Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 108 (1990)

Heft: 43

Artikel: Kessel-/Wärmepumpenanlage: kombinierte Anlagen mit hohem Systemwirkungsgrad

Autor: Krüsi, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77539

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

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

Kessel-/Wärmepumpenanlage

Kombinierte Anlagen mit hohem Systemwirkungsgrad

Das Gesamtsystem für Heizung und Warmwassererwärmung Ecopac - Gegenstand der durch die Kantonale Energiefachstelle Zürich finanzierten energetischen Messungen - besteht aus den Hauptkomponenten: modulierender Brenner, Niedertemperaturheizkessel mit Rekuperator und Elektrowärmepumpe. Eine speicherprogrammierbare Steuerung optimiert den Einsatz der Feuerungseinheit und der Wärmepumpe. Je nach Betriebsart beträgt der Systemwirkungsgrad zwischen 1,13 (über einen ganzen Wintertag ermittelt) und 2,07 (Sommertag). Der gesamte Energieverbrauch reduzierte sich um 34% gegenüber der früheren Kesselanlage.

Ausgangslage und Zielsetzung

Die Überbauung Zelgstrasse 60–64 in Adliswil wurde 1974 als Zweischalenbauwerk mit 2 cm Styroporisolation er-

VON PETER KRÜSI, SCHLIEREN

stellt und besteht aus 3 zusammengebauten Einheiten mit total 36 Wohnungen im Stockwerkeigentum. 1979 wurden die ersten Energiesparmassnahmen durchgeführt: Abdichten der Rolladenkästen und Ausserbetriebnahme der Garagenheizung. Dadurch konnte der Ölverbrauch von rd. 102 000 l/a auf durchschnittlich 69 000 l/a gesenkt werden (−32%). Als weiteren Schritt beschloss die Stockwerkeigentümergemeinschaft, die überdimensionierte Heizungsanlage zu ersetzen. Nach z.T. hitzigen Diskussionen fiel die Wahl – entgegen dem Vorschlag des beigezogenen Heizungsingenieurs, der eine konventionelle Heizung vorschlug – auf das Ecopac-System, von dem man sich eine grössere Einsparung an Öl und Emissionen erhoffte. Die Energiefachstelle des Kantons Zürich erklärte sich bereit, im Rahmen der Förderung von Pilot- und Demonstrationsprojekten im Bereich der rationellen Energienutzung die Finanzierung der Messeinrichtung und der Messdatenauswertung zu übernehmen (Bilder 1 und 2).

Konzept und Prinzip

Das Ecopac-System ist als modulares Gesamtsystem für Heizung und Warmwasser konzipiert. Die einzelnen, aufeinander abgestimmten Hauptkomponenten sind:

Feuerungseinheit

Sie besteht aus modulierendem Brenner und Niedertemperaturheizkessel und wird nur für die Raumheizung verwendet.

Elektrowärmepumpe

Ihre Antriebsleistung beträgt etwa 5% der Wärmeleistung der gesamten Anlage. Sie wird vor allem für die Erwärmung des Warmwassers eingesetzt. Bei Brennerbetrieb nutzt die Wärmepumpe über einen Rekuperator die Rauchgaswärme durch Abkühlung bis auf Raumtemperatur. Ist die Solltemperatur des Warmwassers erreicht, schaltet die Hydraulik um, so dass auch die Wärmepumpe auf den Heizungskreislauf arbeitet. Zusätzlich zum Rekuperator kann die Wärmepumpe Energie über einen parallel geschalteten Aussenverdampfer in der Tiefgarage beziehen. Dies ist im Sommer die vorherrschende Betriebsart, wenn der Brenner nicht in Betrieb ist. Die Wärmepumpe arbeitet dann als normale Luft-Wasser-Wärmepumpe. Der Aussenverdampfer wird abgestellt, sobald die Garagenluft 4 °C erreicht, um Vereisungsprobleme und ein zu starkes Absinken der Leistungsziffer zu vermeiden.

Warmwasserspeicher

Es werden zwei Speicher verwendet. Während der eine geladen wird, steht der andere dem Verbraucher zur Verfügung.

