Wärmeversorgung Sent: Pilotprojekt einer möglichst autarken, wirtschaftlichen und umweltgerechten Wärmeversorgung eines Bergdorfes

Autor(en): **Buchli, Jürg / Studach, Josua**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 46

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74246

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

Wärmeversorgung Sent

Pilotprojekt einer möglichst autarken, wirtschaftlichen und umweltgerechten Wärmeversorgung eines Bergdorfes

Von Jürg Buchli und Josua Studach, Chur

Vor vier Jahren haben die Verfasser zusammen mit der Firma Gebr. Sulzer, Aktiengesellschaft, Winterthur, eine Grundlagenstudie erarbeitet, in der sie am Beispiel von Sent den Hypothesen nachgingen, dass gemeinschaftliche Heizanlagen unter gegebenen oder ähnlichen Umständen wirtschaftlicher seien, eher die Möglichkeit des Einsatzes von Alternativen zum Erdöl bieten und zu weniger Eingriffen in die Siedlungs-Bausubstanz führen. Aus dieser Studie, unterstützt durch das Bundesamt für Energiewirtschaft und die Schweizerische Stiftung für Landschaftsschutz, erschienen im Herbst 1976, ging das vorliegende Pilotprojekt hervor. Es soll realitätsbezogen technische und wirtschaftliche Grundlagen liefern, um Entscheide zur Realisierung dieses oder ähnlicher Wärmeversorgungssysteme zu gestatten. Die Arbeit wurde finanziert und damit ermöglicht, durch den Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF), die Graubündner Kantonalbank und die Gemeinde Sent.

Zustandserhebung

Im Jahre 1979 wurden die Besitzer von 248 Gebäuden über ihre gegenwärtige Wärmeversorgungsausstattung und ihre Bedürfnisse befragt. Gut 50% der Wohnungen sind noch mit herkömmlichen Holzfeuerungen ausgestattet, wobei davon etwa 60% Zusatzheizungen in Form von Öl- oder Elektro-Öfen aufweisen. Gut 37% der Wohnungen werden mit Öl geheizt. Die Wohnungen mit Elektroheizung machen etwa 5% aus. Die benötigte Energie wird heute sichergestellt durch:

Holz	21% =	1147 Ster	= 1260 Gcal/ 5280 GJ
Heizöl	75% =	522700 l	= 4400 Gcal/18440 GJ
Elektrizität	4% =	289300 kWh	= 249 Gcal/ 1040 GJ
		total	= 5909 Gcal/24760 GJ

Bedürfnisse

Mit der gemeinschaftlichen Heizung sollen sämtliche 248 Gebäude des alten Dorfkerns (etwa 13 ha) versorgt werden. Der *Wärmeleistungsbedarf* ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Den kommenden Berechnungen wird ein Anschlussgrad von 80% innerhalb von 18 Jahren zugrunde gelegt. Die Anschlussentwicklung darf aufgrund der Befragung positiv beurteilt werden. Sie hängt von der *Zuverlässigkeit der Anlage* und der *Energiepreisentwicklung* ab. Der Pilotcharakter der Anlage erfordert eine Zusicherung von Anschluss- und Wärmekosten in der Höhe der Kosten einer Ölheizung vor dem Baubeschluss.



Bild 1. Flugaufnahme des Dorfes Sent im Unterengadin. Höhe über Meer: 1440 m

Tabelle 1. Wärmeleistungsbedarf

		Wärmeleistungsbedarf	
262 Wohnungen,	ganzjährig belegt	3,533 Gcal/h	4,10 MW
	Gewerberäume	0,303	0,35
200 Wohnungen,	temporär belegt	2,067	2,40
82 Wohnungen,	ausbaubar	1,061	1,23
544 Wohnungen,	total	6,964 Gcal/h	8,08 MW

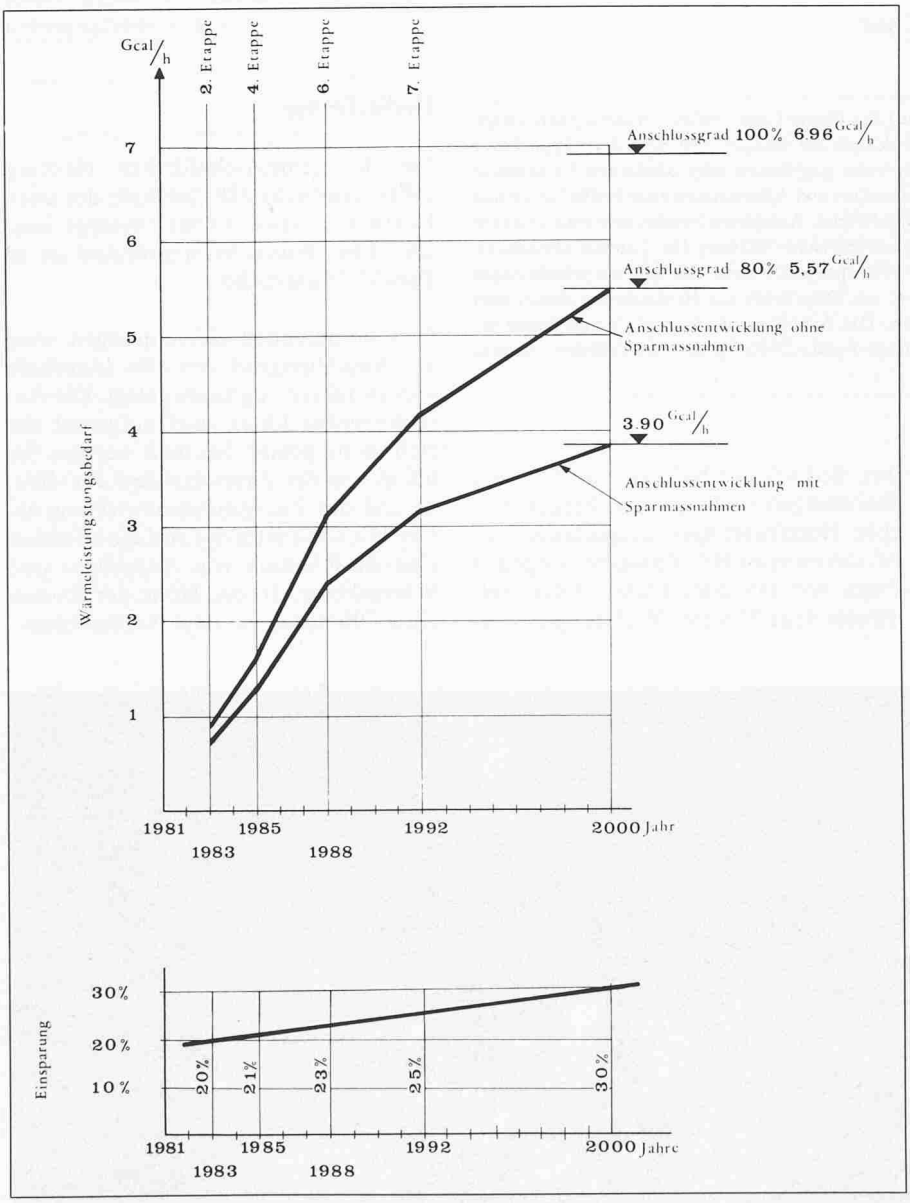


Bild 2. Oben: Angenommene Entwicklung des Wärmeleistungsbedarfs bis zum Jahre 2000. Unten: Angenommer Verlauf der Einsparungsmöglichkeiten gegenüber der durchgeführten Wärmeleistungsbedarfsberechung

Tabelle 2. Erforderliches Jahresmittel der Netztemperaturen. Für Sent vorgeschlagene und untersuchte Systeme: IV, V. V=Vorlauf R=Rücklauf

System 0,I:	V	= 76,7 °C	Konventionelle Systeme
	R	= 47,1 °C	
	Mittel	V+R = 61,9 °C	
System II:	V	= 61,7 °C	2-Leiter-Systeme
	R	= 41,0 °C	
	Mittel	V+R = 51,3 °C	
Systeme III, IV, V:	V	= 56,6 °C	4-Leiter-Systeme
	R	= 41,0 °C	
	Mittel	V+R = 48,8 °C	

Der baldige Anschluss der Gebäude mit ölgefeuerten Heizanlagen ist im Gesamtinteresse erwünscht. Die Anschlussaussichten wurden individuell beurteilt und ergaben, dass etwas mehr als 10% der Gebäude so bald als möglich, d.h. sobald das Netz vorhanden ist, angeschlossen werden möchten, währenddem 60% in Zusammenhang mit grösseren Reparaturen oder Umbauten oder einfach in den nächsten 5 bis 10 Jahren anschliessen würden. Für den Rest liegen keine konkreten Hinweise über Anschlussaussichten vor. Bild 2 zeigt die Entwicklung des Wärmeleistungsbedarfs unter Berücksichtigung der angenommenen Einsparquoten bis zum Jahr 2000. In Bild 3 ist der zeitliche Anstieg des Wärmebedarfs bis zum 80prozentigen Anschlussgrad im Jahr 2000 unter Berücksichtigung der Sparmassnahmen und der temporär belegten Wohnungen dargestellt.

