

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111 (1993)
Heft: 23

Artikel: Alternative Wärmeerzeugungsanlagen: Erfahrungen aus dem Amt für Bundesbauten (AFB)
Autor: Ursenbacher, Ernst
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78191>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Alternative Wärmeeerzeugungsanlagen

Erfahrungen aus dem Amt für Bundesbauten (AFB)

Was heisst überhaupt «alternativ»? Knaurs «Rechtschreibung» hilft weiter: «anders als üblich». Nun, heute immer

VON ERNST URSENBACHER,
BERN

noch am weitesten verbreitet ist der Öl- und der Gaskessel. Die Technik ist ausgereift und einfach in der Anwendung. Ein automatischer und wartungsarmer Betrieb ist möglich. Die Dimensionierung und Wahl der geeigneten Anlage-teile sind nicht kritisch. Es existieren sogar Listen der zugelassenen und geprüften Anlagekomponenten.

Entsprechend gegenteilig zeichnen sich die meisten alternativen Wärmeeerzeugungsanlagen aus, nämlich:

- grösserer und exakterer Planungsaufwand erforderlich
- komplexere Anlagen
- höhere Investitionskosten
- höherer Wartungs- und Bedienungsaufwand, - jedoch:
- tiefere Energiekosten.

Wieso werden trotzdem alternative Wärmeeerzeugungsanlagen gebaut? Durch verschiedene Überlegungen und Gebote der Zeit werden wir dazu angehalten, so etwa:

- Verminderung der Umweltverschmutzung

- Verminderung der CO₂-Emissionen
- Verminderung des Verbrauchs fossiler Energieträger
- Einsatz von erneuerbaren (möglichst einheimischen) Energieträgern.

Wie kann nun die Verbreitung von alternativen Wärmeeerzeugungsanlagen gefördert werden? So etwa durch:

- fundierte Ausbildung und Sensibilisierung der Fachleute
- den Bau von einfachen, gutfunktionierenden (Demonstrations-)Anlagen
- eine erweiterte Betrachtungsweise der Wirtschaftlichkeit.

Förderung

Ausbildung

Es ist notwendig, dass die Fachleute ihren Wissensstand dauernd à jour halten. Hierzu eignen sich die drei Impulsprogramme des Bundesamtes für Konjunkturfragen (1990-1995) sehr gut. Auch die Mitarbeiter des AFB machen von diesen Weiterbildungsmöglichkeiten Gebrauch. Namentlich handelt es sich um:

- PACER: erneuerbare Energien
- RAVEL: rationelle Verwendung von Elektrizität
- IPBAU: Erhaltung und Erneuerung.

Demonstrationsanlagen

Für die Ausführung von Pilot- und Demonstrationsanlagen stand zwischen 1986 und 1991 gemäss Bundesbeschluss ein Rahmenkredit von 20 Millionen Franken zur Verfügung. Nebst AFB konnten ebenfalls die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) und das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) von diesem Geld profitieren. Von den wichtigsten Projekten gibt es farbige Kurzbeschriebe (Format A3, doppelseitig bedruckt). Diese Dokumente sind bei den Informationsstellen der Infoenergie (z.B. in Brugg) erhältlich.

Wirtschaftlichkeitsrechnung

Bei der Evaluation von verschiedenen Systemen darf man nicht nur die Investitionskosten vergleichen, sondern muss von den jährlichen Gesamtkosten ausgehen, welche sich aus Kapital-, Wartungs- und Bedienungs- sowie Energiekosten zusammensetzen. Dies wird heute allgemein anerkannt. Hingegen werden oft die Kosten, welche durch die Umweltbelastung entstehen, nicht berücksichtigt. Dies ergibt ein falsches Bild (oft zuungunsten der alternativen Wärmeeerzeugungssysteme).

Einen guten Ansatz für die Berücksichtigung dieser externen Kosten findet man in der Publikation «RAVEL zählt sich aus, ein praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechnungen» [1]. Der Ansatz ist deshalb sehr praktisch, weil das grundsätzliche Rechenschema nicht geändert wurde. Es wird mit *Energiepreiszuschlägen* gerechnet, welche für verschiedene Energieträger und Energiesysteme definiert sind.