Entsorgung

Durch die starke Abkühlung der Rauchgase wird der Säure- und Wasserdampftaupunkt unterschritten. Das Kondensat wird in einer Absetzwanne gesammelt und mit einer kleinen Pumpe in einen Plastikbehälter zur Neutralisierung gepumpt, von wo es als klare Flüssigkeit mit pH 6–7 der Kanalisation zugeführt werden kann. Einmal pro Jahr muss das Neutralisierungsgranulat (Magnesiumoxid) nachgefüllt werden. Eine Kaminsanierung ist normalerweise nicht mehr erforderlich, da die Abgase bis auf Raumtemperatur ausgekühlt werden. (Im Kamin findet keine weitere Abkühlung und somit keine Kondensation statt.)

Steuerung

Es ist eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) eingesetzt, die so programmiert ist, dass lange Brenner- und Kompressorlaufzeiten und ein möglichst hoher Gesamtwirkungsgrad erreicht werden.

Wärmeverteilung

Die Hauptvorlaufpumpe ist drehzahlgesteuert. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Einrohrsystem. Zur Kompen-

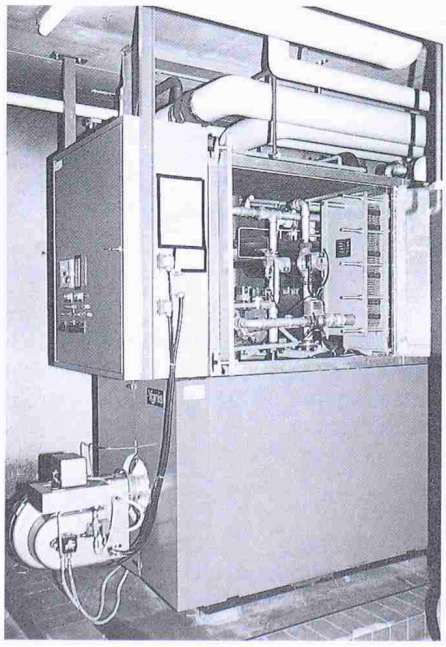

Bild 1. Ecopac-System mit Brenner/Kessel (unten) und Wärmepumpe, Wärmetauscher und Steuerungsteil (oben)

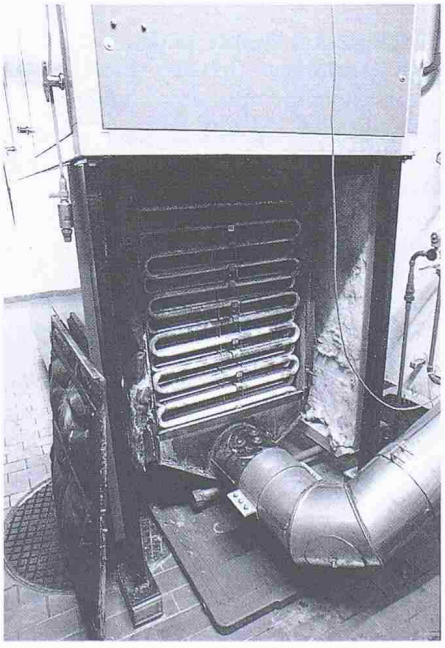

Bild 2. Rekuperator aus rostfreiem Stahl

Inbetriebnahme	Okt. 1987
Wärmeleistung inkl. Wärmepumpe	350 kW
Antriebsleistung Wärmepumpe (bei T_{Verd} = 1 °C, T_{Kond} = 63 °C)	16 kW
Kältemittel	R12
Anzahl Wohnungen	36
Baujahr	1974
Beheizte Geschossfläche	rund 3000 m²
Warmwasserspeicher	2×950 l

Tabelle 1. Einige Auslegungsdaten

		1979–86	1988	1989
Strom[1]	kWh	11 000[2]	93 470	100 540
Öl[3]	l	69 400	36 410	37 320
Total	kWh	703 120	456 580	472 760
Energiekennzahl	MJ/m²a	842 (100%)	547 (65%)	565 (67%)

[1] inkl. Wärmeverteilung (Heizung und Warmwasser)
[2] 1986
[3] Dichte = 0,8416 kg/l, H_u = 11,85 kWh/kg

Tabelle 2. Jahresenergieverbrauch vor und nach Installation der Ecopac-Anlage

sation der Wärmeverluste der Warmwasserzirkulation ist in jede der beiden Zirkulationsleitungen eine kleine Luft-Wasser-Wärmepumpe eingebaut (Bilder 3 und 4).