Bei den Berechnungen des jährlichen Wärmeverbrauchs müssen im Fall von Sent die Einflüsse der *temporär belegten Wohnungen* überlagert werden. Heute sind 43% der Wohnungen nur temporär belegt, der entsprechende Geschossflächenanteil liegt bei etwa 40%. Die Belegung der Ferienwohnungen schwankt stark. Mit der Ausweitung des Heizkomforts wird der mittlere jährliche Wärmeverbrauch einer temporär belegten Wohnung von heute etwa 25% auf etwa 50% einer ganzjährig belegten Wohnung anwachsen. Mit Hilfe der *Klimadaten von Scuol* des Jahres 1969 wurde der Verlauf des Wärmebedarfs errechnet, und zwar für einen Wärmeleistungsbedarf von 2 Gcal/h, und unter Berücksichtigung der saisonalen Belegungsunterschiede (Bild 4).

Wärmeverteilung

Im Blick auf den kommunalen Charakter der gemeinschaftlichen Heizanlage wurde möglichst das ganze Siedlungsgebiet mit dem Netz erfasst (Bild 5).

Das Netz wird aus topographischen Gründen in eine *untere und eine obere Druckzone* aufgeteilt. Auf der Suche nach einer Verteilung mit möglichst kleinen Netzverlusten, auf möglichst tiefem Temperaturniveau und nach einer möglichst einfachen Wärmeübergabe wurden sehr umfangreiche Untersuchungen möglicher Netzsysteme gemacht. Sie führten zu einer *4-Rohr-Fernwärmeleitung*, wo *Heiz- und Brauchwasser getrennt, je mit Vor- und Rücklauf*, geführt werden.

Die Zahlen in Tabelle 2 zeigen den Vergleich der erforderlichen jährlichen Mittel der Netztemperaturen zwischen den konventionellen und den hier vorgeschlagenen und untersuchten Systemen IV und V.

In Bild 7 sind die jährlichen Netzverluste der untersuchten Systeme miteinander verglichen. Die jährlichen Mehrverluste des Systems O, verglichen mit dem System V, betragen 420 Gcal, was multipliziert mit einem entsprechenden Wärmepreis und kapitalisiert mit 7% eine Investition von Fr. 720000.– rechtfertigen würde.

Das gewählte *4-Leiter-System* erlaubt eine *Beschränkung der gebäudeinternen Steuerung auf thermostatische Ventile an den Radiatoren*, einen *Verzicht auf die Warmwasseraufbereitungsanlage*, die *Wärmemessung mit nur zwei Wasseruhren* durchzuführen und auf *elektrische Uminstallationen*, wie auch in den meisten Fällen auf eine Umwälzpumpe zu verzichten. Ein Vergleich mit dem in der Grundlagestudie («Gemeinschaftliche Heizanlagen in Berggemeinden», Nov. 1976) für die Hausstationen vorgesehenen Betrag zeigt, dass deren Elimination als wesentlicher Punkt des ganzen Systems zu betrachten ist. Erfahrungen mit dem gewählten unkonventionellen Netzsystem sind in *Skandinavien* gemacht worden. Ausserdem sind in Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit Tests durchgeführt worden.

Von gesamthaft *zehn Bauetappen* betreffen fünf den Netzausbau. Die Stranglänge bei einem Anschlussgrad von 80% beträgt am Ende 4497 m mit einem Wasservolumen von 99191 l für die Heizung bzw. 4497 m und 6749 l Wasservolumen für die Warmwasserversorgung.

Für den Wasserdurchsatz sorgen *Zirkulationspumpen*, die so gewählt werden, dass sie bei minimalem Kraftaufwand und minimalen Investitionen die gewünschte Wassermenge mit dem zugehörigen Druckgefälle liefern. Die *Lösung für die Heizkreisläufe* sieht zwei Phasen vor:

1. Den vorläufigen Einbau einer kleinen Zwillingspumpe für jede Druckzone.
2. Nach einigen Jahren Betriebszeit Ersetzen der kleinen durch grössere Zwillingspumpen.

Wärmeübergabe, Hausstation, Verteilung im Gebäude

Die Niedertemperaturstrategie und die Temperaturspreizungsbestrebungen werden im Gebäude konsequent angewendet. Die Übergabe und Messung vom Warm- und Heizungswasser erfolgen getrennt und direkt.

Die Darstellung der Heizwasserübergabe (Bild 8) zeigt, dass sie im wesentlichen aus einem Differenzdruckregler besteht, der das vorhandene Druckgefälle zwischen Vor- und Rücklauf im

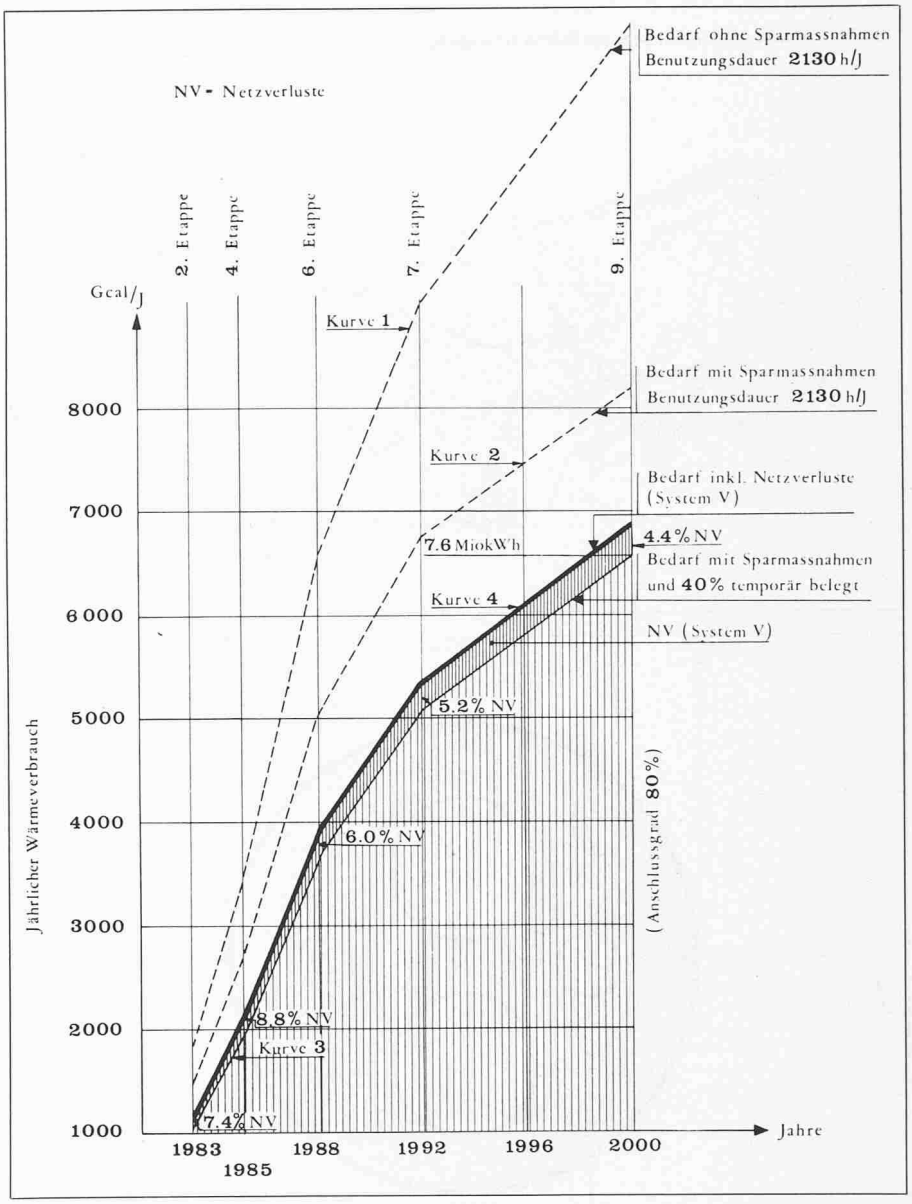


Bild 3. Jährlicher Wärmebedarf (Klimadaten von Scuol, langjährige Mittel)