Im Rahmen von PACER sollen diese Zahlen verifiziert werden. Wie wurden

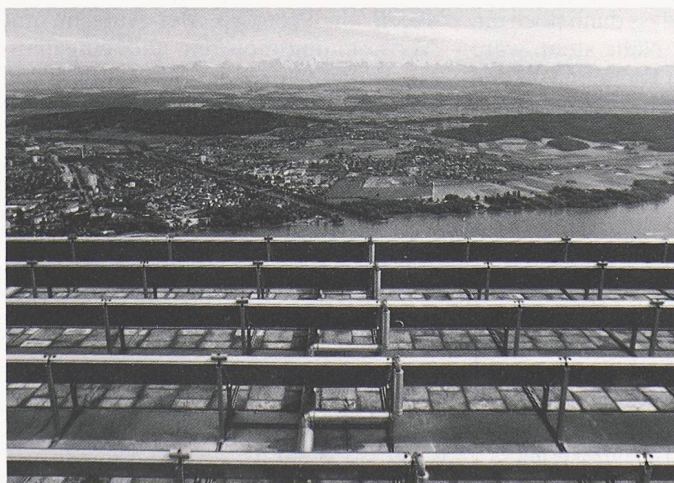


Bild 1. Sonnenkollektoranlage Schulgebäude Magglingen BE, ESSM: Sonnenkollektorfeld von hinten; (Foto: D. Käsermann, ESSM, 2532 Magglingen)

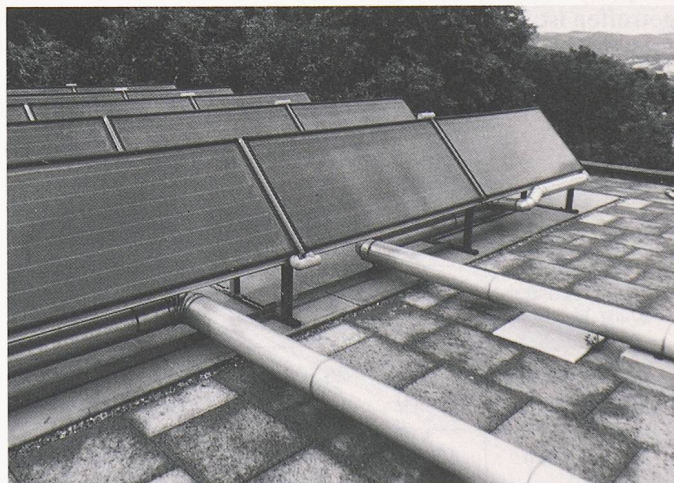


Bild 2. Sonnenkollektoranlage Schulgebäude Magglingen BE, ESSM: Sonnenkollektorfeld (Foto: D. Käsermann, ESSM, 2532 Magglingen)

	Projekte		bewilligt		ausgegeben	
	Anzahl	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
noch nicht abgeschlossen	15	3 594 000		2 637 125		
abgeschlossen	29	4 538 700		4 099 748		
abgebrochen	7	263 915		82 575		
Summe	51	8 396 615		6 819 448		

bzw. werden im AFB die Systemvergleiche ausgeführt? Die Betrachtungsweise mit den jährlichen Gesamtkosten wird seit Jahren angewendet. Zusätzlich wird eine Rechnung mit «heutigen» (d.h. aktuellen) und eine mit «zukünftigen» Jahreskosten durchgeführt. Zukünftig heisst mit mittleren Preisen über die nächsten fünfzehn Jahre bei angenommenen jährlichen Teuerungsraten. Diese Betrachtungsweise fördert alternative Wärmeerzeugungssysteme insofern, als diese sehr oft hohe Investitionen und tiefe Energiekosten ausweisen. Bei der Auswahl wird bei alternativen Systemen zusätzlich ein «Umweltbonus» gewährt.

Im tabellierten Beispiel kann man die Variante 2 als «alternativ» bezeichnen (vgl. Tabelle 2). Diese Variante erfüllt in der Version «Zukunft» die vom AFB gestellten Kriterien. Damit kann sie bedingungslos zur Ausführung empfohlen werden.

