Energetisches Verhalten von Wärmepumpen: Beurteilung von 5 Anlagen der SBB

Autor(en): **Keller, Max**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 45

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-77200

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

günstigere wurde vom Architekten Ruedi Fraefel schon mehrmals realisiert. Hier wird die Aussenluft zwischen der isolierten Kelleraussenwand und dem durch Welleternitplatten abgetrennten Erdreich in die Sickerleitung und von dort in die Wärmerückgewinnung gesogen. Bei dieser Lösung kann aus dem Erdreich aufsteigendes radonhaltiges Gas entlang der Fundamentplatte gesammelt werden und in die Zuluft gelangen.

Bei der zweiten Lösung wird die Zuluft durch 10 bis 15 parallele, 20 m lange, im Garten in 1.5 m Tiefe eingegrabene Kunststoffschläuche angesogen. Diese Lösung kostet rund 5000 Franken mehr, eine Zufuhr von radonhaltigem Gas aus dem Erdreich ist aber nicht möglich.

Durch Radonmessungen an den bereits von R. Fraefel ausgeführten Häusern wird jetzt abgeklärt, ob das einfachere System hier wiederholt werden kann. Zusätzlich wird aber ein Haus mit beiden Systemen ausgeführt, um die Wirkung auf die Luftqualität messen zu können.

Die Gruppe KWH der EMPA-Dübendorf hat ein sehr umfassendes Messkonzept zur Untersuchung der energetischen Eigenschaften der Häuser ausgearbeitet und vom NEFF auch bewilligt erhalten. Damit soll zur Ermittlung des Benutzerverhaltens der Energieverbrauch aller 10 Häuser grob und zur Analyse der einzelnen Massnahmen ein Haus sehr detailliert ausgemessen werden.

Adresse des Verfassers: *Dr. R. Kriesi*, ATAL, Energiefachstelle, 8090 Zürich.

Energetisches Verhalten von Wärmepumpen

Beurteilung von 5 Anlagen der SBB

Die Schweizerischen Bundesbahnen, vertreten durch die Bauabteilung der Generaldirektion Bern, beauftragten im November 1987 die Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, alternative Wärmeerzeugungsanlagen im Hochbaubereich der SBB zu untersuchen und zu beurteilen.

VON MAX KELLER, ZÜRICH

Dieser Auftrag steht in Zusammenhang mit einem Rahmenkredit für Pilot- und Demonstrationsanlagen des Bundesamtes für Energiewirtschaft, mit dem die öffentliche Hand mithelfen soll, die Einführung neuer Produkte und Verfahren zu beschleunigen. Insbesondere können der Bund und seine Regiebetriebe in eigenen Gebäuden solche Pilot- und Demonstrationsprojekte realisieren und damit Kantonen, Gemeinden und Privaten den Weg für zukunftsweisende Lösungen aufzeigen. Die Erfahrungen mit solchen Anlagen sollen breit gestreut werden und damit den Bau weiterer, noch verbesserter Anlagen ermöglichen.

Ausschlaggebend für die Realisierung der alternativen Wärmeerzeugungsanlagen waren in den meisten Fällen nicht die Wirtschaftlichkeit, sondern langfristige Postulate wie verbesserte Nutzung der Energieressourcen, Reduktion der Umweltbelastung und Diversifikation in der Energieversorgung. Dementsprechend standen in der Untersuchung nicht so sehr Kostenüberlegungen im Vordergrund als vielmehr das energetische Verhalten der Wärmeerzeugungsanlagen. Ausgewertet wurden auch die Betriebserfahrungen, welche das für den Betrieb der Anlagen verantwortliche Wartungspersonal gewonnen hatte.

Grundlage der Untersuchung bildeten umfangreiche Messungen, welche die SBB über mehrere Jahre in periodischen Abständen durchführten, sowie Pläne, Revisionsunterlagen und Betriebshandbücher. Die Arbeiten wurden in engem Kontakt mit dem Auftraggeber, d.h. der Sektion Heizung/Lüftung der Bauabteilung der SBB, durchgeführt.

Allgemeine Resultate

Im Rahmen des SBB-Auftrages wurden bisher sieben Wärmepumpenanlagen ausgewertet. Die Auswertung dreier weiterer Objekte (Aufnahmegebäude Konolfingen, Aufnahmegebäude Rupperswil und Stellwerk Luzern) werden erfolgen, sobald entsprechende Messdaten vorliegen. Alle Wärmepumpenanlagen werden mit Gas-, Diesel- oder Elektromotor betrieben und nutzen, meist in bivalenter Betriebsweise, entweder Luft, Abwärme, Grundwasser, Seewasser, ARA-Wasser oder Erdwärme als Wärmequelle.

Alle untersuchten Wärmepumpenanlagen mit Ausnahme der dieselmotorisch betriebenen, welche heute wegen der Luftreinhalte-Vorschriften (LRV) vermutlich nicht mehr realisiert würde, haben positive Betriebserfahrungen gezeigt. In jedem Fall wurden, verglichen mit einer konventionellen Heizanlage, bedeutende Mengen an Primärenergie eingespart. Die bei einzelnen Anlagen anfänglich aufgetretenen Störungen konnten in den meisten Fällen nach kurzer Zeit behoben werden, so dass heute ein problemloser Betrieb möglich ist.

Anderseits deckte die Auswertung auch Schwachpunkte auf und lieferte Erkenntnisse, welche für die Planung von zukünftigen Anlagen wertvolle Hinweise geben können. Beispielsweise hat es sich gezeigt, dass bereits die Auslegung der Wärmepumpe problematisch ist, weil der Wärmeleistungsbedarf des zu beheizenden Gebäudes im allgemeinen nur ungenau bekannt ist. Da der effektive Wärmeleistungsbedarf meist erheblich unter dem berechneten Wert liegt, besteht die Tendenz, die Wärmepumpenanlage zu gross zu dimensionieren. Damit kann sie zwar einen grösseren Anteil des gesamten Energiebedarfs decken, verfehlt aber die geplante Volllaststundenzahl und damit die angestrebte Wirtschaftlichkeit.

Die Arbeitszahlen der Elektrowärmepumpen bzw. die Heizzahlen der Gasmotorwärmepumpen unterscheiden sich je nach Einsatzbereich (Wärmequellentemperatur, Vorlauftemperatur, Betriebsart) beträchtlich. Die gemessenen Werte liegen jedoch grösstenteils im Rahmen der in der Literatur aufgeführten Werte. Vereinzelte Anlagen ergaben aber auch Nutzungsgrade, welche die bei guter Planung und Ausführung möglichen Werte deutlich unterschreiten.

Auffallend ist bei allen Anlagen der relativ grosse Energieverbrauch der Hilfsbetriebe (Umwälzpumpen, Ventilatoren), was zu einer wesentlichen Verringerung des Gesamtnutzungsgrades führt. Ebenso ist auch der Aufwand für Wartung und Unterhalt im allgemeinen beachtlich und wird oft unterschätzt. Beiden Punkten sollte in zukünftigen Wirtschaftlichkeitsrechnungen vermehrt Beachtung geschenkt werden.

Die Messdatenauswertung hat auch bestätigt, dass komplexe Anlagen (z.B. eine Wärmepumpe, die zusätzlich als Kältemaschine betrieben wird oder eine Anlage, die Heizenergie auf verschiedenen Temperaturniveaus abgibt), nur mit sehr grossem Aufwand einen energieoptimalen Betrieb erlauben. Derartige Wärmeerzeugungssysteme sollten künftig einfacher konzipiert werden.

Mit Vorteil werden Wärmepumpenanlagen in der Nähe der Verbraucher aufgestellt. Die Wärmeverluste, welche in Fernwärmeleitungen zwischen dem Ort der Wärmeerzeugung und dem Ort des Verbrauchs auftreten, sind im allgemeinen hoch und reduzieren zusammen mit Speicherverlusten den Nutzungsgrad der Anlage beträchtlich.

Der von der Wärmepumpe gelieferte Grundlastanteil am Gesamtwärmebedarf deckt sich weitgehend mit dem theoretischen Deckungsgrad aufgrund der Temperaturhäufigkeit. Infolge unnötigen Einschaltens des Spitzenkessels bei hohen Aussentemperaturen ergaben sich bei vereinzelten Anlagen jedoch auch tiefere Deckungsgrade. Dies ist primär eine Folge einer nicht optimalen Funktion der Heizungsregelung.

