- und Schwimmhalle	4303 Z/2-2 BMI	×			×		×	144	noch nicht abgenommen	
Berlin	8 Doppel- häuser	4304 Z/3-1 BMF	×			×			8 × 6	8/79	keine Meßfühler
Berlin	Wohnhaus (8 Wohn- einheiten)	4304 Z/3-2 BMF	×			×			72	9/80	5/82
Berlin	Wohnhaus (20 Wohn- einheiten)	4304 Z/3-3 BMF	×			×			66	5/80	4/82
Berlin	Wohnhaus (51 WE)	4304 Z/3-4 BMF	×			×			258	6/81	5/82
Ratzeburg	Schwimmbad (BGS)	4305 Z/4-1 BMI		×				×	300	9/80	—
Bad Bramstedt	Schwimmbad (BGS)	4305 Z/4-2 BMI		×				×	270	6/81	—
Bredstedt	Schwimmbad (BGS)	4305 Z/4-3 BMI	×					×	192	6/81	5/82—9/82
Bredstedt	BGS-Liegen- schaften	4305 Z/4-4 BMI	×			×			192	5/81	3/82
Lübeck	Schwimmhalle (BGS)	4305 Z/4-5 BMI	×			×		×	110	11/79	1/80
Schaedtbek/ Kiel	Landwirt- schaftliches Versuchsgut/ Laborgebäude	4305 Z/4-6 BMI	×		×	×			96	5/80	7/81—6/82
Rheinmünster- Greffern	Dienstwohn- gebäude (4 Wohnungen)	4307 Z/6-1 BMF	×			×			20	4/80	6/82—11/82
Baden-Baden	Dienstwohn- gebäude	4307 Z/6-2 BMF	×			×			8	6/79	8/81
Horb	Dienstwohn- gebäude (4 WE)	4307 Z/6-3 BMF	×			×			20	9/79	5/82
Freudenstadt	Dienstwohn- gebäude und Sozialwerk	4307 Z/6-4 BMF	×			×			13	4/80	1/82
Bühl	Zweifamilien- wohnhaus	4307 Z/6-5 BMF	×			×			14	10/79	2/82
Horb	Wohnanlage 10 4-Familien- Häuser	4307 Z/6-6.1 BMF	×			×			10 × 26	5/80	3/83
Horb	Wohnanlage 11 4-Familien- Häuser	4307 Z/6-6.2 BMF	×			×			10 × 28	5/80	3/83

Standort	Objekt	Projekt-Nr. 1) Bereich	System- typ ²⁾			Nutz- zung ³⁾			Fläche ⁴⁾ (m ²)	Inbe- trieb- nahme	Meßergebnisse von ... bis ... / ab ...
			K	A	WP	B	H	S			
Horb	Wohnanlage 9 4-Familien- Häuser	4307 Z/6-6.3 BMF	×			×			9 × 28	6/80	3/83
Coburg	Unterkunft und Schwimmbad (BGS)	4308 Z/7 BMI	×			×		×	182	4/81	1/82
Heilbronn	Bürogebäude (Arbeitsamt)	4310 Z/8-2 BMA		×	×	×	×		88	10/82	und Blockheiz- kraftwerk —
Tübingen	Laborgebäude	4310 Z/8-3 BML	×			×			68	5/81	5/81
Michelfeld	Gerätehof	4310 Z/8-4 BMV	×			×			10	2/80	—
Ulm	Wohnung und Diensträume	4310 Z/8-5 BMF	×			×			7	12/79	4/81—3/82
Geilweiler (Pfalz)	Forschungs- station	4311 Z/9-a BML	×			×			40	2/80	—
Langenscheid (Pfalz)	Gewächshaus	4311 Z/9-b BML	×			×	×		80	2/80	—
Eschwege	Unterkunft und Schwimmbad (BGS)	4312 Z/0-1 BMI		×	×	×		×	343	11/81	—
Fulda	Unterkunft (BGS)	4312 Z/0-2a BMI	×			×			29	1/82	1/82
Fulda	Wirtschaftsge- bäude (BGS)	4312 Z/0-2b BMI		×	×	×			50	1/83	—
Frankfurt	Küche	4312 Z/0-3 BML	×			×			72	9/82	—
Fuldatal	Schwimm- becken (BGS)	4312 Z/0-4 BMI	×					×	184	6/82	7/82
Saarlouis	Wohnhaus (32 WE)	4313 Z BMF	×			×			60	12/78	6/79
Aachen	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-1 BMVg	×			×			120	2/83	3/83
Achern I	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-2 BMVg	×			×			150	11/78	mehrfache Anlagen- defekte und -umbauten
Achern II	Kaserne Heizzentrale	4314 Z/1-3 BMVg	×			×			100	1/83	Meßfühler noch nicht installiert
Bayreuth	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-5 BMVg	×			×			252	5/83	—