Erfahrungen mit alternativen Wärmeerzeugungsanlagen

Thermische Solaranlagen – 18 Anlagen

Ende 1992 werden 18 Anlagen mit total über 2 500 m² Kollektorfläche in Betrieb sein. Sie dienen v.a. zur Vorwärmung von Warmwasser. Es sind jedoch auch Anlagen für Schwimmbad- und Gebäudemitheizung dabei.

Die Erfahrungen haben gezeigt, dass der prognostizierte Ertrag meistens entgegengesetzt ist; hingegen liegen die spezifischen Kosten (Fr/m²) viel höher als allgemein veröffentlicht wird. Bei Anwendungen in Kasernen, wo der tägliche

Verbrauch zwischen 0 und 100% schwankt, ist für die Dimensionierung der Anlage (Deckungsgrad und Speichervolumen) die nötige Vorsicht walten zu lassen, sonst kann es bei grossen Anlagen zu hohen Temperaturen und zu grosser Überproduktion kommen. Weitere Schwierigkeiten bieten bei verschiedenen Anlagen die Dichtigkeit (Wasser mit Frostschutzmittel!) und das Vakuum bei Vakuum-Röhren-Kollektoren. Ebenfalls muss bei der Wahl von Materialien und der Bauart von Tauschern unbedingt die Wasserqualität beachtet werden.

Im weiteren möchten das AFB die Thesen von Herrn J. Marti in [2] voll unterstützen.

Photovoltaikanlagen – 4 Anlagen

Das AFB hat erst eine grosse und drei kleine Anlagen mit total knapp unter 100 m² Fläche. Die Betriebserfahrungen sind durchwegs positiv. Die Photovoltaik ist heute noch eine sehr teure Technologie. Im Rahmen von Energie 2000 sind jedoch im Hinblick auf die angestrebte Zielerreichung im Bereich «erneuerbare Energie Elektrizität» weitere Anlagen geplant, bzw. schon im Bau. Bereits über dem Projektstadium hinaus sind heute bereits vier Anlagen mit über 600 m² Fläche.

Windenergieanlagen – 0 Anlagen

Das AFB hat keine eigenen Windanlagen in Betrieb. Wie bekannt sein dürfte, sind geeignete Aufstellungsorte in der Schweiz rar; und dass dann noch ein Bau des AFB in der Nähe steht, wäre ein grosser Zufall. Im Rahmen von den Pilot- und Demonstrationsanlagen hat

Tabelle 1. Pilot- und Demonstrationsanlagen (P+D); Rahmenkredit 1987–91; Anteil Amt für Bundesbauten (Stand: November 1992)

das Bundesamt für Energiewirtschaft eine Anlage im Simplongebiet realisiert. Die produzierte Elektrizität wird in eine Anlage des Bundesamtes für Genie und Festungen eingespeist.

Biogasanlagen – 3 Anlagen

Im Gebäudebestand des AFB kommen landwirtschaftliche Bauten selten vor. Eine Biogasanlage wurde vor Jahren für das Versuchsgut der Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Liebefeld erstellt. Diese hat sich jedoch nicht bewährt und ist heute nicht mehr in Betrieb. Hingegen sind noch zwei Anlagen in der Forschungsanstalt Tänikon in Betrieb. Eine wird mit Flüssigmist (Gülle) betrieben und eine andere ist ein Prototyp für Festmist. Der Prototyp wird demnächst durch eine definitive Anlage ersetzt.

Wärmepumpen (WP) – 14 Anlagen

In vierzehn AFB-Anlagen sind über zwanzig Wärmepumpen installiert. Darunter sind alle Leistungsgrössen enthalten, hin bis zur grössten Anlage der Schweiz (ETH in Zürich). Die Betriebserfahrungen sind im allgemeinen gut, der Wartungs- und Bedienungsaufwand ist jedoch grösser als bei Heizkesseln mit automatischen Brennern. Die hydraulische Einbindung in ein Gesamtsystem bedarf einer sorgfältigen Planung. Auch betreffend die Wärmequelle sind detaillierte Abklärungen notwendig. Die Arbeitszahl muss vom Unternehmer garantiert und später kontrolliert werden. Überraschungen sind nicht selten! – so etwa, wenn bei der Auslegung der Tauscherfläche gespart wurde. Die entsprechenden Messeinrichtungen sind von Anfang an einzuplanen und einzubauen.