Bei verschiedenen Anlagen traten Freonverluste auf, verursacht durch Undichtigkeiten im Kältekreislauf. Zur Vermeidung von Leckagen ist den mechanischen Vibrationen deshalb in Zukunft grössere Aufmerksamkeit zu schenken.

Auch das Ansprechen des Hochdruck- und Niederdruckpressostaten führte oft zu Betriebsstörungen. Zum Schutz der Wärmepumpen sind Sicherheitspressostaten eingebaut, die bei zu hohem Kondensator- bzw. zu tiefem Verdampferdruck den Kompressor ausschalten.

Diese können nur manuell wieder eingeschaltet werden, was Betriebsunterbrüche mit entsprechenden Kosten und Unsicherheiten zur Folge hat. Die Ursachen für diese Störungen sind vielfältig und oft in unzweckmässigen hydraulischen Schaltungen, zu trägen Regelventilen, falsch plazierten Temperaturfühlern oder auch falsch bemessenen Pumpen zu suchen.

Richtige Dimensionierung, Einbindung in das Gesamtsystem sowie auch koordiniertes Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten geben den Ausschlag für das Funktionieren alternativer Systeme. Wärmepumpenanlagen sind komplexe Gebilde, welche wegen ihrer oft bivalenten Betriebsweise (Spitzenkessel) auch von der Regelung her eine sorgfältigere Planung verlangen als konventionelle Anlagen.

Nur unter Beachtung all dieser Kriterien ist es möglich, hohe Deckungsgrade und Arbeitszahlen zu erreichen und so einerseits Primärenergie einzusparen und anderseits einen aktiven Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.

Wie sich die fünf Wärmeanlagen in energetischer Hinsicht verhalten haben und welche Erfahrungen und Erkenntnisse im einzelnen gewonnen wurden, wird im folgenden für jede Anlage separat dargestellt.

Kraftwerk Amsteg

Ausgangslage

Im Kraftwerk Amsteg sind sechs luftgekühlte Generatoren mit einer Leistung von je 11 000 kW installiert, deren erwärmte Fortluft grösstenteils ungenutzt ins Freie strömte. Da die bestehende Kesselanlage ohnehin sanierungsbedürftig war, wurde 1982 eine Wärmepumpe installiert, welche die benötigte Heizenergie aus der Generatorenabwärme gewinnt. Dadurch wurde es möglich, etwa 30 t Öl pro Jahr zu substituieren und so einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten. Eine Gegenüberstellung der Kosten für beide Varianten zeigte zudem, dass bei den damaligen Ölpreisen die Wärmepumpe nur leicht höhere Jahreskosten aufwies als die Ölheizung und so auch von der Wirtschaftlichkeit her zu verantworten war.

Erkenntnisse und Betriebserfahrungen

Die Auswertung der Messergebnisse hat gezeigt, dass die Heizleistung der Elektrowärmepumpe infolge Unterschätzung der Wärmequellentemperatur der Generatorenabwärme höher liegt, als bei der Auslegung angenommen wurde. Ebenso wurde festgestellt, dass der Wärmeleistungsbedarf bedeutend niedriger ist als ursprünglich berechnet. Aufgrund dieser Tatsachen wäre die Wärmepumpe leistungsmässig in der Lage, den gesamten Wärmebedarf alleine zu decken. Wegen der erforderlichen Vorlauftemperatur der bestehenden Heizungsanlage von 75 °C ist dies aber nicht möglich, so dass der Heizkessel bei Aussentemperaturen unter −3 °C zugeschaltet werden muss.

Gemäss Temperaturhäufigkeit entfallen auf Perioden mit Aussentemperaturen unterhalb −3 °C etwa 5% des Jahresenergiebedarfs. Somit könnte die anteilige Wärmelieferung der Wärmepumpe etwa 95% betragen. Der gemessene Deckungsgrad liegt deutlich tiefer und erreichte 83%. Ein möglicher Grund könnten extreme Temperaturschwankungen bei Föhnlagen sein, welche zu einem unnötigen Einschalten des Brenners bereits bei Aussentemperaturen um 9 °C führten.

Die Arbeitszahlen liegen mit 3,3 im Jahresdurchschnitt relativ hoch. Dies ist in Anbetracht der hohen Wärmequellentemperatur jedoch zu erwarten. Ebenso ist auch der Nutzungsgrad der Wärmeerzeugungsanlage hoch. Die jährlich eingesetzte Endenergie in Form von Strom und Öl kann zu 209% in Nutzungsenergie für die Raumheizung umgewandelt werden. Damit können bedeutende Mengen an Primärenergie gespart werden.

Was die Betriebserfahrungen betrifft, so sind hauptsächlich drei Probleme aufgetreten: Freonverlust, unnötiges Ansprechen des Hochdruck-Pressostaten und nicht optimale Funktion der Regelung des Heizkessels.

Bahnhof Schwyz

Ausgangslage

Im Jahre 1981/82 wurde das alte Bahnhofgebäude Schwyz abgebrochen. Für den Neubau wurden Ölfeuerung, Gasfeuerung, Luftwärmepumpe und Grundwasserwärmepumpe untersucht. Die Grundwassernutzung erwies sich als nicht möglich, weil es sich im betreffenden Gebiet um stehendes Grundwasser handelt. Weiter kam auch eine Gasfeuerung wegen des damals hohen Gaspreises nicht in Frage. Und schliesslich musste auch die Ölfeuerung fallen gelassen werden, weil für den Öltank ein separater Raum im Grundwasserbereich hätte erstellt werden müssen. Als einzige Lösung blieb eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gaskessel als Spitzendeckung.

Erkenntnisse und Betriebserfahrungen

Gemäss Messauswertung deckt die Wärmepumpe etwa 60% des maximalen Wärmeleistungsbedarfs und ist somit vernünftig ausgelegt.

Ihre Heizleistung stimmt gut mit den Herstellerangaben überein. Die elektrische Leistungsaufnahme des Kompres-

sors inklusive Hilfsaggregate ist dagegen grösser als vom Hersteller spezifiziert. Diese erhöhte Stromaufnahme ist vor allem im Sommer gross und führt zu entsprechend tiefen Arbeitszahlen in diesen Monaten. Als mögliche Ursachen für dieses Verhalten kommen die Carterheizung, immer hohe Vorlauftemperaturen, die Zylinderabhebungssteuerung und prozentual hohe Anfahr- und Auskühlverluste in Frage.

Der Deckungsgrad der Wärmepumpe liegt mit 93% (Jahre 85–87) hoch und stimmt gut mit dem aufgrund der Temperaturhäufigkeit zu erwartenden Wert überein. Infolge des Einschaltens des Gaskessels auch bei relativ hohen Aussentemperaturen war die Wärmelieferung der WP in der Periode 84/85 jedoch deutlich tiefer und betrug lediglich 86,7%.

Gesamthaft betrachtet erfüllt die Wärmepumpenanlage die Erwartungen gut. Die Laufzeit pro Einschaltimpuls, die jährlichen Betriebsstunden von 2350 bis 2400 h sowie der Deckungsgrad stellen typische Werte für solche bivalenten Anlagen dar.

Ebenso lag auch die Arbeitszahl im ersten Auswertungsjahr mit 2,5 erfreulich hoch, fiel in den folgenden zwei Jahren dann aber aus unbekannten Gründen auf 2,2 ab. Dieser Wert ist für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe eher an der unteren Grenze.

Die Betriebserfahrungen werden nach anfänglichen Startschwierigkeiten heute im allgemeinen als positiv beurteilt. Probleme ergaben sich vor allem mit der Aufladeregulierung und der relativ tiefen Warmwassertemperatur von durchschnittlich 47 °C. Weitere Schwachpunkte waren Lärm des Kompressors, Freonverlust und HD- und ND-Störungen. Ansonsten läuft die Anlage gut.