Erfahrungen, Messresultate

Der Verwalter der Stockwerkeigentümergemeinschaft äussert sich sehr zufrieden über die Ecopac-Anlage. Abgesehen von Problemen während der Inbetriebnahme und von ein paar zusätzlichen kleinen Störungen, die alle rasch behoben werden konnten, läuft die Anlage seit Oktober 1987 problemlos. Der Gesamtenergieverbrauch (Strom und Öl) konnte um rund 34% gesenkt werden gegenüber den Verbrauchswerten der alten Heizungsanlage, wobei der Ölverbrauch sich um 47% reduzierte, während der Stromverbrauch von rund 11 000 kWh/a auf 100 000 kWh/a zunahm. Die Energiekennzahl für Heizung und Warmwasser beträgt nun noch rd. 555 MJ/m²a, liegt jedoch weiterhin über dem Mittelwert von 475 MJ/m²a für sanierte Altbauten. Es ist dies ein Hinweis, dass eine bessere Wärmedämmung der Bauhülle ein weiteres Energiesparpotential darstellt (Tabelle 2).

Als sehr nützlich erwies sich die von Anfang an installierte Datenerfassungsanlage. Sie lieferte die Grundlagen für die Einregulierung der Ecopac-Anlage und die anschliessend laufend durchgeführten Optimierungen. Ebenso wichtig für den Erfolg war und ist das Engagement und die Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten, insbesondere dem Anlagenbetreiber und dem Lieferanten. In diesem Sinn kann die Anlage in Adliswil als vorbildliche Pilot- und Demonstrationsanlage bezeichnet werden: Mit Hilfe staatlicher Gelder werden neue Ideen, welche in Form einer weniger belasteten Umwelt letztlich al-