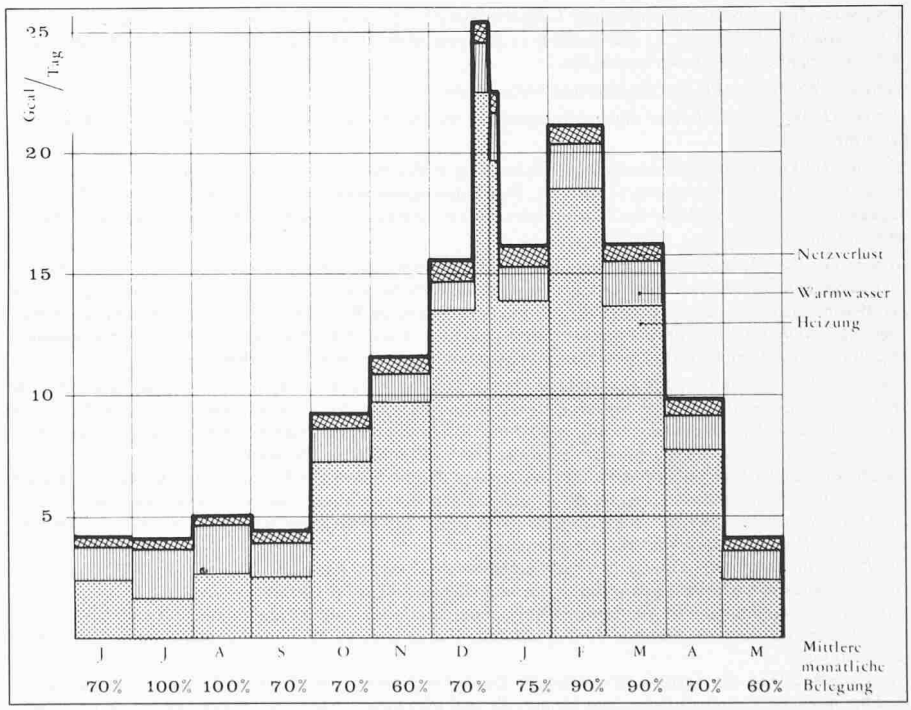
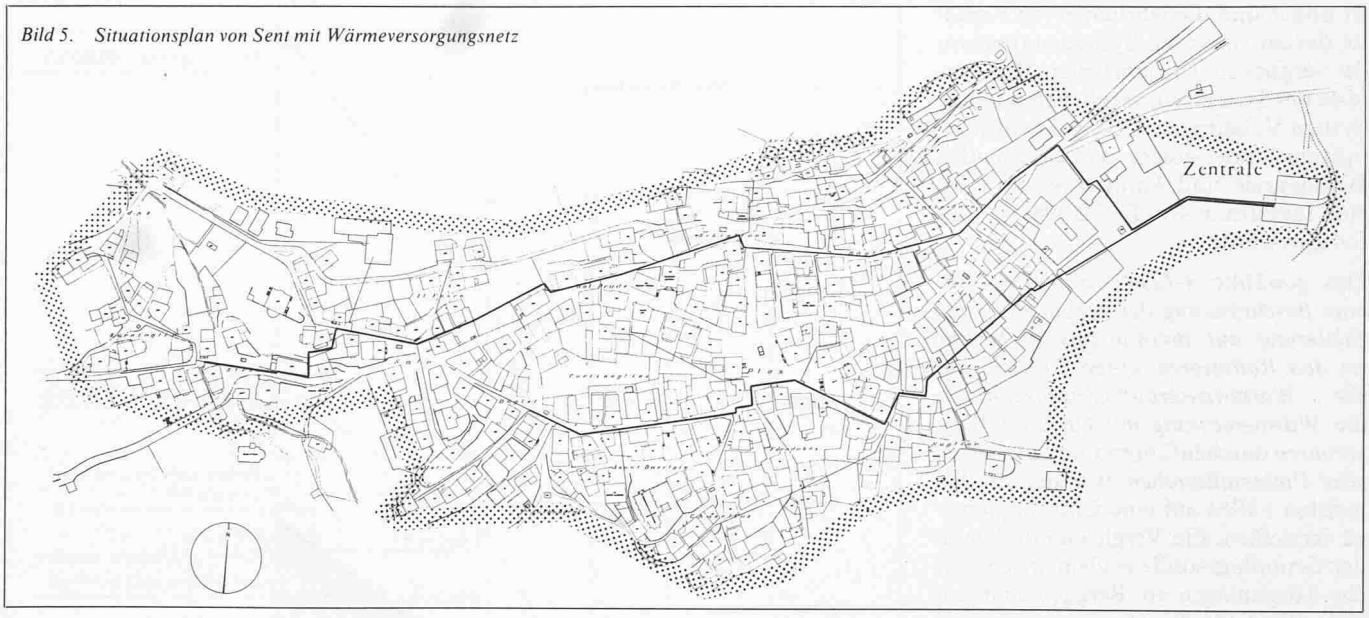


Bild 4. Wärmebedarf 1969 (Klimadaten von Scuol).
Wärmebedarf bei 100 prozentiger Belegung ohne Warmwasser und Netzverluste 2,0 Gcal/h (2,32 MW). Anschluss von 223 Wohnungen, Warmwasser-Bedarf 150 l/Tag und Wohnung. Netzverlust gemäss System V

Bild 5. Situationsplan von Sent mit Wärmeversorgungsnetz



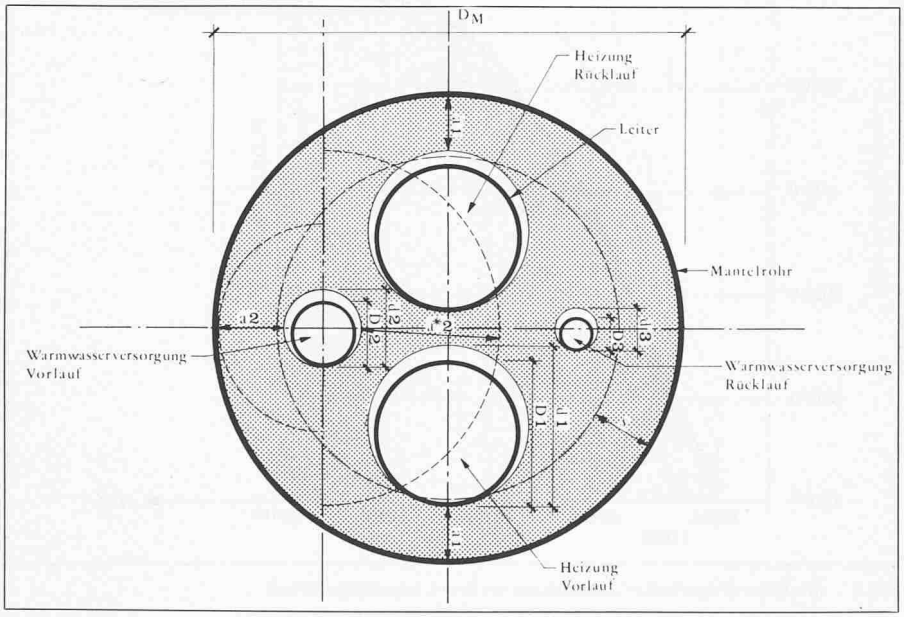


Bild 6. Schnitt durch 4-Rohr-Fernwärmeleitung der Systeme IV und V.

System O: Zweirohr-Fernwärmeleitung; Temperaturspreizung 130°/70 °C; Max. Vorlauftemperatur 130 °C; Min. Vorlauftemperatur 65 °C; Handelsübliche Rohrisolation; Direkte Heizwasserübergabe; Warmwasseraufbereitung über Austauscher und Boiler.

System I: Wie System O, aber zusätzliche Rohrisolation.

System II: Wie System I, aber Temperaturspreizung 90°/60 °C; Max. Vorlauftemperatur 90 °C; Min. Vorlauftemperatur 60 °C.

System III: Vier-Rohr-Fernwärmeleitung, davon zwei Rohre für Heizwasserverteilung 90°/60 °C und zwei Rohre für getrennte Warmwasserversorgung. Das Warmwasser wird direkt (also ohne Austausch-Vorgang) abgegeben. Vor- und Rücklauf der Warmwasserversorgung sind in einem Mantelrohr untergebracht. Warmwasserleitungen in Kupfer.