Depot Rorschach

Ausgangslage

Die Wärmeversorgung des Depots Rorschach erfolgte bis 1983 mit zwei erneuerungsbedürftigen ölbefeuerten Heizkesseln aus dem Jahre 1961. Zudem waren beide Kamine stark versottet und benötigten dringend eine Sanierung. Dies führte dazu, dass man sich überlegte, ob der Wärmebedarf auch in Zukunft mit Öl gedeckt werden sollte oder ob Bodenseewasser als Wärmequelle verwendet werden kann. Für den Einsatz einer Seewasserwärmepumpe sprachen vor allem die unmittelbare Nähe des Bodensees sowie die Möglichkeit, Seewasser für drei verschiedene Verbraucher gemeinsam zu fassen. Andere Energieträger, wie Fernheizung, Gas, Kohle und Elektrizität, wurden ebenfalls näher untersucht. Sie waren aber entweder nicht vorhanden, brauchten zuviel Platz oder waren von der Wirtschaftlichkeit her nicht vertretbar. Die Wahl fiel deshalb auf eine Seewasser-Wärmepumpe. Als Antrieb wurde ein Dieselmotor gewählt, um auch mit dieser Technik Erfahrungen sammeln zu können.

Erkenntnisse und Betriebserfahrungen

Die Auswertung der Messdaten zeigt, dass der Primärenergieverbrauch der Wärmepumpe gut korreliert ist mit der von ihr gelieferten Heizenergie. So wurden pro kWh Dieselöl in den Jahren 84–87 etwa 1,48 kWh Nutzenergie bereitgestellt. Dies entspricht einer Heizzahl ohne Berücksichtigung der Hilfsbetriebe von 1,48. Verglichen mit dem vom Hersteller angegebenen Wert (ohne An- und Abfahrverluste) von 1,74 im Auslegungsfalle liegt die erreichte Jahres-Heizzahl deutlich tiefer. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit der gemessenen Heizleistung der Wärmepumpe, welche ebenfalls deutlich geringer ist als vom Hersteller angegeben.

Der Energiebedarf der Hilfsbetriebe (Seewasserpumpe, Rührwerk, Motorkühlpumpe und Heizwasserpumpe) beträgt etwa 6% des Primärenergieverbrauchs, womit sich netto im Durchschnitt über 3 Jahre eine Heizzahl von 1,40 ergibt.

Die Wärmepumpe weist eine hohe Vollbetriebsstundenzahl von über 3000 h auf und ist damit gut ausgelastet. Sie war in der Lage, in den ersten Betriebsjahren 76% und in den Jahren 86–87 infolge Anschlusses eines neuen Gebäudes noch 69% des Energiebedarfs zu decken. Dieser Deckungsgrad stimmt gut mit dem theoretischen Deckungsgrad gemäss Temperaturhäufigkeit überein.

Gesamthaft wird die eingesetzte Endenergie (Dieselöl, Strom) in der Wärmeerzeugungsanlage zu 125% in Nutzenergie umgewandelt. Dadurch wird Primärenergie gespart. Trotz dieser Einsparungen stellt die Dieselmotorwärmepumpe jedoch eine beträchtliche Belastung für die Umwelt dar (NO_x, Russ).

Neben dem Problem der Luftverschmutzung sind auch die Betriebserfahrungen generell eher negativ, weil immer wieder verschiedene Störungen auftraten, welche wesentliche Unterbrechungen zur Folge hatten. So sind z.B. an der Wärmepumpe überall kleine Undichtigkeiten aufgetreten (Wassereinbruch in Zylindern, Spannungsrisse in der Freonleitung).

Ein weiteres Problem ist die Verschmutzung der Abgaswärmetauscher, welche durchschnittlich ein- bis zweimal pro Monat gereinigt werden müssen.

Bahnhof Sargans

Ausgangslage

Das bestehende Aufnahmegebäude ist mit einer Heizzentrale mit zwei Ölkesseln versehen, welche die Wärme für die Raumheizung liefern.

Im Jahre 1981 wurde im Zusammenhang mit der Bahnhofserweiterung untersucht, ob der steigende Wärmebedarf teilweise mit einer Wärmepumpe gedeckt werden kann.

Aufgrund einer Studie wurde eine Elektrowärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle gewählt. Diese liefert die Grundlast und wird bei tiefen Aussentemperaturen im bivalent-parallelen Betrieb von den bestehenden Heizkesseln unterstützt.

Erkenntnisse und Betriebserfahrungen

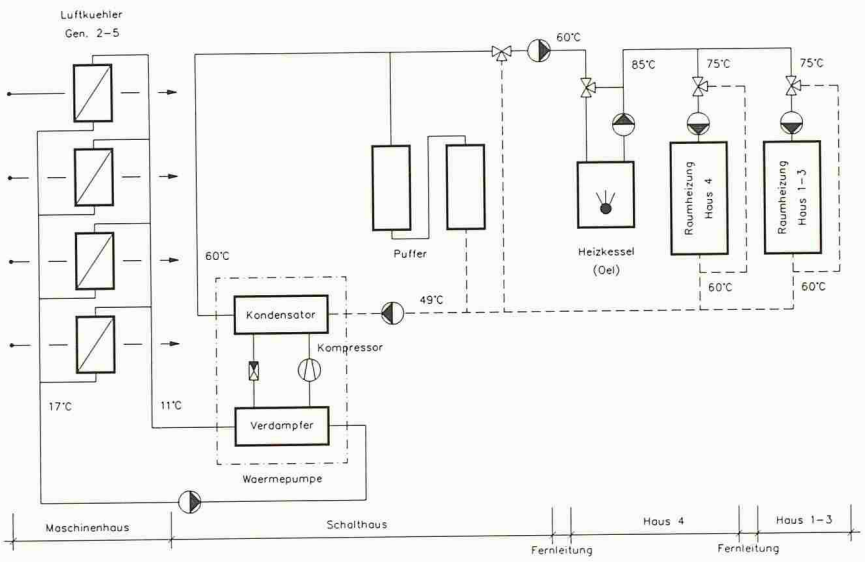
Die Messdatenauswertung zeigt, dass die Wärmepumpe in der Lage ist, nahezu 100% der benötigten Heizenergie zu liefern. Lediglich 2% der Wärme müssen noch von den Heizkesseln bereitgestellt werden. Dieser hohe Deckungsgrad der Wärmepumpe bedeutet, dass die Wärmepumpe zu gross dimensioniert wurde. Ursache für die Überdimensionierung war eine Fehleinschätzung des Wärmeleistungsbedarfs, welcher nicht wie angenommen 350 kW, sondern lediglich etwa 220 kW beträgt.

Weil die Wärmepumpe vier getrennte Kreisläufe aufweist und diese lastabhängig zu- und abgeschaltet werden können, kann jedoch trotz der Überdimensionierung auch bei geringem Wärmebedarf eine gute Auslastung erreicht werden.

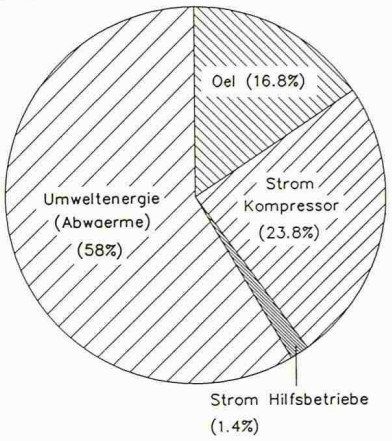
Die Regelung des Heizkessels scheint bei dieser Anlage nicht optimal zu funktionieren, indem beispielsweise im Oktober vom Spitzenkessel Wärme verlangt wird, während in den Monaten November und Dezember, mit deutlich tieferen Aussentemperaturen, der Wärmebedarf allein von der Wärmepumpe gedeckt wird. Die Gründe dafür sind unbekannt.