Für Wärmepumpen mit Gasmotor-Antrieb gibt es meistens keine Serienausführungen, jede Maschine ist praktisch eine Einzelanfertigung, um nicht zu sagen ein Prototyp. Bei Anlagen mit Verbrennungsmotoren und eingebauten Katalysatoren ist es wichtig, wenn die garantierten Abgaswerte periodisch

Heute	VAR 0		VAR 1		VAR 2	
	Öl	Gas+Öl	elWP-UW+Öl	Fr.	Fr.	Fr.
Investition	231 000	253 000	335 000			
Energiekosten	21 800	19 300	13 700	Fr./a		
W+B-Kosten	6 300	7 200	8 600	Fr./a		
Betriebskosten	28 100	26 500	22 300	Fr./a		
Kapitalkosten	17 800	19 700	29 400	Fr./a		
Jahreskosten	45 900	46 200	51 700	Fr./a		
	100	101	113	%		

Zukunft	VAR 0		VAR 1		VAR 2	
	Öl	Gas+Öl	elWP-UW+Öl	Fr.	Fr.	Fr.
Investition	231 000	253 000	335 000			
Energiekosten	33 000	29 200	20 400	Fr./a		
W+B-Kosten	8 400	9 600	11 600	Fr./a		
Betriebskosten	41 400	38 800	32 000	Fr./a		
Kapitalkosten	17 800	19 700	29 400	Fr./a		
Jahreskosten	59 200	58 500	61 400	Fr./a		
	100	99	104	%		

Tabelle 2. Zusammenstellung Wärmeerzeugungskonzept, Beispiel: Wohnbaugenossenschaft «Heimat» (Bearbeitung August 1990)

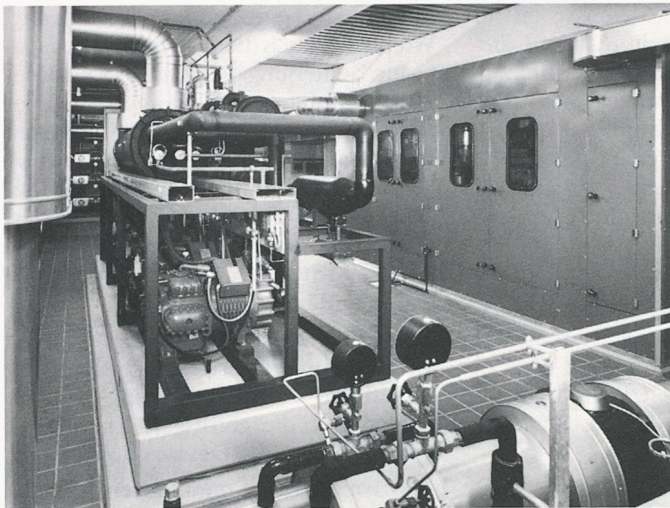


Bild 3. Gas- und Elektrowärmepumpe Wärmezentrale Brugg AG, Zeughaus: links Elektro-Wärmepumpe, rechts geschlossenes Schalldämmgehäuse der Gasmotor-Wärmepumpe (Foto: H. Studer, Postfach 47, 3000 Bern 11)