System IV: Vier-Rohr-Fernwärmeleitung wie System III, aber alle vier Leiter (gebündelt) in einem Mantelrohr untergebracht. Die zusammengeschweissten Stahlrohre für die Heizung und die gelöteten Kupferrohre der Warmwasserversorung werden in die vorgängig verlegten, im Werk ausgeschäumten Mantelrohre eingezogen. Es handelt sich also um die bekannte Verlegetechnik, wie sie beim Telefonnetz, beim Stromversogungsnetz usw. angewendet wird. Das System wird in Skandinavien heute mit Erfolg eingesetzt.

System V: Wie System IV, aber Verwendung von flexiblen Leitern «ab der Rolle», wobei grössere Kaliber als Wellrohr aus Edelstahl, kleinere aus vernetztem Polyäthylen eingesetzt werden sollen. Das System V sieht im Gegensatz zu System IV ein starres Mantelrohr aus Asbestzement und grössere Isolierstärken vor. Das Verfahren eröffnet gegenüber den herkömmlichen Verfahren folgende neue Perspektiven:
Die Anzahl heikler Rohrverbindungen (Schweissen und Ausschäumen der Stösse auf der Baustelle) reduziert sich. Nur Verzweigungen und Abgänge für Hausanschlüsse müssen auf der Baustelle erstellt werden.
Die Grabarbeiten können rasch abgeschlossen werden. Nur bei Abzweigungen muss der Graben für den Einzug und die Dichtigkeitsprüfung offengehalten werden.
Der Platzbedarf und somit die erforderliche Grabenbreite reduzieren sich.
Die Leiter können nachträglich ohne durchgehendes Öffnen des Grabens ersetzt werden.
Aufwendige Einrichtungen für die Betriebsüberwachung (Leckagen) sind nicht erfordelich. Im Hohlraum zwischen Leiter und Isolationsmaterial werden allfällige Wasseraustritte an Konrollstellen sichtbar (z. B. Übergabestationen).
Die Längskräfte in den Leitern, hervorgerufen durch Temperaturschwankungen (Temperaturspannungen), sind bei flexiblen Rohren entscheidend kleiner. Es sind also keine Dehnungs-Vorkehrungen und keine aufwendigen Festpunkte erforderlich (vergleiche Flexwell Fernheizleitungen).
Insbesondere bei grösseren Dimensionen können unter Umständen im gleichen Mantelrohr weitere Kanäle zum Einzug von Kabeln usw. vorgesehen werden.

Netz auf die erforderliche Grösse reduziert und dadurch den gewünschten konstanten Durchfluss im Gebäude bestimmt. Bestehende Kesselanlagen werden hinter dem Mischventil und der Pumpe angeschlossen, völlig ausser Betrieb gesetzt und stromunabhängig gemacht.

Der Wärmeverbrauch für die Raumheizung wird mit einem Warmwasserzähler ermittelt. Saisonal verschiedene Tarife sorgen für eine gerechte, dem Temperaturniveau und der gelieferten Wärme angepassten Abgeltung. Die Warmwasserübergabe erfolgt gemäss Bild 9.

Wärmeerzeugung

Hier geht es darum, die fossilen Brennstoffe möglichst auszuschalten, und die einheimischen Ressourcen bei einer gewissen Zurückhaltung mit dem Verbrauch eigener produzierter hochwertiger hydroelektrischer Energie, bestmöglichst einzusetzen. Eine Maximierung der Nutzenergie erfordert erhöhte Ansprüche der Technik und führt daher wie im vorliegenden Fall zur zentralen Wärmeerzeugungsanlage mit entsprechendem Verteilnetz. Für die Grundlastdeckung wird das Energieholz in der kommunalen Anlage über die *Wärme-Kraft-Kopplung* eingesetzt, d..h. es wird *vergast* und mit anschliessender *Gasverbrennung im Gas-Otto-Motor* unter Nutzung aller Abwärmen aus der Holzgas-, Zylinderkopf- und Abgas-Kühlung zum Wärmepumpenantrieb genutzt (Bild 10).

Der Standort der Wärmezentrale hat gegenüber der Grundlagestudie keine Änderung erfahren. Der Ausbau erfolgt in mehreren Etappen und umfasst die Grunderschliessung mit Zufahrt, Wasserversorgung, Kanalisation, Stromversorgung sowie die Gebäulichkeiten selbst, deren Dächer als Verdampfer/Absorberelemente ausgebildet werden, und Lager, Betriebseinrichtungen und Jauchespeicher umfassen. (Bild 11).

In bezug auf die Betriebseinrichtungen stellt die 1. Etappe mit dem anschliessenden Betrieb die Ausdehnung und Weiterführung der eingeleiteten Versuche der Holzgas-Wärmekraftkopplung dar. So läuft die Anlage bis zum Abschluss der 2. Etappe (Netzbau) als reine Versuchsanlage. Sie ist aber von allem Anfang an so konzipiert, dass sie später als Warmwasseraufbereitungsanlage verwendet werden kann. Bis zum Weiterausbau in der 3. Etappe umfasst die Anlage folgende Hauptbestandteile:

- ein Holzgasgenerator, Leistung 200000 kcal/h,
- ein Holzgasmotor, Leistung etwa 50 kW,