Die Arbeitszahl der Wärmepumpe erreichte in der zweijährigen Messperiode im Durchschnitt einen Wert von 2,5. Für eine Wärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle ist dies schlecht. Die Arbeitszahl ist am höchsten bei Aussentemperaturen zwischen +3 und

KW-AMSTEG



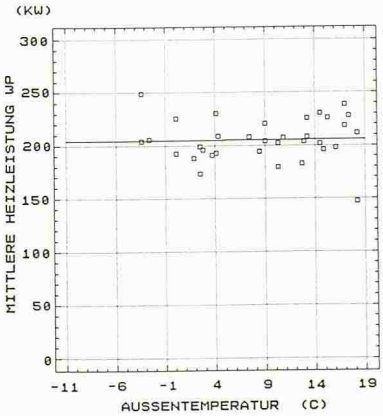
Prinzipschema der Anlage: Elektrowärmepumpe mit Generatorenabwärme als Wärmequelle, bivalent parallel (−3 °C), Heizleistung 169 kW (60/49 °C, 17/11 °C), Leistungsziffer 3.02



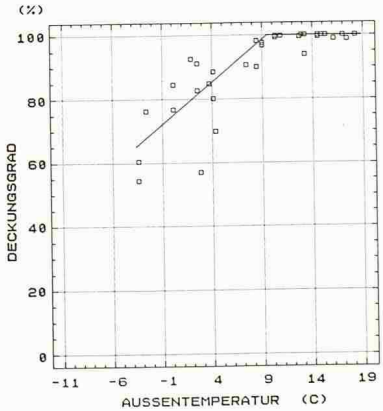
Energie-Einsatz 1984-1985

PERIODE	ANTRIEBS ENERGIE KOMPR. 1 + 2 (KWH)	ANTRIEBS ENERGIE HILFS-BETRIEBE (KWH)	WÄRME-LIEFER. WAERME-PUMPE (KWH)	MITTLERE HEIZ-LEISTUNG WP (KW)	VOLLAST-BETRIEBS STUNDEN WP (H)	LAUFZEIT KOMPR. 1+2 PRO IMPULS (MIN)	ARBEITS-ZAHL OHNE HILFSBT. (-)	ARBEITS-ZAHL (-)	WÄRME-LIEFER. HEIZ-KESSEL (KWH)	PROZENT. WÄRME-LIEFER. WP (%)
JULI 84	722	50	2847	211,7	13,5	21,8	3,94	3,69	0	100,0
AUGUST	610	24	2685	238,7	11,3	23,3	4,40	4,23	0	100,0
SEPTEMB.	3264	232	12641	203,7	62,1	16,8	3,87	3,62	0	100,0
OKTOBER	5862	412	22225	202,0	110,1	21,8	3,79	3,54	160	99,3
NOVEMB.	6530	441	23260	194,2	119,8	30,4	3,56	3,34	428	98,2
DEZEMB.	12356	659	38281	173,3	220,9	55,7	3,10	2,94	3690	91,2
JANUAR	8762	438	30788	204,3	150,7	47,2	3,51	3,35	25686	54,5
FEBRUAR	10610	578	35451	192,5	184,2	48,1	3,34	3,17	6405	84,7
MÄRZ	9404	509	31300	192,7	162,4	45,4	3,33	3,16	3998	88,7
APRIL	6422	414	23329	204,3	114,2	32,0	3,63	3,41	762	96,8
MAI	3338	206	12803	225,8	56,7	32,9	3,84	3,61	816	94,0
JUNI 85	2320	150	9219	230,2	40,1	29,5	3,97	3,73	40	99,6
84 - 85	70200	4114	244829	196,5	1245,7	35,6	3,49	3,29	41986	85,4
85 - 86	67800	3746	236638	200,1	1182,4	35,9	3,49	3,31	53217	81,6
86 - 87	68048	3856	245625	211,1	1163,6	20,7	3,61	3,42	50343	83,0

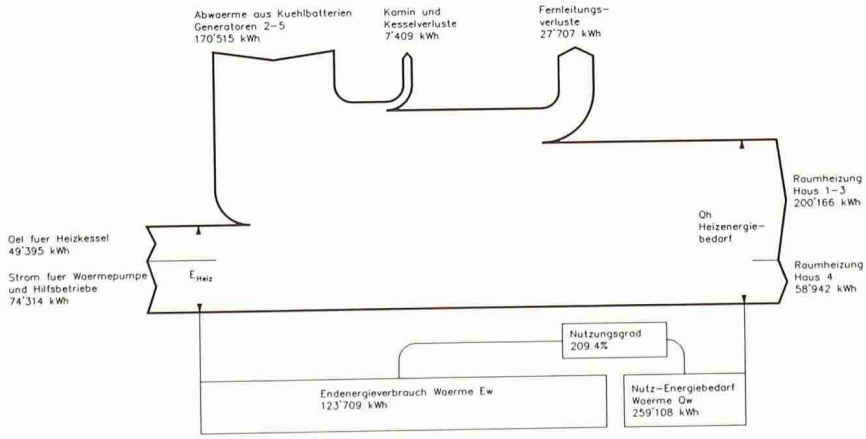
Messresultate und daraus abgeleitete Grössen



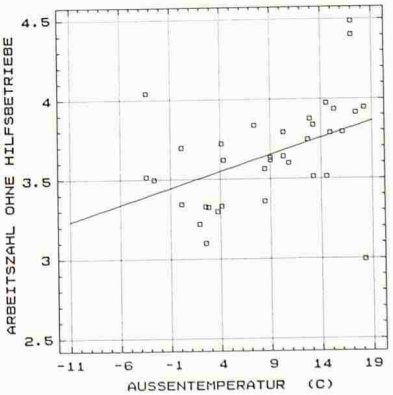
Heizleistung der Wärmepumpe, Messdaten 1984–1987



Anteil Wärmelieferung der WP am Gesamtwärmebedarf, Messdaten 1984–1987

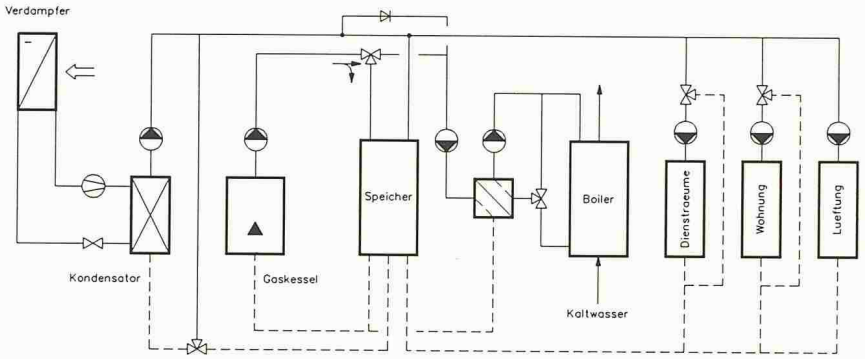


Energie-Flussdiagramm 1984–1985

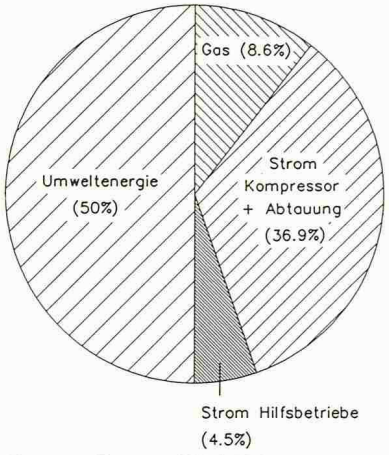


Arbeitszahl der Wärmepumpe, Messdaten 1984–1987

BAHNHOF SCHWYZ



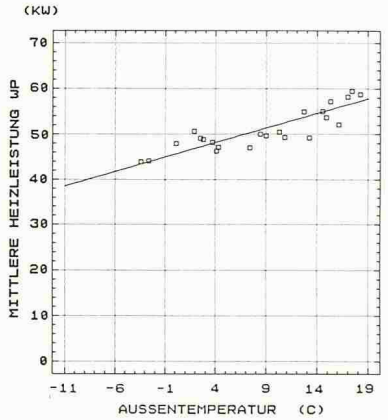
Prinzipschema der Anlage: Elektrowärmepumpe mit Luft und teilweiser Abwärme als Wärmequelle, bivalent alternativ (−3 °C), Heizleistung 43.2 kW (50/45 °C, −1.5/−7.3 °C), Leistungsziffer 2.8