Standort	Objekt	Projekt-Nr. ¹⁾ Bereich	System- typ ²⁾			Nutz- ung ³⁾			Fläche ⁴⁾ (m ²)	Inbe- trieb- nahme	Meßergebnisse von ... bis ... / ab ...
			K	A	WP	B	H	S			
Borkum	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-6 BMVg	×			×			130	5/79	3/83
Bremen I	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-7 BMVg	×			×			90	8/81	10/82
Bremen II	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-8 BMVg		×	×	×			65	8/81	4/83
Emden	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-10 BMVg	×			×			295	11/79	5/80—9/80, 3/83
Fulda	Kaserne Heizzentrale	4314 Z/1-12 BMVg		×	×	×			750	im Bau	—
Hamburg	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-13 BMVg		×	×	×			150	2/83	3/83
Hannover	Kaserne Freiwilligen Annahmestelle	4314 Z/1-14 BMVg		×	×	×	×		140	4/83	6/83
Heidenheim	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-15 BMVg	×			×			150	7/82	Mängel nicht behooben. Konkurs
Immendingen I	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-17a BMVg	×			×			140	11/80	5/80—12/81 4/83
Immendingen II	Kaserne Standort- verwaltung Sozialgebäude	4314 Z/1-17b BMVg	×			×			71	3/80	Defekte
Kassel I	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-18 BMVg	×			×			170	1/80	5/80—8/82 3/83
Kassel II	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-19 BMVg	×			×			170	1/80	5/80—8/82 4/83
Kiel	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-20 BMVg		×	×	×			50	5/83	6/83
Koblenz	BW-Zentral- Krankenhaus	4314 Z/1-21 BMVg		×	×	×	×		1300	6/83	Gas-Wp mit Generator
Merzig	Kaserne Heizzentrale	4314 Z/1-24 BMVg		×	×	×			550	9/82	3/83
Minden	Kaserne Heizzentrale	4314 Z/1-25 BMVg	×			×			276	9/82	1/83
Naila	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-29 BMVg		×	×	×			385	7/83	—
Neckarelz	Kaserne Heizzentrale	4314 Z/1-30 BMVg		×	×	×			250	6/81	7/83