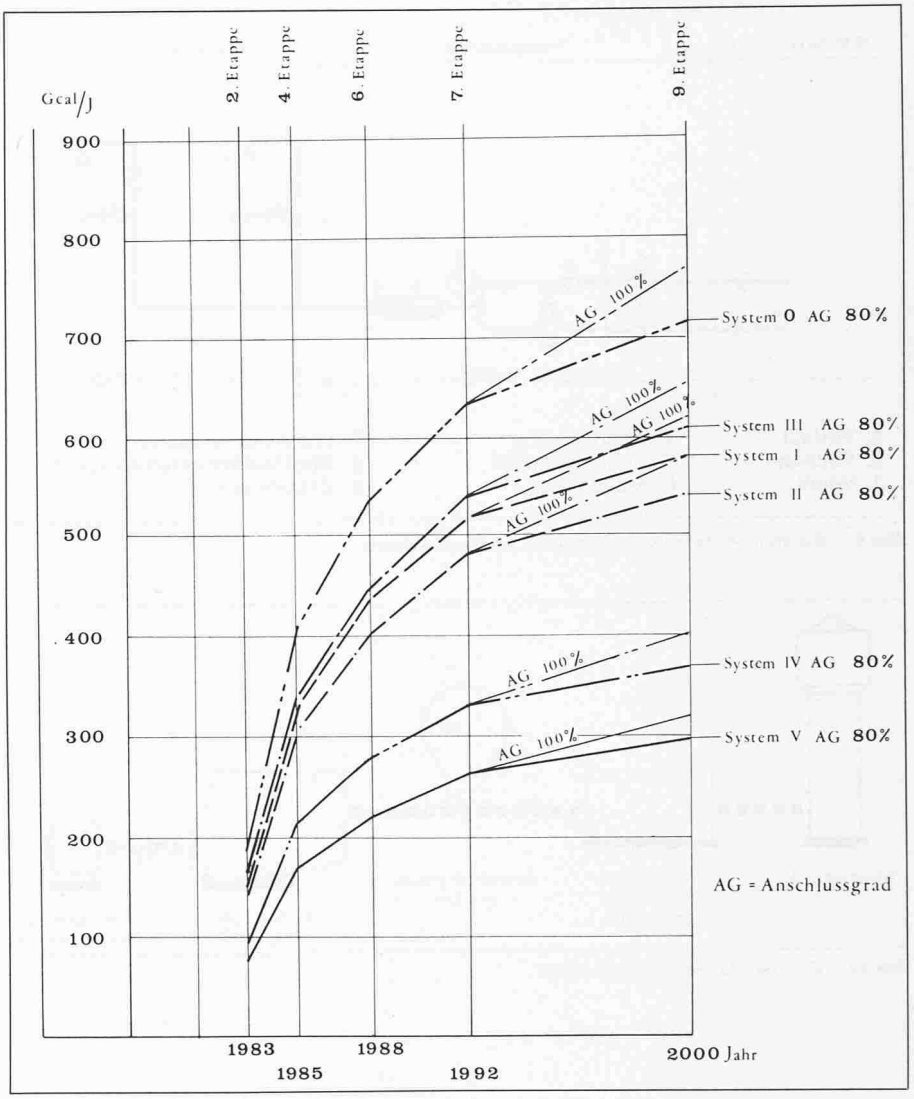


Bild 7. Netzverluste

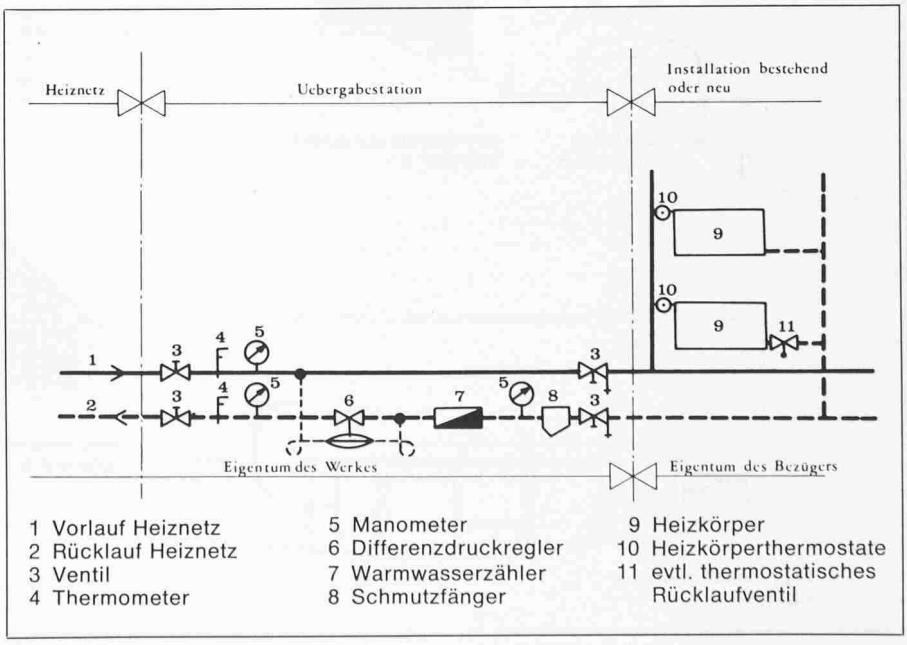


Bild 8. Hausanschluss Heizung, Hausinstallation neu

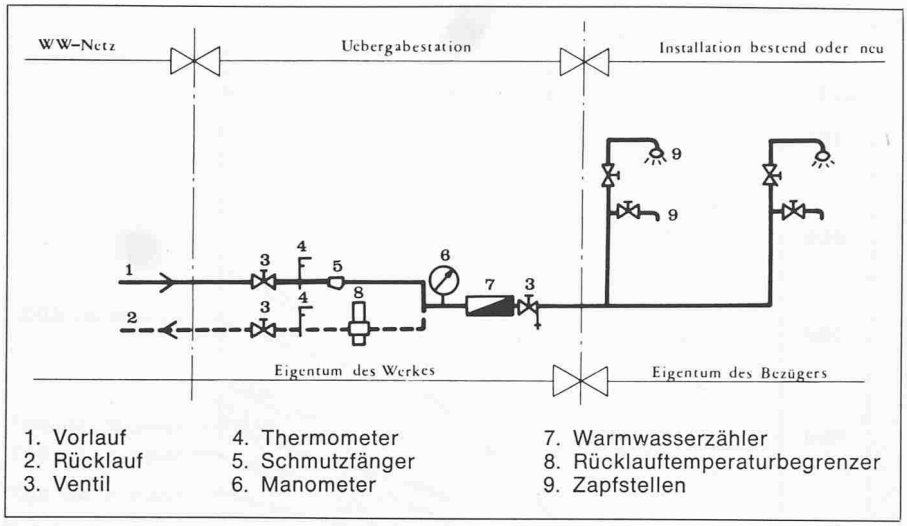


Bild 9. Warmwasserübergabe, keine gebäudeinterne Zirkulation

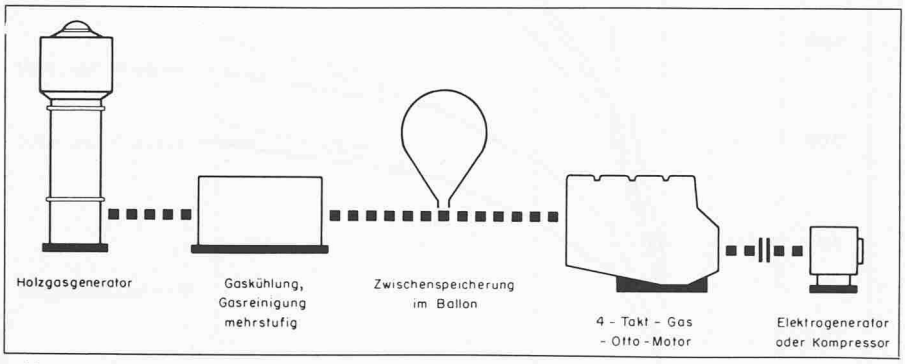


Bild 10. Zentrale Wärmeerzeugungsanlage

- Wärmepumpeneinheit, Heizleistung inkl. Nachkühler 90000 kcal/h, (Verdampfung −10 °C; Kondensation +60 °C),
- Verdampferfläche Kollektor-Luftwärmetauscher-Elemente, (KL-Elemente) etwa 150 m²,
- Wasserspeicher 40 m³.

Die nächste Ausbauphase (3. Etappe) umfasst im wesentlichen die Vergrösserung der Wärmeerzeugungseinheiten samt Holzlager. Die Nennleistung liegt sodann gesamhaft bei 1,5 MW bzw. bei 2,2 MW unter wärmepumpengerechten Bedingungen.

Die *Hauptbetriebseinrichtungen* werden im wesentlichen sein:

- ein Holzgasgenerator,
- zwei Holzgasmotoren,
- zwei Wärmepumpeneinheiten,
- Erweiterung der Verdampferfläche,
- ein Holzgaskessel mit einem Holzgasbrenner,
- ein Spältekessel.

In der 5. Etappe wird die Leistung der Zentrale mit einem weiteren Holzgasgenerator und einem entsprechenden Holzgaskessel weiter auf etwa 3,8 MW erhöht. Die Realisierung der Biogasanlage kann bereits in dieser Etappe ins Auge gefasst werden.