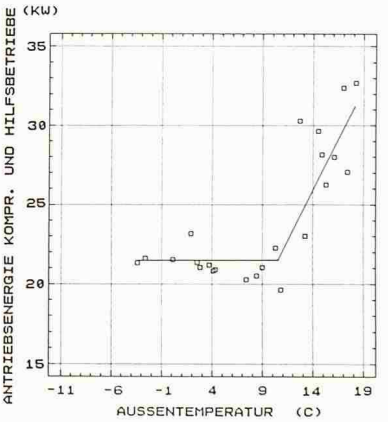
Energie-Einsatz 1986-1987

PERIODE	ANTRIEBS ENERGIE KOMPR.+ ABTAUUNG (KWH)	ANTRIEBS ENERGIE HILFS-BETRIEBE (KWH)	WÄRME-LIEFER. WAERME-PUMPE (KWH)	MITTLERE HEIZ-LEISTUNG WP (KW)	VOLLAST-BETRIEBS STUNDEN WP (H)	LAUFZEIT KOMPR. PRO IMPULS (MIN)	ARBEITS-ZAHL OHNE HILFSBT. (-)	ARBEITS-ZAHL (-)	WÄRME-LIEFER. HEIZ-KESSEL (KWH)	PROZENT. WÄRME-LIEFER. WP (%)
JULI 86	888	70	1720	58,7	29,3	35,2	1,94	1,80	0	100,0
AUGUST	933	74	1810	58,2	31,1	38,1	1,94	1,80	0	100,0
SEPTEMB.	915	78	1800	54,9	32,8	48,0	1,97	1,81	0	100,0
OKTOBER	2090	250	5310	50,5	105,2	63,1	2,54	2,27	0	100,0
NOVEMB.	5324	697	14670	50,0	293,6	71,0	2,76	2,44	13	99,9
DEZEMB.	7341	919	18990	49,1	386,8	88,6	2,59	2,30	426	97,8
JANUAR	8572	1075	19880	43,9	452,5	170,8	2,32	2,06	6463	75,5
FEBRUAR	6962	864	17420	47,9	363,6	101,9	2,50	2,23	262	98,5
MÄRZ	7461	960	18690	46,2	404,2	131,1	2,51	2,22	1931	90,6
APRIL	2806	357	7470	49,7	150,4	79,2	2,66	2,36	0	100,0
MAI	1792	206	4270	49,2	86,8	59,2	2,38	2,14	0	100,0
JUNI 87	946	82	1910	55,0	34,7	35,9	2,02	1,86	0	100,0
86 - 87	46031	5631	113940	48,1	2371,0	90,7	2,48	2,21	9094	92,6
85 - 86	45143	5591	112740	47,9	2354,2	68,9	2,50	2,22	8030	93,4
84 - 85	40679	5443	115830	50,5	2291,8	63,0	2,85	2,51	17722	86,7

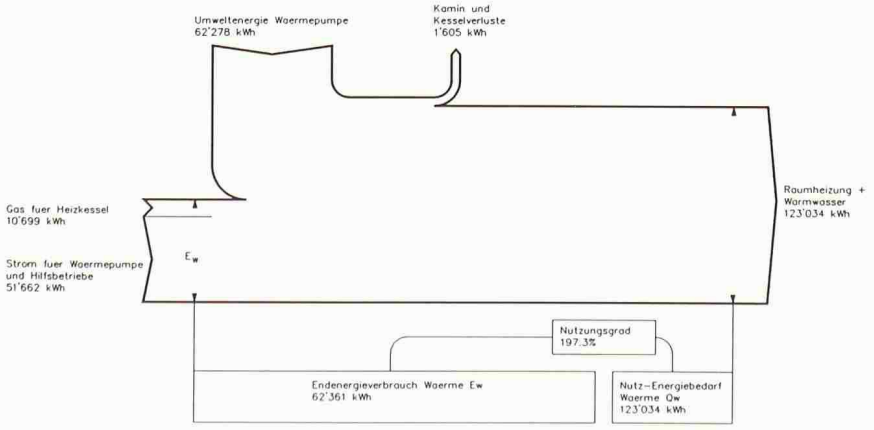
Messresultate und daraus abgeleitete Grössen



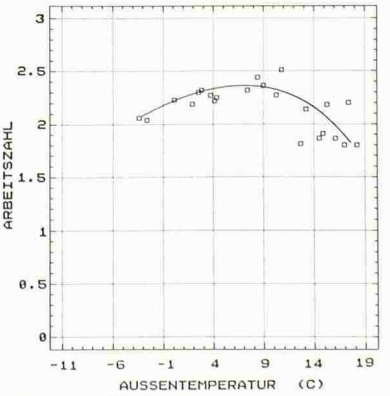
Heizleistung der Wärmepumpe, Messdaten 1985–1987



Elektrische Leistungsaufnahme Kompressor und Hilfsbetr., Messdaten 1985–1987

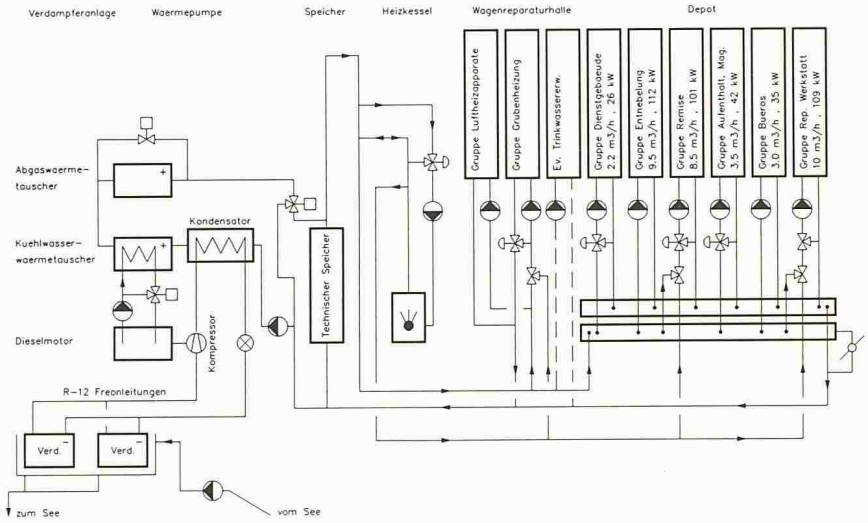


Energie-Flussdiagramm 1986–1987

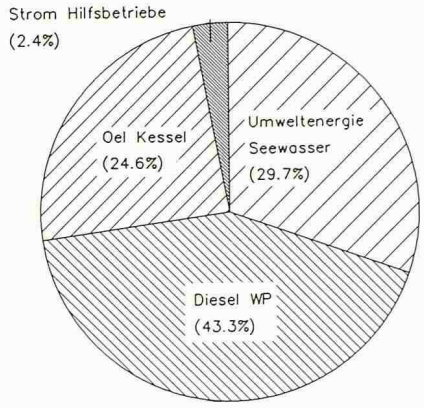


Arbeitszahl der Wärmepumpe, Messdaten 1985–1987

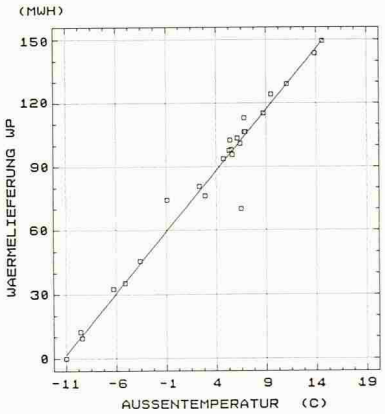
DEPOT RORSCHACH



Prinzipschema der Anlage: Dieselmotorwärmepumpe mit Seewasser als Wärmequelle, bivalent parallel (−2 °C), Heizleistung 251.5 kW (64/50 °C, 4/2 °C), Leistungsziffer 3.14, Heizziffer 1.74



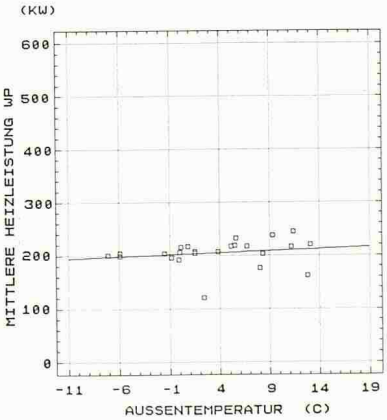
Energie-Einsatz 1984-1985



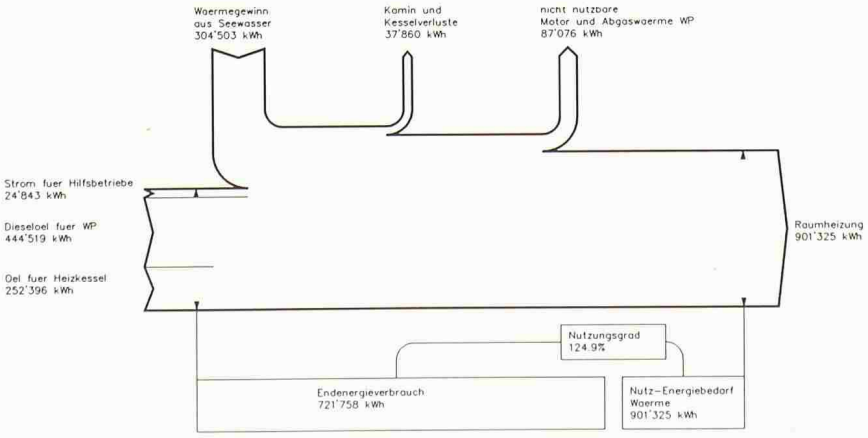
Wärmelieferung und Primärenergieverbrauch der Wärmepumpe, Messdaten 1984–1987