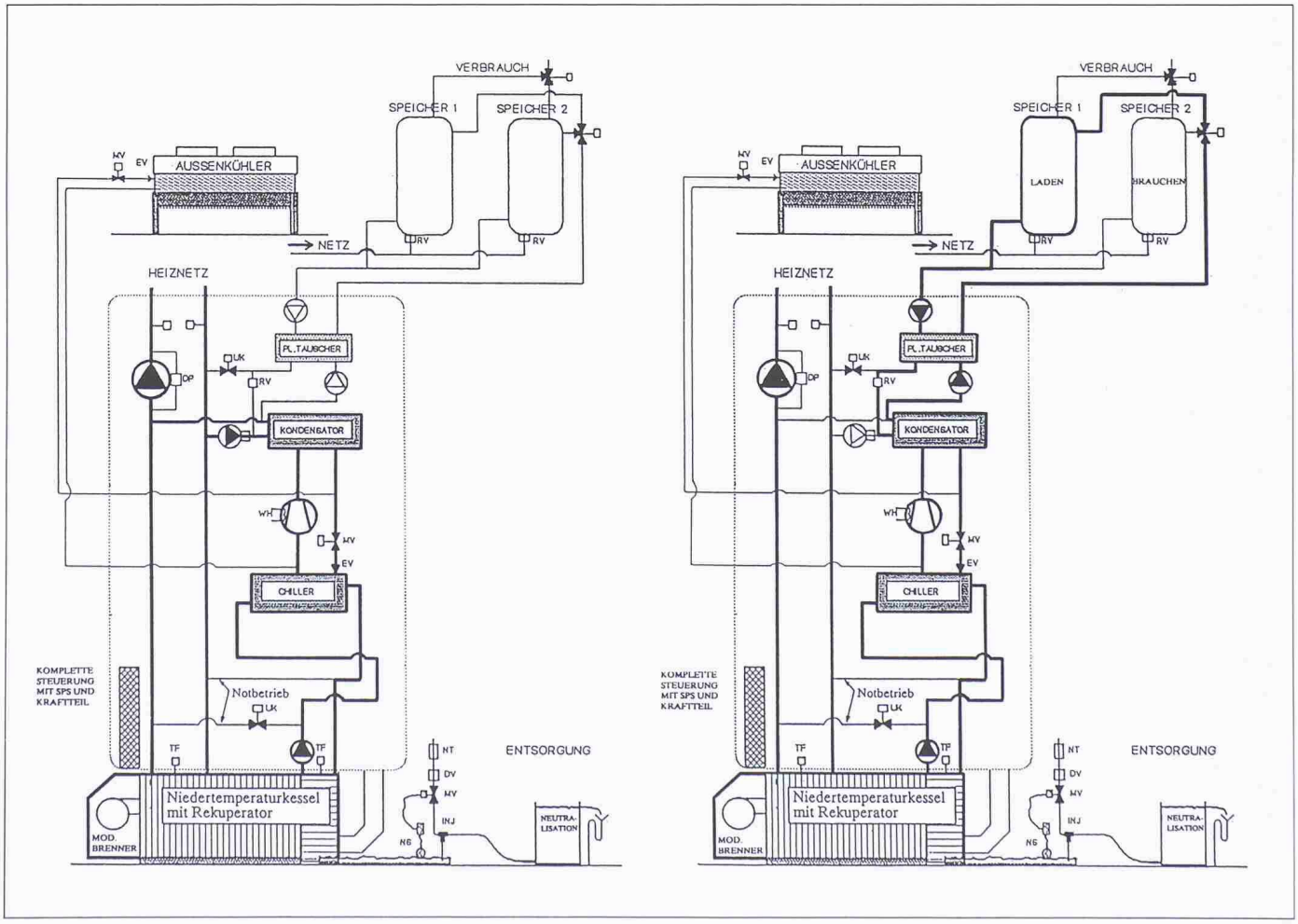

Bild 3. Prinzipschema; links: Betriebsart Heizen (durch Kessel und Wärmepumpe); rechts: Betriebsart Heizen (durch Kessel) und Warmwassererwärmung (durch Wärmepumpe). Der Aussenkühler in der Tiefgarage und der Rekuperator können je nachdem, ob die Garagentemperatur genügend hoch und ob der Heizkessel in Betrieb ist, gleichzeitig oder einzeln eingeschaltet sein. Bei Notbetrieb (Wärmepumpe ausser Betrieb) arbeitet der Rekuperator direkt auf die Heizung.)

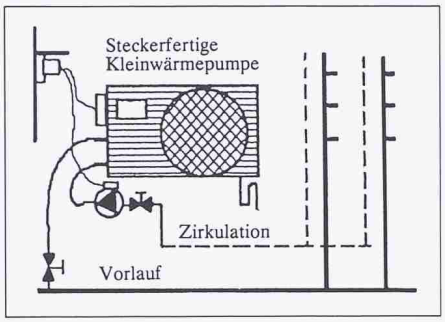

Bild 4. Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Zirkulationshochhaltung. Die Wärmepumpe nutzt die Energie aus der Kellerluft oder dem Trocknungsraum, um die Zirkulationswärmeverluste der Warmwasserversorgung zu kompensieren.

len zugute kommen, geprüft und weiterentwickelt.

Weniger vorbildlich hingegen ist, dass wohl am Anfang ein Messkonzept erstellt wurde, jedoch während der mehr als zweijährigen Messperiode (Okt. 1987 bis Feb. 1990) keine systematischen Zwischenauswertungen vorgenommen wurden. So wurde erst anlässlich der abschliessenden Messdatenauswertung entdeckt, dass wichtige Daten wegen Fehlprogrammierung des Dataloggers fehlten. Die Ermittlung von Wirkungsgraden über längere Perioden kann deshalb nicht durchgeführt werden.

Eine Beurteilung einzelner, charakteristischer Tage ist jedoch möglich (Tabelle 3).

Der Sommerbetrieb ohne Wärmeabgabe an die Heizung entspricht einem reinen Luft-Wasser-Wärmepumpenbetrieb. Ein Systemwirkungsgrad (der in diesem Fall auch als MALZ, mittlere Arbeitszahl, bezeichnet werden kann) von 2,07 ist für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe eher niedrig. Berücksichtigen muss man allerdings, dass das Warmwasser auf 55–65 °C erwärmt wurde.