Standort	Objekt	Projekt-Nr. ¹⁾ Bereich	System- typ ²⁾			Nutz- ung ³⁾			Fläche ⁴⁾ (m ²)	Inbe- trieb- nahme	Meßergebnisse von ... bis ... / ab ...
			K	A	WP	B	H	S			
Nienburg	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-32 BMVg	×			×			190	7/79	5/80—4/81 3/83
Regen	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-35 BMVg	×			×			130	3/83	5/83
Rheine	Kaserne Heizzentrale	4314 Z/1-37 BMVg		×	×	×			268	12/81	8/82
Schwarzen- born	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-38 BMVg	×			×			103	12/81	9/82
Todtnau/Fahl	Kaserne Heizzentrale	4314 Z/1-39 BMVg		×	×	×	×		474	noch nicht abgenommen	
Unna	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-40 BMVg	×			×			227	11/78	Defekt, Umbau 3/83
Weingarten	Kaserne Unterkunfts- gebäude	4314 Z/1-41 BMVg		×	×	×			112	7/82	10/82
Düsseldorf	Verwaltungs- gebäude	4315 Z/2-1.1 BMP	×			×			147	3/82	9/82
Mönchen- gladbach	Bürogebäude	4315 Z/2-1.2 BMP	×			×			20	12/80	6/82
Dieburg	Wohnheim (150 Personen)	4315 Z/2-2.1 BMP	×			×			135	6/80	5/82
Dieburg	Küche und Mensa	4315 Z/2-2.2 BMP	×			×			110	3/81	7/82
Darmstadt	Küche, Büro, Kfz-Wasch- halle	4315 Z/2-2.3 BMP	×			×			202	6/81	5/82
Eltville	Werkstätten	4315 Z/2-2.4 BMP	×			×			30	10/81	—
Cuxhaven	Erholungs- heim	4315 Z/2-3.1 BMP	×			×	×	×	166	4/83	—
Lübeck	Bürogebäude	4315 Z/2-3.2 BMP	×			×			76	11/80	6/82—9/82
Zugspitze	Betriebs- gebäude	4315 Z/2-4.1 BMP	×		×		×		53	2/82	5/82
München	Lehrwerk- stätten	4315 Z/2-4.2 BMP	×			×		×	168	6/81	—
Bad Honnef	Schul- und Wohngebäude	4315 Z/2-4.4 BMP	×			×	×		131	12/83	1/83
Hagen-Boell	Dienstgebäude	4315 Z/2-5 BMP	×			×	×		230	6/80	—
Würzburg	Dienstgebäude	4315 Z/2-6.1 BMP	×			×			28	4/81	6/82
Berlin	Dienstgebäude	4315 Z/2-7.1 BMP	×			×			64	12/80	—

Standort	Objekt	Projekt-Nr. ¹⁾ Bereich	System- typ ²⁾			Nutz- ung ³⁾			Fläche ⁴⁾ (m ²)	Inbe- trieb- nahme	Meßergebnisse von ... bis ... / ab ...
			K	A	WP	B	H	S			
Berlin	Bürogebäude	4315 Z/2-7.2 BMP	×			×			82	3/82	8/82
Scharnbeck	Lager und Werkstatt	4316 Z/3-3 BMV	×		×	×	×		75	6/80	—
Bruchsal	Motel und Rasthof	4316 Z/3-4 BMV	×			×			80	3/79	1/80
Camberg	Rasthof	4316 Z/3-5 BMV	×			×			192	8/81	8/81
Solingen (Ohl.-Heide)	Autobahn- Kiosk	4316 Z/3-8 BMV	×			×			36	1/81	—
Jülich (Ruraue)	Autobahn- Kiosk	4316 Z/3-9 BMV	×			×			36	1/81	—
Großenaspe (Brokenlande)	Rasthof	4316 Z/3-10 BMV		×	×	×			450	6/83	—
Burghaun (Großenmoor)	Rasthof	4316 Z/3-11 BMV	×			×			90	7/81	4/82
Münster	Reisezug- waschanlage	4316 Z/3-13 BMV	×			×			21	8/80	5/82
München	Sozial- und Bürogebäude	4316 Z/3-14 BMV	×			×			73	6/79	5/81
Kiel	Sozialgebäude	4316 Z/3-15 BMV	×			×			80	7/80	5/82

¹⁾ Projektnummer lt. Jahresbericht 1982 des BMFT (im Druck); Bereich = zuständiges Ministerium

²⁾ K = Kollektoren; A = Absorber (Energiedach, -stapel etc.); WP = Wärmepumpe

³⁾ B = Brauchwassererwärmung; H = Heizung; S = Schwimmbeckenwassererwärmung

⁴⁾ Fläche der Kollektoren bzw. Absorber (aktive Fläche — soweit möglich — sonst belegte Fläche)