PERIODE	PRIMAER-ENERGIE WAERME-PUMPE (KWH)	ANTRIEBS ENERGIE HILFS-BETRIEBE (KWH)	WÄRME-LIEFER. WAERME-PUMPE (KWH)	MITTLERE HEIZ-LEISTUNG WP (KW)	VOLLAST-BETRIEBS STUNDEN WP (H)	LAUFZEIT KOMPR. PRO IMPULS (MIN)	HEIZ-ZAHL OHNE HILFSBT. (-)	HEIZ-ZAHL (-)	WÄRME-LIEFER. HEIZ-KESSEL (KWH)	PROZENT. WÄRME-LIEFER. WP (%)
JULI 84	0	0	0						0	
AUGUST	0	0	0						0	
SEPTEMB.	5679	315	8998	243,8	37	84	1,58	1,50	0	100
OKTOBER	29651	1645	45697	237,1	193	96	1,54	1,46	168	100
NOVEMB.	65060	3206	97599	231,4	422	114	1,50	1,43	6972	93
DEZEMB.	71649	3486	106300	216,8	490	156	1,48	1,41	58732	64
JANUAR	68385	3871	103504	204,1	507	360	1,51	1,43	72717	59
FEBRUAR	62814	3605	93688	203,4	461	258	1,49	1,41	67689	58
MÄRZ	81939	4550	124149	207,5	598	1392	1,52	1,44	6257	95
APRIL	40435	2891	74345	216,5	343	258	1,84	1,72	2001	97
MAI	18907	1274	32509	215,7	151	276	1,72	1,61	0	100
JUNI 85	0	0	0						0	
84 - 85	444519	24843	686789	214,5	3202	216	1,55	1,46	214536	76
85 - 86	496619	26705	708554	210,9	3360		1,43	1,35		
86 - 87	551608	30254	810247				1,47	1,39	361123	69

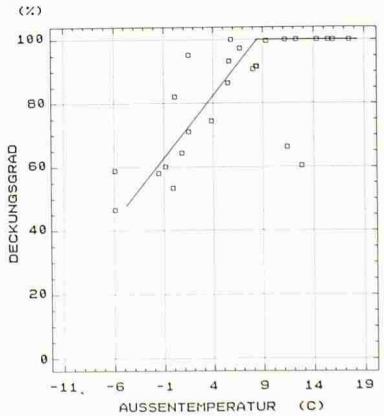
Messresultate und daraus abgeleitete Grössen



Heizleistung der Wärmepumpe, Messdaten 1984–1987

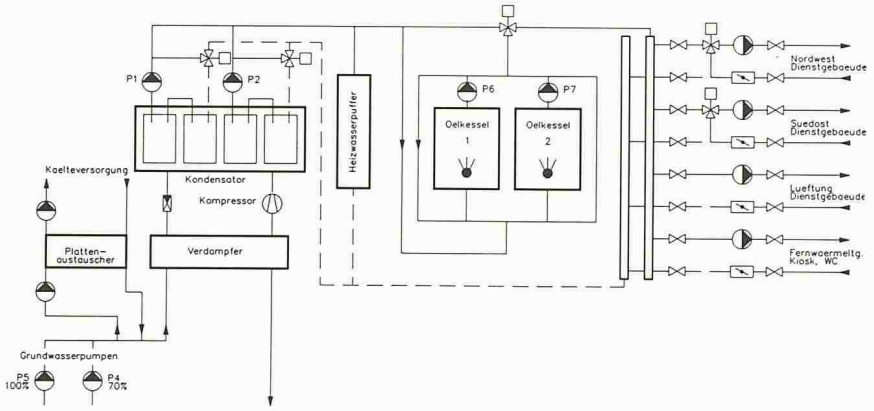


Energie-Flussdiagramm 1984–1985

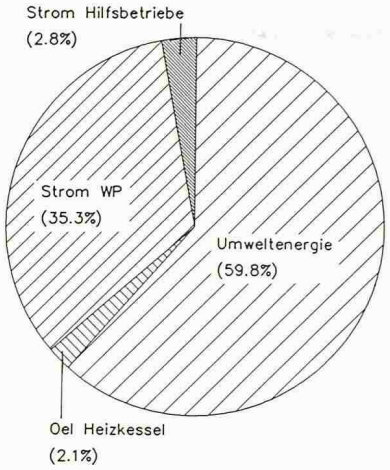


Anteil Wärmelieferung der WP am Gesamtwärmebedarf, Messdaten 1984–1987

BAHNHOF SARGANS



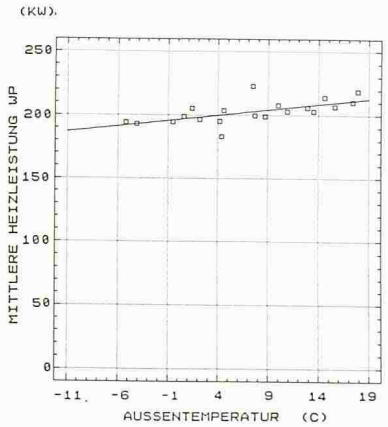
Prinzipschema der Anlage: Elektrowärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle, bivalent parallel (−3 °C), Heizleistung 217 kW (55/45 °C, 9/5 °C), Leistungsziffer 2.86



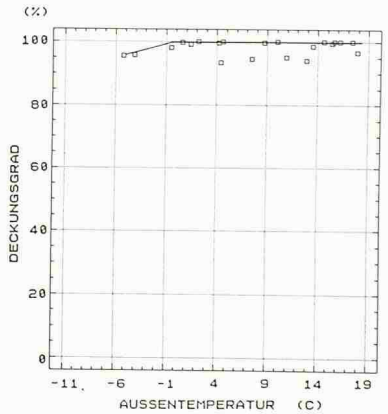
Energie-Einsatz 1984-1985

PERIODE	ANTRIEBS ENERGIE KOMPR. 1 - 4 (KWH)	ANTRIEBS ENERGIE HILFS BETRIEBE (KWH)	WÄRME-LIEFER. WAERME-PUMPE (KWH)	MITTLERE HEIZ-LEISTUNG WP (KW)	VOLLAST-BETRIEBS STUNDEN WP (H)	LAUFZEIT KOMPR. 4 PRO IMPULS (MIN)	ARBEITS-ZAHL OHNE HILFSBT. (-)	ARBEITS-ZAHL (-)	WÄRME-LIEFER. HEIZ-KESSEL (KWH)	PROZENT. WÄRME-LIEFER. WP (%)
JULI 84	1034	82	2407	218,8	11,0	126	2,33	2,16	84	96,6
AUGUST										
SEPTEMB.	4868	593	13427	205,8	65,3	54	2,76	2,46	841	94,1
OKTOBER	8946	883	24679	203,1	121,5	54	2,76	2,51	1261	95,1
NOVEMB.	15236	1121	41206	199,8	206,3	60	2,70	2,52	0	100,0
DEZEMB.	22448	1405	60458	196,3	308,0		2,69	2,53	0	100,0
JANUAR	27180	1929	72377	194,3	372,5	72	2,66	2,49	3448	95,5
FEBRUAR	24176	1780	65079	194,4	334,8	42	2,69	2,51	1261	98,1
MÄRZ	16906	1143	45548	195,3	233,3	126	2,69	2,52	168	99,6
APRIL	13236	971	35968	199,0	180,8	96	2,72	2,53	84	99,8
MAI	6898	770	19034	203,0	93,8	78	2,76	2,48	252	98,7
JUNI 85	3962	796	11289	214,0	52,8	108	2,85	2,37	0	100,0
84 - 85	145328	11475	391472	197,7	1979,8	72	2,69	2,50	7400	98,1
85 - 86	140712	11289	381658	211,9	1800,8	66	2,71	2,51	8326	97,9