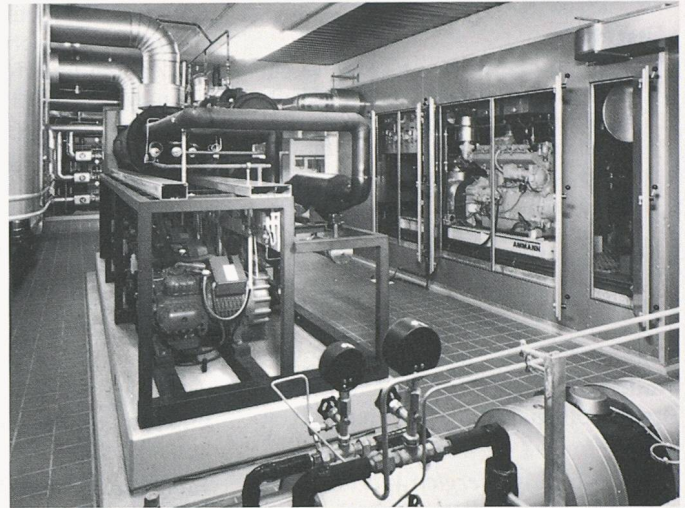


Bild 4. Gas- und Elektrowärmepumpe Wärmezentrale Brugg AG, Zeughaus: links Elektro-Wärmepumpe, rechts Gasmotor-Wärmepumpe (Foto: H. Studer, Postfach 47, 3000 Bern 11)

kontrolliert werden. Im Rahmen der Pilot- und Demonstrationsanlagen hat die SBB verschiedene eingebaute Wärmepumpen ausmessen lassen. Darüber sind mehrere Kurzbeschreibungen erschienen (erhältlich bei Infoenergie in Brugg).

Blockheizkraftwerke (BHKW) – 3 Anlagen

Das Amt für Bundesbauten hat bis heute drei Blockheizkraftwerke installiert. Das erste ist ein kleines, älteres Modell mit einem Dieselmotor als Antrieb. Hier hat vor allem der Wärmeaustauscher in den Abgasen Probleme gebracht. Dieser wird sehr schnell von Russ beschlagen und kann nur mühsam gereinigt werden, weil er an der Decke montiert ist. Ferner entsprechen die Abgaswerte (Dieselmotor!) nicht mehr den heutigen Vorschriften.

Das zweite Blockheizkraftwerk wird mit einem Gasmotor mit geregelter Dreiweg-Katalysator angetrieben. Der Einbau erfolgte in eine bestehende Heizzentrale. Hier haben vor allem die engen Platzverhältnisse für das Aggregat und die notwendigen Speicher Kopfzerbrechen verursacht. Obwohl die Heizungsunterstationen zusammen mit dem Einbau auf Drosselregulierung und variable Wassermenge umgebaut wurden, waren die Rücklauftemperaturen am Anfang zu hoch. Dies hatte zur Folge, dass das Blockheizkraftwerk zeitweise abstellte oder nur mit reduzierter Leistung lief. Der nachträgliche Einbau muss als grosser Eingriff bezeichnet werden! Ein Problem ist auch der Abschluss eines vernünftigen Vollwartungsvertrages mit dem Lieferanten des Blockheizkraftwerkes. Es besteht die Gefahr, dass der Anlage-

besitzer für eigentliche Garantieleistungen zur Kasse gebeten wird.

Ein drittes Pilot-Blockheizkraftwerk von kleiner Leistung wird durch einen gasbefeuerten Stirling-Motor angetrieben. Weil das System des Arbeitsgases (Helium) undicht ist und weil die Lieferfirma in den USA nicht mehr existiert, ist das Aggregat gegenwärtig abgestellt. Der Einsatz von Blockheizkraftwerken ist aus der Sicht von Energie 2000 nur sinnvoll, wenn die produzierte Elektrizität zum Antrieb von elektrischen Wärmepumpen verwendet wird. Nur dann ist unter dem Strich die Schadstoffbilanz und der Endenergieverbrauch positiv.

In Planung sind gegenwärtig das erste von zwei BHKWs für die ETH Hönggerberg (je $1,0 \text{ MW}_{el}/1,6 \text{ MW}_{th}$) und eine Kombination BHKW/WP für die EMPA Dübendorf (BHKW: $470 \text{ kW}_{el}/846 \text{ kW}_{th}$; WP: 450 kW_{th}).

Holzheizungen – 40 Anlagen

Das Amt für Bundesbauten hat bis heute rund 40 Holzheizungen mit einer Leistung von über 8 MW realisiert und weitere fünf sind in Planung (Leistung rund 3,5 MW). Jährlich werden in AFB-Anlagen ungefähr 3 000 t Energieholz verbrannt. Die Anlagen laufen zur Zufriedenheit, haben aber auch einen grösseren Aufwand an Wartungs- und Bedienungsarbeiten als bei Heizkesseln mit automatischen Brennern. Wichtig ist, dass die gelieferte Schnitzelqualität und der verwendete Heizkessel übereinstimmen. Überhaupt sollten die gelieferten (Wald-) Schnitzel jeweils kontrolliert werden. Im Rahmen von Energie 2000 bilden die Holzheizungen einen wichtigen Beitrag zur Zielerreichung im Bereich «erneuerbare Energie Wärme».