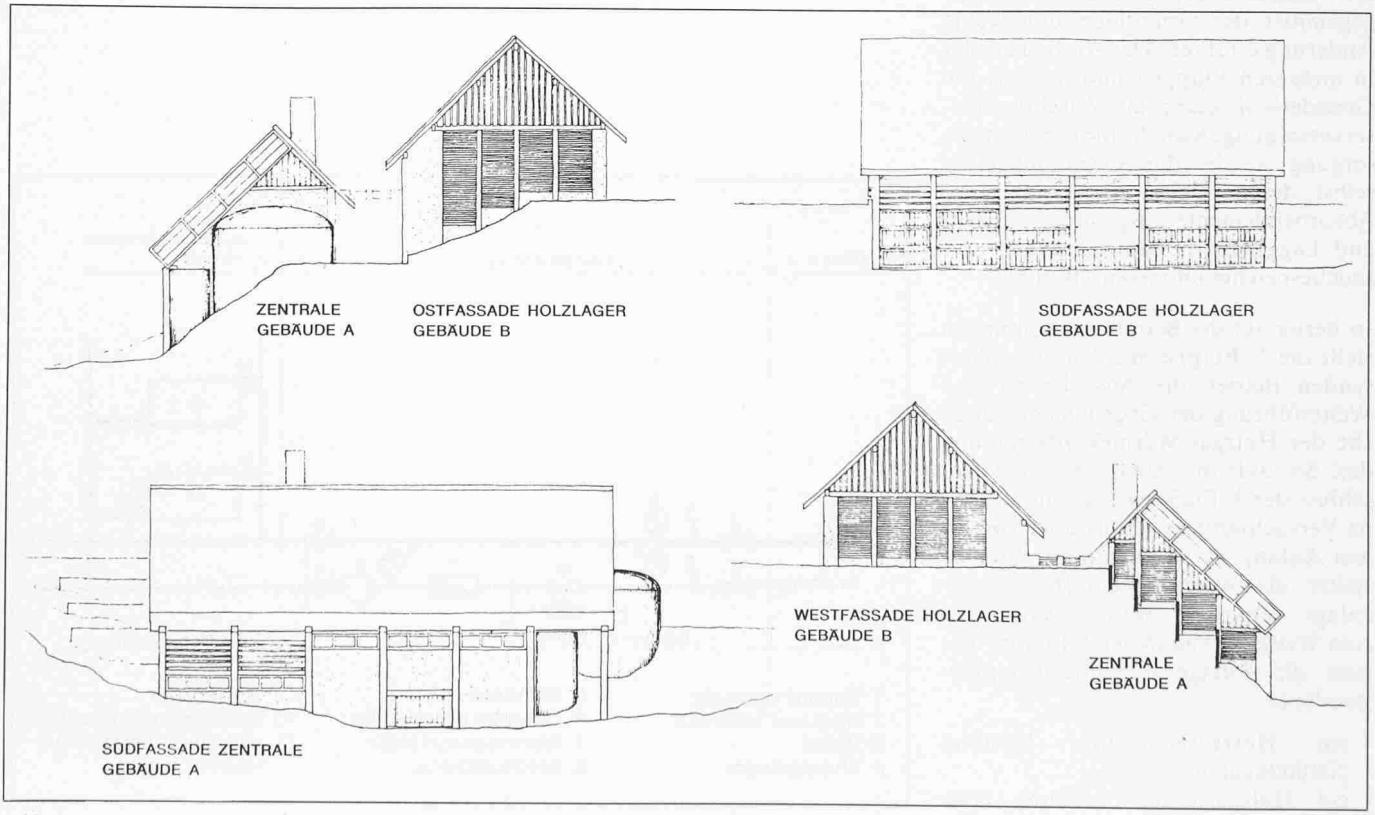


Bild 11. Gebäudefassaden

Die Etappe 8 bringt die Wärmeerzeugungsanlage auf den endgültigen Ausbaustand.

Wärmepumpenanlage

Allgemein wird die Eignung von gasmotor-betriebenen Wärmepumpen in Fällen von bivalenten kommunalen Wärmeversorgungen bejaht, sofern die Wärmeträgertemperaturen den angestrebten Charakter (ganzjährig gleitender Vorlauf, tiefer Rücklauf usw.) aufweisen, die Nachkühlerwärmen dank der getrennten Brauchwasserversorgung genutzt werden können und die kombinierte Wärmequelle die erhoffte Qualität erreicht.

Die Auswahl von geeigneten Wärmequellen im vorliegenden Fall war klein. Grundwasservorkommen, Oberflächengewässer und Erdreich kamen nicht in Frage. Möglichkeiten bieten sich beim ausserordentlichen grossen *Überlauf der neuen Wasserversorgung*. Mit dem Überlauf stehen täglich 2000 bis 3000 m³ Wasser zur Verfügung, die ohne Hilfsantriebe als Wärmequelle je Kelvin Abkühlung täglich 2 bis 3 Gcal liefern. Die gleichzeitige hydraulische Nutzung dieser Wassermenge wurde im Zusammenhang mit der Wärmeversorgung ebenfalls ins Auge gefasst. Die Nutzung des Überlaufwassers ist in einer späteren Ausbauphase vorgesehen.

Als Wärmequelle im Vordergrund steht die *kombinierte Nutzung der Luft und Sonnenstrahlung* mit *Kollektor-Luftwärmetauscher-Elementen*. Ein Prototyp hat das Versuchsstadium bereits hinter sich und kann befriedigende Resultate vorweisen (Bild 12).

Die Verdampfer sollen, wie erwähnt, als *Direktverdampfer* auf den erforderlichen Dachflächen untergebracht werden. Die Gebäulichkeiten sind gestaffelt am Hang angeordnet und mit einem ausgedehnten, nach Süden ausgerichteten, 45° geneigten Dachflügel versehen. Mit der stündlichen klimatischen und meteorologischen Grundlagen der Station Davos und mit Hilfe eines eigenen Rechenprogramms wurden die zu erwartenden Erträge dieser Wärmequelle zusammen mit den Wärmepumpenerträgen und den Abwärmen berechnet. Das Programm berücksichtigt nur die Tagesstunden, an denen die Strahlung einen Beitrag leistet. Eine teilweise Ausdehnung des Betriebes auf Abend- und Nachtstunden ist durchaus möglich.

Der Gesamtwärmeertrag muss dem Wärmebedarf angepasst werden. Obwohl die vorgesehene Wärmepumpenleistung einen verhältnismässig kleinen Anteil am Wärmeleistungsbedarf ausmacht, kommt es in der Übergangszeit vor, dass die WP-Anlage zu viel Wärme liefern würde. Somit wurde die maximale stündliche WP-Gesamtleistung (inkl. Abwärmen) auf einen Sechstel des Tagesbedarfes bei der jeweiligen Aussenteperatur beschränkt. In der Praxis bedeutet dies, dass gegebenenfalls eine der Maschineneinheiten abgeschaltet werden muss.

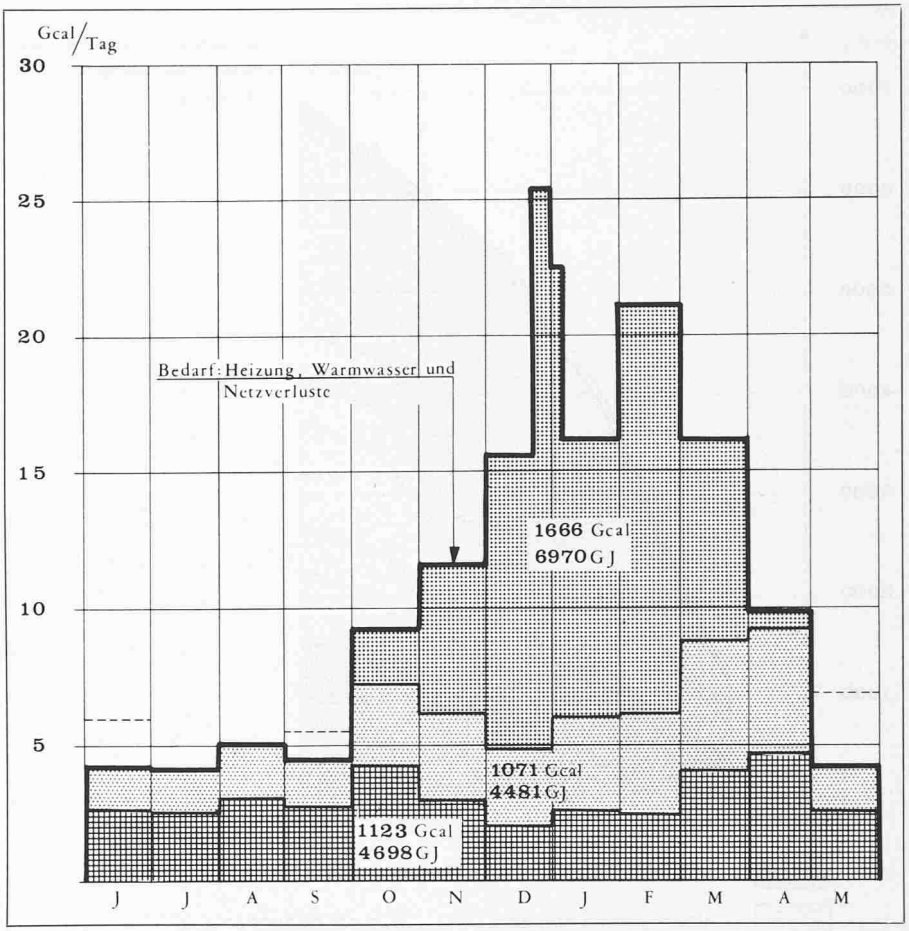


Bild 13 Wärmebilanz. Klimadaten 1969. Anschlussleistung gemäss Bild 4.
Verdampfer- bzw. Kollektorertrag von 429 m² KL-Elemente plus 405 m² K-Elemente (unten)
Erforderliche Nutzenergie inkl. Abwärme für den Wärmepumpenantrieb, mechanische Energie 25%, gesamte Abwärme 60%, Verluste 15% (mitte)
Spitzendeckung (oben)

Holzgas

Die Holzgasproduktion wird mit je einem Holzgasgenerator in der ersten, dritten, fünften und evtl. achten Etappe sichergestellt. Das Gas kann während des Produktionsprozesses je nach Bedarf gereinigt den Gasmotoren oder ungereinigt den Gaskesseln zugeführt werden. Die Beschickung der Holzgasgeneratoren mit *Hackgut* und *Klötzen* geschieht mit einem Landwirtschaftstraktor mit hydraulischem Frontlader über einen Tagestrichter. Bild 13 zeigt den