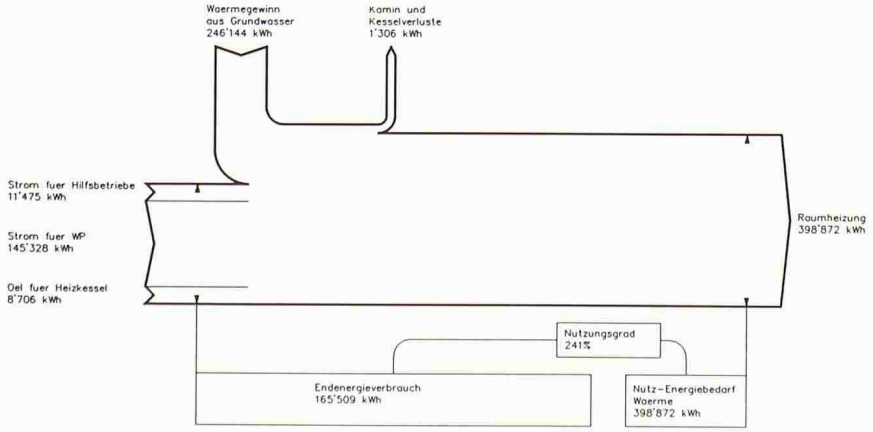
Messresultate und daraus abgeleitete Grössen



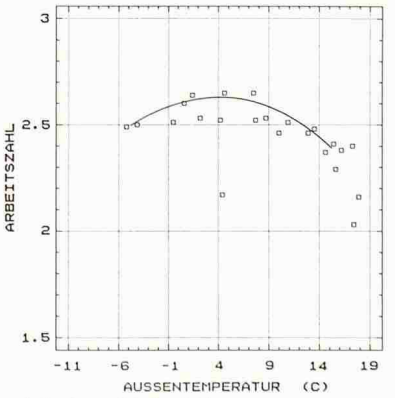
Heizleistung der Wärmepumpe, Messdaten 1984–1986



Anteil Wärmelieferung der WP am Gesamtwärmebedarf, Messdaten 1984–1986

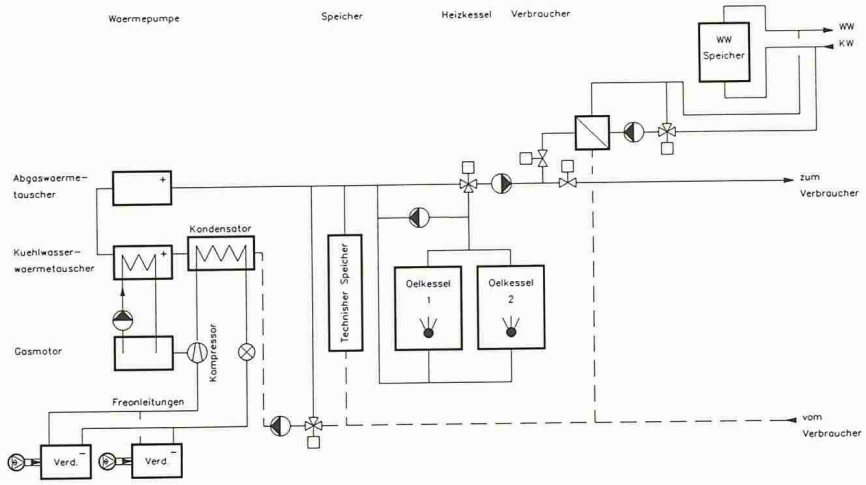


Energie-Flussdiagramm 1984–1985

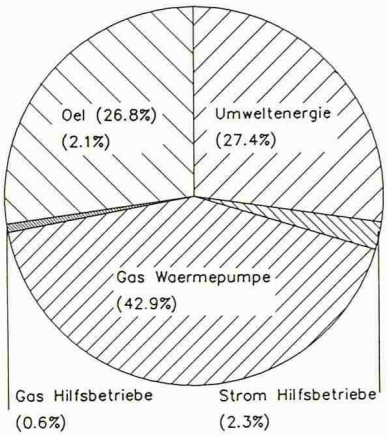


Arbeitszahl der Wärmepumpe, Messdaten 1984–1986

BRÜNIGDEPOT



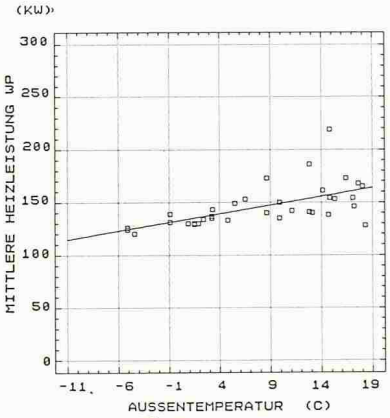
Prinzipschema der Anlage: Gasmotorwärmepumpe mit Luft als Wärmequelle, bivalent alternativ (−3 °C), Heizleistung 143.2 kW (TA = −5 °C, TVORL. = 54 °C), Heizziffer 1.4, Heizleistung 189.4 kW (TA = + 5 °C, TVORL. = 43 °C), Heizziffer 1.79



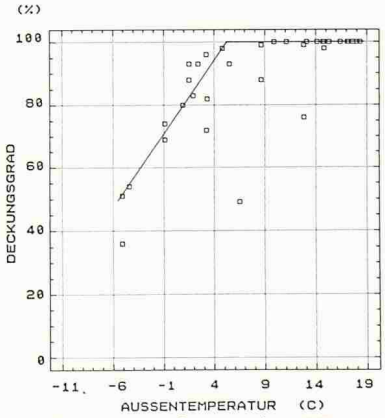
Energie-Einsatz 1984-1985

PERIODE	PRIMAER-ENERGIE WAERME-PUMPE (KWH)	ANTRIEBS ENERGIE HILFS-BETRIEBE (KWH)	WÄRME-LIEFER. WAERME-PUMPE (KWH)	MITTLERE HEIZ-LEISTUNG WP (KW)	VOLLAST-BETRIEBS STUNDEN WP (H)	LAUFZEIT WP PRO IMPULS (MIN)	HEIZ-ZAHL OHNE HILFSBT. (-)	HEIZ-ZAHL (-)	WÄRME-LIEFER. HEIZ-KESSEL (KWH)	PROZENT. WÄRME-LIEFER. WP (%)
JULI 84	4279	226	6000	127,7	47	102	1,40	1,33	0	100
AUGUST	5308	274	8800	154,4	57	108	1,66	1,58	0	100
SEPTEMB.	4146	230	6700	139,6	48	30	1,62	1,53	0	100
OKTOBER	12151	680	19100	134,5	142	48	1,57	1,49	0	100
NOVEMB.	24006	1282	40200	149,4	269	60	1,68	1,59	3031	93
DEZEMB.	35652	1897	53000	130,2	407	78	1,51	1,41	7441	88
JANUAR	25235	1369	37300	124,3	300	72	1,53	1,40	66693	36
FEBRUAR	30877	1641	46900	131,4	357	90	1,56	1,44	20925	69
MÄRZ	32088	1689	49600	136,6	363	108	1,58	1,47	1929	96
APRIL	15496	793	28800	173,5	166	66	1,86	1,77	276	99
MAI	10302	556	21600	186,2	116	96	2,10	1,99	269	99
JUNI 85	5289	274	12500	219,3	57	60	2,36	2,25	276	98
84 - 85	204828	10911	330500	141,9	2329	78	1,64	1,53	100839	77
85 - 86	201169	10918	318800	136,0	2349	96	1,62	1,48	85246	79,0
86 - 87	191077	10040	295600	136,0	2172	78	1,58	1,44	91765	76,0

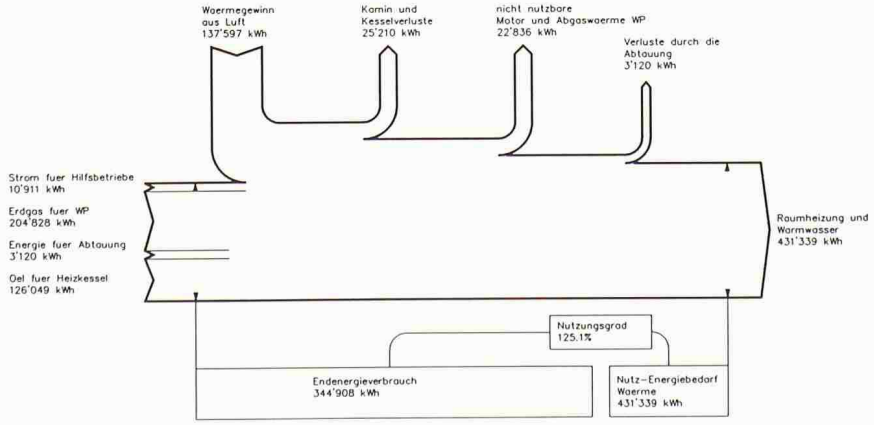
Messresultate und daraus abgeleitete Grössen