Komplexe Wärmeerzeugungsanlagen – 2 Anlagen

Darunter versteht man Wärmeerzeugungsanlagen mit mehreren, verschiedenen alternativen Systemen (wie Kombinationen von BHKWs mit WP). Diese Anlagen werden meistens dem Anspruch von einfachen Anlagen nicht gerecht. Entsprechend schwierig sind sie regelungs- und steuerungstechnisch in den Griff zu bekommen. Es kommt dazu, dass – solange genügend Wärme geliefert wird – angenommen wird, die Anlage funktioniere. Zwischen Funktionieren und Optimal-Funktionieren besteht jedoch ein grosser Unterschied. Bei diesen Anlagen ist nach der Einregulierung und Abnahme unbedingt eine Phase (von mindestens einem Jahr, damit alle Betriebszustände erfasst werden können) für die Betriebsoptimierung vorzusehen. Die entsprechenden Messeinrichtungen und Kosten sind von Anfang an einzuplanen.

Zukunft

Energie 2000

Durch die Zielsetzungen des Programmes Energie 2000 wird der Bau von alternativen Wärmeerzeugungsanlagen zusätzlich gefordert werden! Im ersten Anlauf wurde ein Teil der schweizerischen Ziele von Energie 2000 auch als Minimal-Ziele für den Gebäudebestand des AFB (exkl. Rüstungsbetriebe) übernommen. Es sind dies:

- Elektrizität* (soweit durch das AFB beeinflussbar): Verminderung der Zunahme zwischen 1990 bis 2000, Stabilisierung des Verbrauchs ab 2000
- fossiler Energieverbrauch bzw. CO₂-Emissionen*: Stabilisierung zwischen

Literatur

- [1] RAVEL: «RAVEL zahlt sich aus, ein praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechnungen», EDMZ, Bestellnummer 724.397.42.01 d, Fr. 12.–
- [2] J. Marti: «Thermische Sonnenenergienutzung – eine Standortbestimmung», Fachartikel in «Heizung/Klima» Nr.7/91)

1990 und 2000, Abnahme des Verbrauchs nach 2000, zusätzliche 15% an Brennstoff sparen zugunsten der Treibstoffe

□ *erneuerbare Energien Wärme* (bezogen auf den fossilen Verbrauch): im Jahre 2000 zusätzlich 3% gegenüber 1990

□ *erneuerbare Energien Elektrizität*: im Jahre 2000 zusätzlich 0,5% gegenüber 1990.

Gegenwartig werden die Verbräuche im Ist- (Jahr 1990) und Sollzustand (Jahr 2000) ermittelt. Beim Sollzustand sind ebenfalls die in dieser Dekade geplanten Neubauten und der Mehrverbrauch durch «Mehrnutzung» (z.B. Ausbau der Informatik) zu berücksichtigen. Anschliessend wird das vorhandene Spar-

potential überprüft und die Kosten zur Zielerreichung ermittelt. Anhand dieser Zahlen und der gewährten finanziellen Mittel wird dann das definitive Ziel für das AFB bestimmt.

Zum Erreichen dieser Ziele wurde dem AFB bereits eine erste Tranche von 180 Mio. Fr. zugesprochen. Mit diesem Geld können unter anderem bei bestehenden Bauten alternative Wärmeerzeugungsanlagen und sogenannte Zusatzsysteme (z.B. Solaranlagen) realisiert werden. Bei Neubauvorhaben wird es möglich sein, die Zusatzkosten gegenüber einer konventionellen Lösung abzudecken.