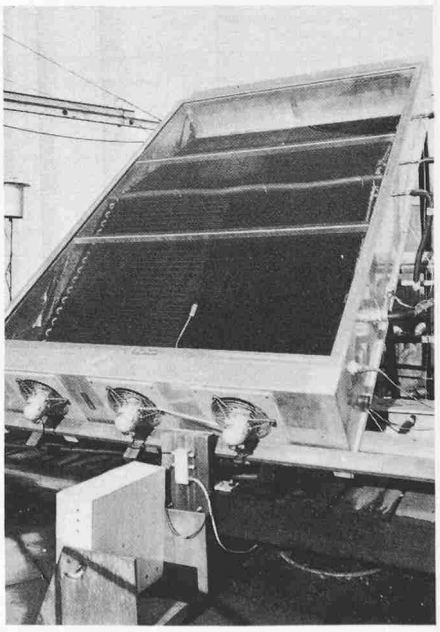


Bild 12. Kollektor-Luftwärmetauscher-Element. Auf dem Prüfstand am Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR) in Würenlingen

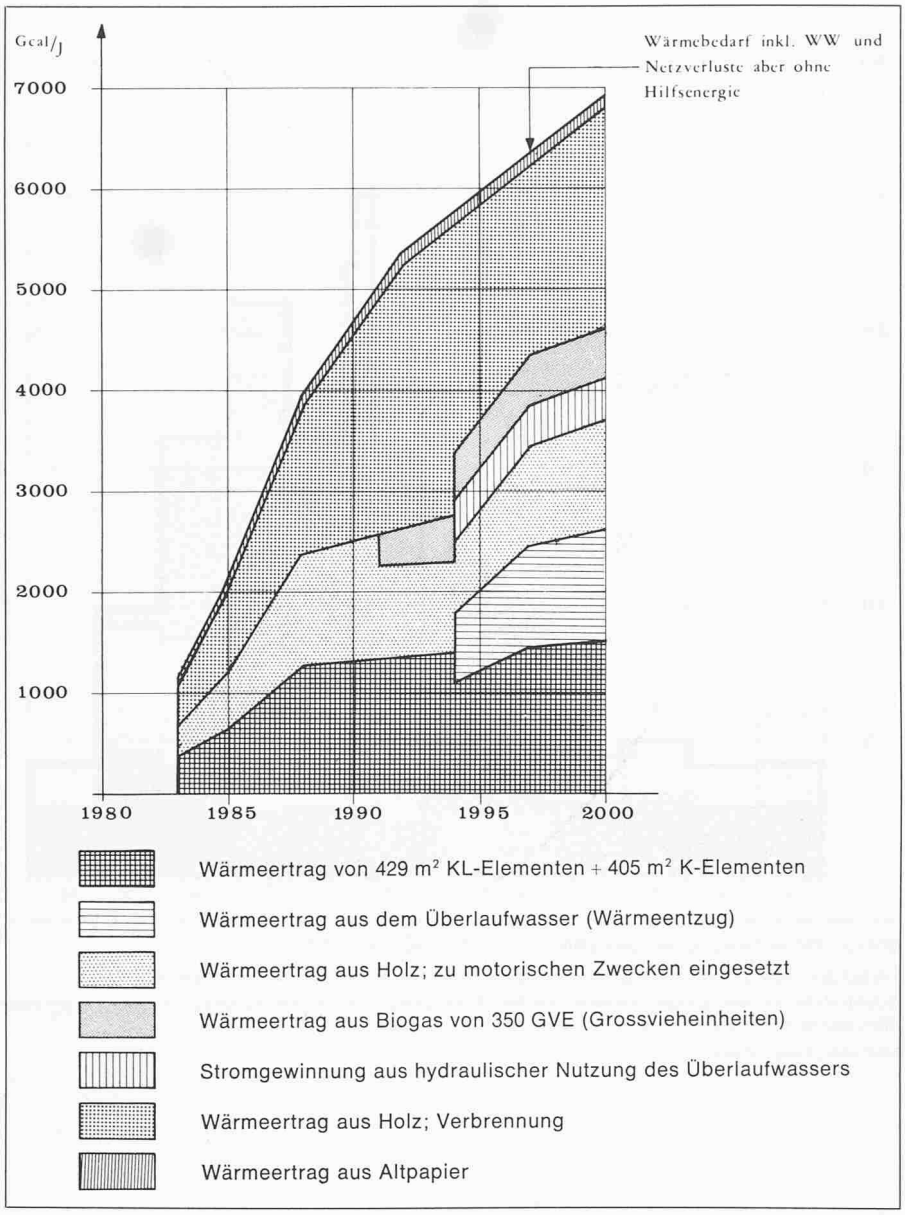


Bild 14. Langjährige Energiebilanz unter Berücksichtigung einschlägiger Energieträger

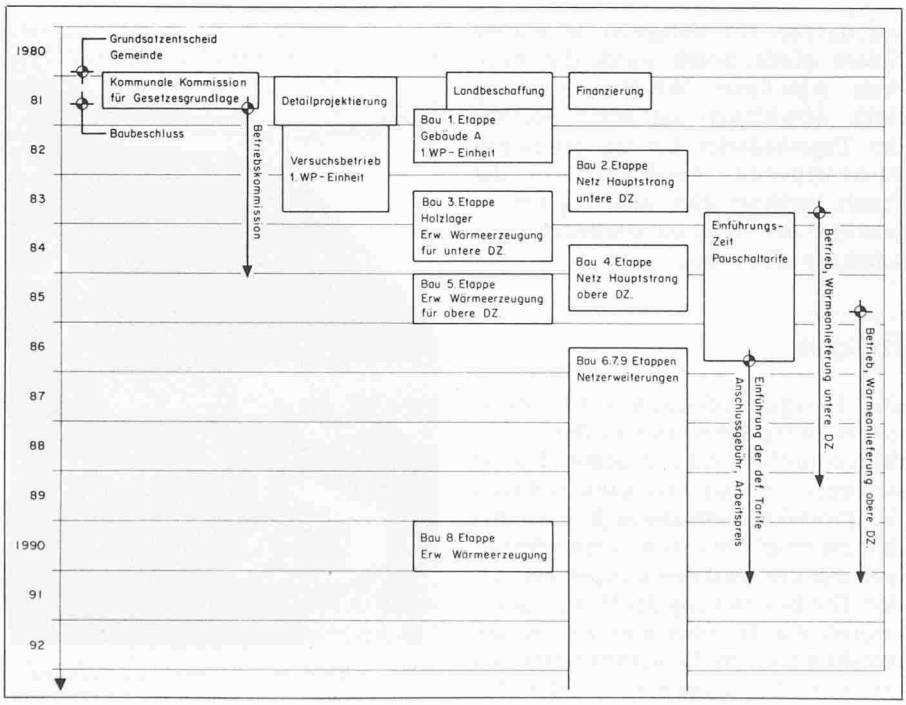


Bild 16. Bauprogramm

Anteil, den die Wärmepumpenerträge am Gesamtbedarf ausmachen.

Spitzendeckung und Reservehaltung

Der Spitzenlastdeckung kommt grosse Bedeutung zu. Sie wird durch holzgasbefeuerte Kessel und Spältekessel sichergestellt. Der letzte bietet nebenbei die wichtige Möglichkeit, Sperrgut, Papier und zum Hacken oder Kappen ungeeignete Brennholzsortimente zu verwerten. Das Werk strebt die Betriebsbereitschaft von möglichst vielen herkömmlichen privaten Holzfeuerungsanlagen an, die so einen ansehnlichen Teil der Reservehaltung übernehmen.

Biogasanlage

Hier fallen das Bedürfnis für eine Jauchebeseitigung und die energetischen Nutzungsmöglichkeiten zusammen, so dass sich der Bau einer Biogasgewinnungsanlage in der 5. oder 8. Etappe rechtfertigt. Langfristig wird mit etwa 350 angeschlossenen GVE gerechnet.
Die Frischgülle wird in einer Vorgrube gesammelt, gestapelt und dann dem Gärbehälter zugeführt. Das Betriebsergebnis ist in Tabelle 3 dargestellt.

Die Integration in die gesamte Wärmeerzeugung erlaubt die Beheizung des Fermenters mit dem Heiznetzrücklauf, wodurch die Ausbeute verbessert werden kann.

Energiebilanz

Die langjährige Energiebilanz ist aus Bild 14 ersichtlich. Die zum Einsatz vorgesehenen Energieträger sind in bezug auf Menge und Nachhaltigkeit in der Gemeinde selbst verfügbar.