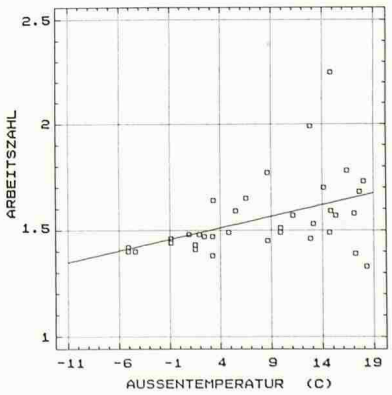
Heizleistung der Wärmepumpe, Messdaten 1984–1987



Anteil Wärmelieferung der WP am Gesamtwärmebedarf, Messdaten 1984–1987



Energie-Flussdiagramm 1984–1985



Heizzahl der Wärmepumpe, Messdaten 1984–1987

Literatur

[1] Auswertung von alternativen Wärmeerzeugungsanlagen
Hauptbericht und Anhang Band I, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich, Juli 1988
Beide Berichte können bei Herrn Däppen, Generaldirektion der SBB, Bauabteilung, Sektion Heizung/Lüftung, Mittelstr. 43, 3012 Bern, bezogen werden.

+8 °C und sinkt vor allem bei höheren Aussentemperaturen als Folge grösserer An- und Abfahrverluste stark ab.

Der Energieaufwand für den Antrieb der Hilfsbetriebe liegt bei etwa 8% der Kompressorenenergie und stellt für eine Grundwasserpumpe einen guten Wert dar.

Bezüglich Betriebserfahrungen wird die Anlage als positiv beurteilt. Bis auf einige wenige Störungen läuft die Anlage gut.

Brünigdepot und Lokomotivabspritzstand Luzern

Ausgangslage

Die Erneuerung der Bahnhofanlage Luzern erforderte den Abbruch des alten Lokomotivdepots der Brünigbahn am Inseliquai. Es bot sich nun die Gelegenheit, die Heizanlage des neuen Brünigdepots an die nahegelegene Heizzentrale der Lokomotivwaschanlage anzuschliessen. Die Heizzentrale der Lokomotivwaschanlage wurde 1973 erstellt und umfasste 2 Heizkessel und 3 Warmwasserboiler. Durch den Einbau einer Wärmerückgewinnungsanlage sowie durch die Änderung des Waschvorgangs konnte genügend Wärmeleistungsreserve freigestellt werden, um das neue Gebäude an die bestehende Zentrale anzuschliessen. Durch Senkung der Wassertemperatur von 80 °C auf 50 °C stand dem Einsatz einer Gasmotor-Wärmepumpe nichts mehr im Wege.

Erkenntnisse und Betriebserfahrungen

Die Messergebnisse zeigen, dass die Wärmepumpe richtig dimensioniert ist. Sie deckt 40% des max. Wärmeleistungsbedarfs sowie knapp 80% des Heizenergiebedarfs eines Jahres ab. Dabei erreicht sie eine Vollbetriebsstundenzahl von 2300 h pro Jahr, was typisch für eine solche bivalent betriebene Anlage ist.

In Anbetracht dessen, dass als Wärmequelle nur kalte Aussenluft zur Verfügung steht, stellen die erreichten Heizzahlen von durchschnittlich 1,48 gute Werte dar. Bei sehr kalten Aussentemperaturen vereist der Verdampfer und muss häufig abgetaut werden. Dies hat zur Folge, dass die Wärmepumpe nicht die maximal mögliche Wärme liefern kann. Aus den zur Verfügung stehenden monatlichen Messdaten war es jedoch nicht möglich, einen Zusammenhang zwischen Aussentemperatur, Luftfeuchtigkeit sowie Abtauenergie aufzuzeigen.

Die von der Wärmepumpe gelieferte Heizleistung liegt tiefer als vom Hersteller spezifiziert. Die Abweichungen zwischen Messwerten und Herstellerangaben sind dabei besonders bei hohen Aussentemperaturen gross. Die Gründe dafür sind nicht bekannt.

Der Energieaufwand für die Hilfsbetriebe (Ventilatoren, Abtauung) beträgt etwa 5% des Primärenergieverbrauchs der Wärmepumpe. Dieser Wert ist für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe eher hoch.

Ansonsten sind die Betriebserfahrungen mit dieser Anlage gut. Abgesehen von einzelnen wenigen Störungen läuft die Wärmepumpe problemlos.

Adresse des Verfassers: *M. Keller*, dipl. Bauing. ETH, M.Sc. Mech. Eng. CSU, Projektbereich Alternativenergie, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8034 Zürich.

Concours: Logements aux Cornes-Morel à La Chaux-de-Fonds

Le Conseil communal de la ville de La Chaux-de-Fonds, en collaboration avec la société simple «groupement des quatre Fonds» a organisé, par l'intermédiaire de la Direction des Travaux publics, un concours de projets pour la construction de 200 logements aux Cornes-Morel. Ce concours a été ouvert aux urbanistes et architectes neuchâtelois ou domiciliés dans le canton avant le 1er janvier 1988, inscrits au registre neuchâtelois A ou B des architectes, ainsi qu'aux architectes originaires du canton de Neuchâtel. Par ailleurs, quatre bureaux ont été invités à participer au concours: ARB, Arbeitsgruppe à Berne; P. Mestelan et B. Gachet à Lausanne; M. Borges à Carouge; et Architrave à Delémont.

24 projets ont été remis dans les délais exigés. Trois projets ont été écartés de la répartition des prix. Résultats:

1er prix (25 000 Fr.): C. Schelling, Wangen; collaborateurs: R. Barth, T. Frei, W. Handschin, B. Kruck, U. Schelling

2e prix (15 000 Fr.): SRA Genève, P. Koessler, M. C. Koessler, C. Morel; collaborateur: D. Bürki

3e prix (11 000 Fr.): P. Cornu, P. Estoppey, Fontaines; collaborateur: M. Colomb

4e prix (10 000 Fr.): N.C.L., La Chaux-de-Fonds, G.M. Triponez, P.A. Maire, F. Steiger, S. Horni; collaborateurs: M. Decosterd, J.L. Baume

5e prix (8000 Fr.): A. Burnier, P. Lorenz, A. Robert-Tissot, R. Ruada, Genève

6e prix (6000 Fr.): Architrave, Delémont, H. Robert-Charrue, G. Wuthrich, A. Calpe; collaborateurs: P. Ruegg, C. Crevoiserat

7e prix (5000 Fr.): L. Chenu, P. Jequier, Genève; collaborateurs: H. Dufour, A. Poussière, N. Pradervand

8e prix (4000): ARB Arbeitsgruppe, Bern, K. Aellen, F. Biffiger, P. Keller, T. Keller

9e prix (3000 Fr.): Mestelan et P. Gachet, Lausanne; collaborateurs: M.P. Zufferey, F. Baldi, I. Rossi, M. Villard

Achat (7000 Fr.): P. Graber, Le Locle

A l'unanimité le jury déclare, que la qualité du projet classé au premier rang justifie l'attribution du mandat d'exécution à son auteur.

Le jury était composé comme suit: A. Bringolf, conseiller communal; Mme S. Moser, architecte, urbaniste communale, La Chaux-de-Fonds; les architectes prof. T. Carloni, Genève/Rovio; P. Feddersen, Zumikon; prof. Ph. Joye, Fribourg; Mme. M. de Lattre-Wiesel, Blonay; P.E. Monot, Lausanne; suppléants: E. Galley, agent immobilier, Genève; Mme prof. G. von Wyss, représentante d'une association coopérative.

Extrait du programme

Ce concours de projets a pour but la réalisation de logements sociaux par étapes. La première étape comprendra entre 40 et 50 logements, les étapes suivantes sont à définir par les concurrents.

Le concurrent proposera une solution tenant compte de l'adaptation de l'habitat urbain aux besoins des futurs utilisateurs par:
- une bonne adéquation du logement locatif au mode de vie actuel,
- une recherche de solutions constructives