Im übrigen haben Erhebungen gezeigt, dass in den letzten Jahren der fossile Verbrauch trotz wachsender Energiebezugsfläche (EBF) nicht mehr zugenommen hat, dies im Gegensatz zum Elektrizitätsverbrauch. Erfreulich ist auch, dass der Anteil erneuerbarer Energien im Bereich Wärme im «Startjahr», bezogen auf den fossilen Verbrauch, bereits 5,6% betrug.

Fazit

Alternative Wärmeerzeugungsanlagen erfordern gute Fachleute, eine seriöse

Planung und eine saubere Ausführung. Wichtig ist auch die Instruktion des späteren Bedienungspersonals. An dieses werden hohe Ansprüche gestellt. Dies ist bei der Anstellung und der späteren Aus- und Weiterbildung zu beachten. Klare, nachgeführte Revisionsunterlagen gehören auf jede Anlage. Es darf nicht vorkommen, dass nur der Ingenieur – als Vater der Anlage – die Anlage bauen und betreiben kann!

Es bleibt immer noch gültig, dass die nicht benötigte Wärmeenergie, trotz alternativen Wärmeerzeugungsanlagen, immer noch die günstigste Energie ist. Deshalb lautet die Devise nach wie vor:

- Wärmeverluste minimieren
- Wärmegewinne maximieren
- Abwärme nutzen
- Verteilverluste minimieren
- kleine Umwandlungsverluste anstreben
- erneuerbare Energien einsetzen
- Restwärmebedarf mit «übrigen» Energien abdecken.

Adresse des Verfassers: E. Ursenbacher, Ing HTL, Amt für Bundesbauten, Abteilung Haustechnik, Effingerstrasse 20, 3003 Bern.

ASIC-Artikelreihe: Neuzeitliche Aufgaben

Energiepfähle: Symbiose zwischen Statik und Energie

Zukunftsweisendes System zur umweltschonenden Beheizung und Kühlung von Gebäuden

Wenn Bauten aus statischen Gründen auf Pfähle fundiert werden müssen, können letztere ohne grosse Mehraufwendungen zur alternativen Energiegewinnung herangezogen werden. Durch die in den Pfählen verlegten Wärmetauscherrohre kann dem Untergrund Energie in Form von Wärme- oder Kälteleistung entzogen werden. Mit solchen «Energiepfählen» ist es grundsätzlich möglich, einzelne Gebäude oder ganze Überbauungen zu beheizen und/oder zu klimatisieren – ein für die Schweiz neues, in hohem Masse zukunftssträchtiges, wirtschaftlich interessantes und umweltfreundliches Verfahren.

System der Zukunft

Die Idee der Nutzung von Erdwärme zur Energiegewinnung ist nicht neu; der Wärmeentzug aus dem Untergrund mittels Pfählen basiert auf demselben Prinzip wie die seit Jahren bewährte Erdwärmesonde. Neu an dieser Idee ist je-

doch der Ansatz, ohnehin aus fundationstechnischen Gründen erforderliche Pfähle so auszubilden und zu ergänzen, dass das Potential der Erdwärme im Untergrund entweder zu Heiz- und/oder zu Kühlzwecken mittels Wärmepumpen genutzt werden kann. Die Erkenntnis, dass zur Nutzung dieser Energie nicht unbedingt auf den bei Erdsonden übli-

chen Tiefenbereich von ca. 80-150 m zurückgegriffen werden muss, sondern dass hierfür im allgemeinen bereits her-

VON HANS KAPP, ST. GALLEN,
UND CHRISTOPH KAPP,
ZÜRICH

kömmliche Pfahllängen genügen, ist zwar nicht unbedingt revolutionär, wird jedoch mit Energiepfählen erstmals in die Praxis umgesetzt. Schon wenige Meter unter der Geländeoberfläche herrscht über das gesamte Jahr hinweg im Normalfall eine relativ konstante, von der Oberfläche weitgehend unabhängige Temperatur. Die Differenz zwischen dieser Erdoberflächentemperatur und der Verbrauchertemperatur ergibt das nutzbare Temperaturpotential Δt der Energiepfähle.

Tragen-Heizen-Kühlen-Speichern

Energiepfähle werden im benachbarten Ausland bereits seit einigen Jahren erfolgreich in der Praxis eingesetzt, und auch in der Schweiz sind vereinzelte Pi-