Schadstoffemission

Der Hauptteil der Schadstoffreduktion erfolgt aufgrund des niedrigeren Brennstoffverbrauchs. Zusätzlich wird der SO_2-Ausstoss je nach Brennerlast um rd. 10–30% durch die Rauchgaskondensation vermindert. Mit einem Wäscher könnten gemäss Versuchsmessungen des Lieferanten 90% des SO_2 zurückgehalten werden. Weiter tragen die relativ langen Brennerlaufzeiten zu einer Emissionsreduktion bei (durchschnittliche Brennerlaufzeit pro Einschaltung über ein ganzes Jahr: 0,51 h). Heute ist das Ecopac-System auch mit Low-N_{ox} Brenner erhältlich.

Wirtschaftlichkeit

Investition (Preisstand 1987) Fr. 250 000.– (Gesamtsystem inkl. Warmwasserspeicher, hydraulische und elektr. Installation, exkl.Verteiler)

Mehrkosten gegenüber konventioneller Anlage (inkl. Kaminsanierung) Fr. 70 000.–

Wendet man die heute leider übliche enge Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ohne Berücksichtigung der externen Kosten an, so ist das Ecopac-System nicht wirtschaftlich: Bei der hier betrachteten Anlage wird die Ölkosteneinsparung (bei Fr. 40.–/100 kg) durch den Mehrverbrauch an Strom (HT à 15,5 Rp./kWh, NT à 7,9 Rp./kWh) ausgeglichen. Steigt der Ölpreis jedoch auf Fr. 80.–/100 kg, amortisieren sich die Mehrkosten (ohne Kapitalverzinsung) in rund 7 Jahren. Die Investionsmehrkosten gegenüber einer konventionellen Anlage hängen allerdings stark von der Anlagengrösse und der Anwendung ab.

Die Wartungs- und Unterhaltskosten sind etwas höher als bei einer normalen Anlage, da zusätzlich die Wärmepumpe und der Aussenverdampfer gewartet werden müssen. Auf der anderen Seite haben die Korrosionsschäden an der Compactus-Parkieranlage (mechanische Parkierungsanlage zur optimalen Platzausnutzung in der Tiefgarage) durch die aufgrund des Garagen-Verdampfers trockenere Luft sehr stark abgenommen.

Entwicklung

Zurzeit stehen etwa 20 Ecopac-Anlagen in Betrieb. Das Konzept wird laufend weiterentwickelt. Seit der Installation der Anlage in Adliswil sind in neueren Anlagen nach Angabe des Lieferanten die folgenden Verbesserungen durchgeführt worden:

- Zusätzlicher Plattenwärmetauscher in Serie zum bisherigen Kondensator (Ausnutzung der Kompressor-Überhitzung, höhere Warmwassertemperaturen (über 60 °C → Legionellen), leicht höherer Systemwirkungsgrad).
- Alle Wärmetauscher als Plattenapparate und nur noch Zwei- statt Dreiwegventile in Kältemittelkreisläufen (weniger Druckabfall und somit bessere Enthalpienutzung; kompakter; weniger Freoninhalt).
- Wasser/Glykolkreisläufe für Aussenverdampfer (weniger Niederdruckstörungen; weniger Freon → die heutigen Anlagen haben nur noch ca. 10% des Freoninhalts früherer Anlagen und kommen ohne Sammler aus, was im Zusammenhang mit der Ozonschichtzerstörung von Bedeutung ist).
- Konsequenterer modularer Aufbau (die Wärmepumpe mit den Wärmetauschern ist auch als separate Einheit für die Nachrüstung von bestehenden Kesselanlagen erhältlich; das System ist vorbereitet zur Ausnutzung verschiedener Energiequellen (Fundament, Garagendecke, Aussenluft, Energiedach, Abwärme) und kann auch zur gleichzeitigen Erzeugung von Kälte eingesetzt werden).
- Vereinfachte Hydraulik (mit der drehzahlgesteuerten Heizungspumpe wird ohne Verteiler und Mischventilen direkt zu den einzelnen Verbrauchern, z.B. Radiatoren mit Thermostatventilen, gefahren).
- Geplant ist der Einsatz von alternativen Kältemitteln (R22 und R134a).