Tabelle 2

Solar- und Wärmepumpen-Versuchsanlagen in Bädern und Sportstätten

Standort	Objekt	Anlage ¹⁾					Flächen (m ²)			Inbetriebnahme	Beobachtungszeitraum
		K	A	WRE	WP	AE	K/A ²⁾	Wasser	Nutz		
Wiehl	Freibad mit Mehrzweck-/Eislaufhalle	F		AW; F	el.	x	1485	1460		8/76	8/76-heute
Paderborn	Sportzentrum mit Hallenbad und Sporthalle		W/W	AW; AL	Gas		—	1250	5100	9/77	8/78-12/79
Altenkunstadt	Schul- und Sportzentrum		W/W		Gas		—			9/77	9/78-5/80
Unterensingen	Sporthalle	F					32		2000	5/78	8/78-10/79
Leingarten	Sportzentrum mit Hallen- und Freibad		L/W	F; AL	el.		—	1260	4900	2/77	12/77-5/78
Ahaus	Wellenfreibad	R		F		x	2300	2320		7/82	5/83-heute
Stadtsteinach	Freibad	F				x	900	1130		7/83	5/83-heute
Unna	Freizeitbad mit kleinem Hallenbecken		P	F; AL	Gas	x	950	1360		5/83	6/83-heute
Schwalmtal	Kleinschwimmhalle		D; St	DW; AL; F	el.		1600	270	1500	12/82	1/83-heute
Inzell	Hallenfreibad		P	F; AL	el.	x	1500	3370		7/84	in Planung
Uelzen	Hallenfreibad		P	F; AL	el.	x		3020		7/84	in Planung

¹⁾ K = Kollektoren (F = Flachkollektoren mit/ohne selektive Schichten; R = Röhrenkollektor); A = Absorber (W/W = Wasser-Wasser-Wärmetauscher; L/W = Luft-Wasser-Wärmetauscher; P = Plastikabsorber; D = Dachabsorber; St = Energiestapel); WRE = Wärmerückgewinnungseinrichtungen (DW = Duschabwasser; F = Filtrerrückspülung; AL = Abluft); WP = Wärmepumpe (el = elektr.; Gas = Gasmotor); AE = Abdeckeinrichtung

²⁾ K/A = Kollektor- bzw. Absorberfläche

Tabelle 3

**Versuchsanlagen regenerativer Energiesysteme im Hausbereich
und Kommunalen Einrichtungen**

Standort	Objekt	Systemtyp ¹⁾			Nutzung ²⁾			Flächen (m ²)		Inbetriebnahme	Beobachtungszeitraum
		K	A	WP	B	H	S	K/A ³⁾	Wohn-/Nutz-		
Aachen	Versuchsfertighaus (unbewohnt)	Vk		el.	x	x		20	116	6/5	75-78
Freiburg	Dreistöckiges 12-Familienhaus	Vk			x	x		56	640	9/78	3/79-82
Essen	Einfamilienreihenhaus	Hp		el.	x	x	x	65	200	3/76	6/77-7/79
Otterfing	Freistehendes Einfamilienfertighaus	F			x	x		80	145	11/76	10/76-12/77
Verschiedene ⁴⁾	Freistehende Einfamilienfertighäuser	F			x			5,5		9/76	3/77-8/79
Heggbach	Wohnheimanlage	F			x	x		884	8 000	9/78	—
Berlin	Mehrstöckiges Institutsgebäude	F			x			200		8/80	8/80-8/82
Ahlen	Rathaus		W/W	el.	x				12 400	10/77	12/77-9/78
Heilbronn	Theaterneubau		E/W	el.		x		1200		2/81	5/81-12/83

¹⁾ K = Kollektoren; (Vk = Vakuumkollektor; Hp = Heatpipe-Kollektor; F = Flachkollektor mit/ohne selektiver Beschichtung; A = Absorber (W/W = Wasser/Wasser-Wärmetauscher); E/W = Erdreich

²⁾ B = Brauchwassererwärmung; H = Heizung; S = Schwimmbeckenwassererwärmung

³⁾ Kollektor, Absorber bzw. Wärmetauschheizflächen

⁴⁾ Standorte in Wahlstedt, Lauenstein, Büdingen, Walldorf, Neustadt, Rottal