Schlussfolgerungen

Das Ecopac-System kann als integrale Gesamtlösung betrachtet werden, bei der ein hoher energetischer Wirkungs-

		Sommertag 26.7.89	Herbsttag 7.9.89	Wintertag 30.10.89
An Warmwasserspeicher abgegebene Wärme	kWh/Tag	191	214	304
WW-Temp. am Speichereingang	°C	55–65	57–70	53–69
An Heizung abgegebene Wärme	kWh/Tag	0	425	1301
Total abgegebene Wärme	kWh/Tag	191	639	1605
Ölverbrauch	l/Tag	0	28	121
Stromverbrauch total[1]	kWh/Tag	93	166	227
Energie-Input total	kWh/Tag	93	442	1422
Systemwirkungsgrad[2]	–	2,07	1,44	1,13
Brennerlaufzeit	h/Tag	0	1,8	9,2
Kompressorlaufzeit	h/Tag	3,2	7,4	9,7

[1] Umfasst alle Haupt- und Hilfsaggregate exkl. Warmwasserzirkulationspumpen und Zirkulationshochhaltungs-Wärmepumpen sowie die Pumpen der einzelnen Heizstränge zu den Verbrauchern

[2] Exkl. Speicherverluste

Tabelle 3. Messresultate einzelner Tage

grad, niedrige Umweltbelastung und Kundenfreundlichkeit erreicht werden. Die Messdaten von der Anlage in Adliswil zeigen, dass das Potential des Konzepts noch nicht ausgeschöpft ist. Verbesserungen sind laut Hersteller in neueren Anlagen jedoch schon eingeführt worden.

Für die Systemoptimierung von komplexen haustechnischen Anlagen ist eine Intensivmessung mit Datalogger und elektronischer Datenaufzeichnung Voraussetzung. Die dazu notwendige Messeinrichtung sollte bei jeder Anlage eingebaut werden. Dabei ist ein der Anlage angepasstes Messkonzept und die ständige Betreuung der Messung während der Messperiode sehr wichtig. Für den Anlagenbetreiber machen sich anfängliche Mehrkosten für die Instrumentierung und die Datenauswertung langfristig durch niedrigere Betriebskosten bezahlt. Nach der Optimierungsphase können ein Teil der Messeinrichtung entfernt und an weiteren Anlagen wieder eingesetzt werden. Wöchentliche oder zumindest monatliche Handablesungen der wichtigsten Betriebsgrössen sollten weitergeführt werden.

Adresse des Verfassers: *Peter Krüsi*, dipl. Ing. ETH/SIA, Amena AG, Stationsstrasse 17a, 8952 Schlieren.

Energiepilotprojekte des Kantons Zürich

Das Energiegesetz vom 19. Juni 1983 und die zugehörige Energieverordnung vom 6. November 1985 (in Kraft seit 1. Juli 1986) ermöglichen dem Kanton Zürich die Unterstützung von Pilotprojekten, welche der Erprobung und Anwendung von neuen, den Zwecken des Energiegesetzes entsprechenden Verfahren der Energieversorgung und -nutzung dienen, also energiesparenden und umweltschonenden Verfahren sowie solchen zur Anwendung erneuerbarer Energien und zur Minderung der Abhängigkeit von einzelnen Energieträgern.

Die Verfahren müssen in ihrer Art oder Anwendung neu sein und für den Kanton relevante Resultate erwarten lassen. Die möglichen Staatsbeiträge betragen 10–30%, in besonderen Fällen bis 50% der nicht amortisierbaren Mehrkosten gegenüber einem konventionellen Verfahren. Für Projekte, die bei positivem Ausgang einen wirtschaftlichen Betrieb erwarten lassen, können auch Risikogarantien von bis zu 30% der nicht amortisierbaren Kosten gewährt werden.

Der Kanton übernimmt mit dieser Möglichkeit eine wichtige Aufgabe zwischen Forschung und industrieller Anwendung, die durch keine Bundesgelder subventioniert werden kann.

Die bisher unterstützten Projekte befassen sich u.a. mit folgenden Themen:
- Verwaltungsbausanierung mit hochisolierenden HIT-Fenstern
- Messungen an Schulhaus mit künstlichem Luftwechsel und Luftwärmepumpenheizung
- Entwicklung eines kleinen Nahverkehrselektrofahrzeugs
- Nullheizenergie-Siedlung
- Solarzellen-Inverter und -Anlagen
- Dezentrale Elektroboiler mit Vorwärmung durch Heizungsvorlauf
- Leuchten-Design-Wettbewerb

Der «Schweizer Ingenieur und Architekt» berichtet in unregelmässigen Abständen über diese Projekte (vgl. bisherige Beiträge in Heft 43/86, Seite 1096, Heft 40/87, Seite 1163, Heft 1–2/88, Seite 9, Heft 36/89, Seite 931, Heft 39/89, Seite 1002, Heft 45/89, Seite 1215, Heft 14/90, Seite 367 und Heft 23/90, Seite 649).

Beitragsgesuche sind zu richten an die Kantonale Energiefachstelle, Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, 8090 Zürich (Tel. 01/259 41 70).

Am Projekt Beteiligte

Anlagebetreiber: Stockwerkeigentümergemeinschaft Zelgstrasse 60–64
8134 Adliswil
F. Hofmann Tel. G 01/463 52 35
P 01/710 86 12

Lieferant:
Ecopac AG
Felsenstrasse 12a
8034 Zürich Tel. 01/383 92 95

Erdbebenberechnung von Talsperren

Das Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) und das Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion (IBWK) der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich sowie das Institut d'hydraulique et d'énergie (IHE) der Ecole polytechnique fédérale de Lausanne führten am 2. März 1990 in Zürich das Seminar «Erdbebenberechnung von Talsperren» durch. Zehn Fachbeiträge beider Hochschulen orientierten über den Stand der in den betreffenden Instituten in Gang befindlichen Forschungsarbeiten.

VON THOMAS WENK, ZÜRICH

Professor Dr. H. Bachmann, Vorsteher des IBK, konnte am vorerwähnten Seminar rund 100 Mitglieder des Schweizerischen Nationalkomitees für grosse Talsperren (SNGT) und geladene Gäste aus der Schweiz und Nachbarländern begrüssen. Dr. R. Biedermann vom Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bern, wies in seinem Einführungsreferat auf die stetig zunehmenden Anforderungen der Gesellschaft an die Sicherheit von Anlagen der Grosstechnologie hin. Dieses Sicherheitsbedürfnis habe das Bundesamt für Wasserwirtschaft u.a. zur aktiven Förderung der Forschung über das Erdbebenverhalten von Staumauern an der ETH Zürich (seit 1982) und an der ETH Lausanne (seit 1989) veranlasst. Er betonte jedoch, dass trotz intensiver Forschungstätigkeit Befürchtungen in bezug auf die Erdbebensicherheit unserer Talsperren fehl am Platze seien, da diese fachgerecht projektiert und erstellt worden sind. Im weiteren orientierte er über den geplanten Aufbau eines nationalen Starkbebenmessnetzes in der Schweiz, das eine Instrumentierung ausgewählter Talsperren sowie ein Freifeldnetz umfassen wird.

Prof. Dr. H. Bachmann (IBK) sprach über Möglichkeiten und Grenzen der Modellbildung physikalischer Problemstellungen (Bild 1). Zielsetzung der Forschungsprojekte Gewicht- und Bogenstaumauern ist die Entwicklung neuer Modelle zur besseren Erfassung der Wirklichkeit und zur schrittweisen Verringerung der Unterschiede zwischen Modell und Wirklichkeit; anschliessend werden die wichtigsten der neu entwickelten Modelle in Computerprogramme integriert. Die Beurteilung der Erdbebensicherheit von Staumauern bleibt eine interdisziplinäre Aufgabe, da ausser der Erstellung der Recheninstrumente auch die schwierige Wahl der Input-Parameter getroffen