Energieholz

Das Energieholz hat gemäss Bilanz entscheidenden Stellenwert. Die Waldbestände sind erfasst und eingerichtet. Die Simulation der vorgesehenen Holznutzung in die weitere Zukunft zeigte waldbaulich zielgerechte Reaktionen. Das nachhaltige Energieholzpotential wurde gemäss Flussdiagramm (Bild 15) erhoben. Aufgrund der prozentualen Anteile ergeben sich die in Tabelle 4 aufgeführten Energieholzmengen.

Die vorausichtlichen Bedarfsspitzen benötigen etwas mehr als 2000 m³ Energieholz, so dass die fehlende Menge mit Rücknahmezusicherungen für Abfälle von Senter Holz von holzverarbeitenden Betrieben der näheren Umgebung wettgemacht werden muss. Die Beschaffung des Energieholzes muss *mit der Nutzholzernte* gekoppelt werden. Die mittleren Kosten für die Energieholzsortimente betragen daher für den Durchschnitt der Sortimente Fr. 55.50 je m³ fest.

Negative ökologische Auswirkungen einer erhöhten Energieholznutzung sind nicht zu erwarten. Die betrieblichen Voraussetzungen für die Bewältigung der Energieholzbeschaffung sind vorhanden und die arbeitsmarktmässigen Auswirkungen regionalwirtschaftlich durchaus erfreulich.

Realisierung

Das Bauprogramm ist in Bild 16 aufgeführt. Als *Trägerschaft* kommt vermutlich eine *öffentlich-rechtliche kommunale Anstalt* in Frage.

Die *Wärmelieferungsbedingungen* sollen sich folgenden Zielsetzungen anpassen:

- rasche Anschlussentwicklung,
- Beschränkung des beheizten Raumes,
- sparsamer Wärmeverbrauch,
- Erhöhung der Temperaturspreizung des Wärmeträgers,
- Berücksichtigung der saisonal unterschiedlichen Energieverfügbarkeit,
- mittelfristiges Erhalten der funktionstüchtigen privaten Ölfeuerungsanlagen
- langfristiges Beibehalten von funktionstüchtigen privaten Holzöfen.

Die Leistungen des Werks sollen mit einer einmaligen Anschlussgebühr (Leistungspreis) und einem Arbeitspreis (Wärmepreis) entschädigt werden.

Als integrales Wärmeversorgungsprojekt umfasst es auch Massnahmen zur Reduktion der Wärmeverluste. Eine Einflussnahme des «Werks» auf die Wärmebezüger durch Beratung und finanzielle Förderung in bescheidenem Rahmen ist in folgenden Punkten vorgesehen:

- Anordnung und Umfang des beheizten Volumens,
- Wärmeisolation der Aussenhülle,
- Zustand der Fenster und Türen,
- dauernde Kontrolle der Raumtemperaturen,
- Isolation der Leitungen im Gebäude.

Die *Anlagekosten* gemäss Kostenvoranschlag und die *jährlichen Beriebskosten* enthalten die Bilder 17 und 18.

Der *Vergleich mit den Einzelheizungen* ergibt folgende Hauptergebnisse:

Tabelle 3. Erwartete Betriebsergebnisse der Biogasanlage (Vollgülle, Mist). d = täglich

	Strom/Wärme-Kopplung			Gas-Heizkessel	
	Elektrisch Erzeugung kWh/d	Netto-Wärme MJ/d	Öläquivalente kg/d	Brutto-Wärme MJ/d	Netto-Wärme MJ/d
Januar	866	6720	214	10340	7860
Februar	866	6770	216	10340	7900
März	866	6940	221	10340	8080
April	866	7130	227	10340	8260
Mai	771	6730	214	9210	7740
Juni	372	3290	105	4440	3780
Juli	—	300	10	—	300
August	—	310	10	—	310
September	372	3260	104	4440	3750
Oktober	771	6620	210	9210	7630
November	866	6960	222	10340	8100
Dezember	866	6780	216	10340	7920

Tabelle 4. Prozentualer Anteil der Energieholzmengen

Anteile	*in % des Hiebsatzes*	*m³*
Abfälle holzverarbeitender Betriebe	00,00%	0
Abfälle Sägereien der Region	10,37%	etwa 480
Rinde aus Stamm- und Industrieholz	04,83%	etwa 220
Herkömmliches Brennholz	14,56%	etwa 680
Astholz	10,80%	etwa 500
Gesamthaft	40,56%	1880

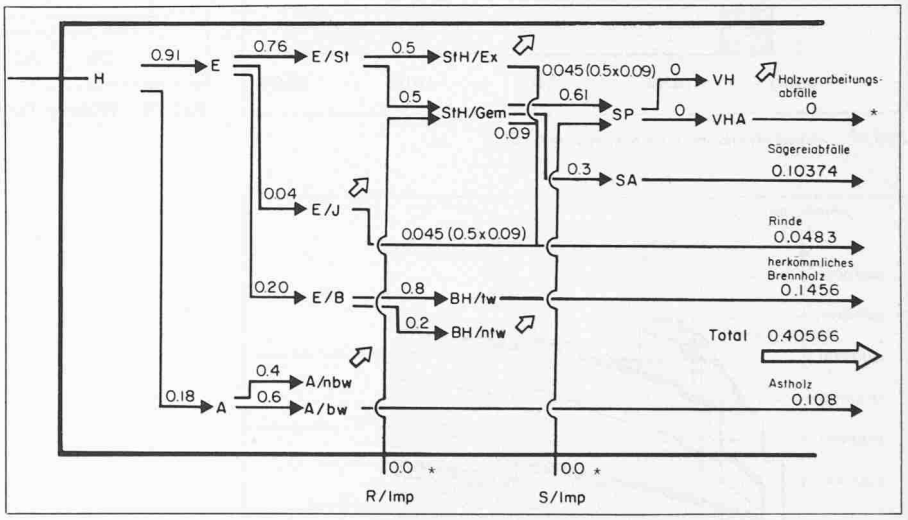


Bild 15. Flussdiagramm der Energieholzanteile als Funktion des Hiebsatzes und der Importe der Gebietseinheit

H Hiebsatz: Vorgesehene nachhaltige Nutzung der eingerichteten Waldungen inkl. die gutachtlich angenommene Nutzung von nicht eingerichteten kleinen Waldungen und Feldgehölzen. Stehendmass Tfm transormiert in m³

E Holzernte: Liegende Holzernte im Wald. Schaftholz in Rinde ohne Äste bis zum Durchmesser von etwa 10 bis 12 cm Liegendmass m³.

A Astmaterial inkl. Doldenstück: ab Zopfende soweit es nicht dem herkömmlichen Brennholzsortiment zugeordnet werden muss, inklusiv transportresistenter Reisiganteil. Umgerechnet in feste Masse als Prozente des Stehendmasses m³.

E/ST Stammholzernte: Ernte in Form von Stammholz in Rinde in m³.

E/I Industrieholzernte: Ernte in Form von Industrieholz in Rinde in m³.

E/B Brennholzernte: Ernte in Form herkommlichen Brennholzes aus dem Stammaterial und Ästen von mehr als 12 cm Durchmesser, in m³.

A/bw Bringungswürdiges Astholz: Astholz, welches aufgrund des Vergleichs von Brennwert und Bringungskosten als bringunswürdig erscheint. Umgerechnet in feste Masse m³.

A/nbw Nicht-bringungswürdiges Astholz: sinngemäss A/bw.

StH/Ex Exportstammholz: Aus der Gemeinde exportiertes Stammholz in Rinde m³.

StH/G Sagholz aus Gemeinde: für eigene Sägerei; in Rinde m³.

R/Imp Rundholzimporte in Gemeinde: für Sägerei; in Rinde m³.

S/Imp Sägereiprodukteimport in Gemeinde. Feste Masse m³.

BH/tw Transportwürdiges Brennholz: sinngemäss A/bw.

BH/ntw Nicht-transportwürdiges Brennholz: sinngemäss A/bw.

SP Sägereiprodukte: zur Weiterverarbeitung oder direkten Verwendung. Feste Masse m³.

SA Sägereiabfälle: hauptsächlich Sägemehl, Schwarten und Spreisel. Rinde soweit unter StH/G als unentrindet angenommen. Feste Masse m³.

VH Verarbeitetes Holz: als Konstruktions- und Bauholz oder für Verpackungen, Möbel, Werkzeuge

VHA Abfälle des verarbeiteten Holzes der Holzverarbeitungsbetriebe: hauptsächlich Sägemehl, Späne, kleine Holzteile.

Fällt als Energieholz ausser Betracht.

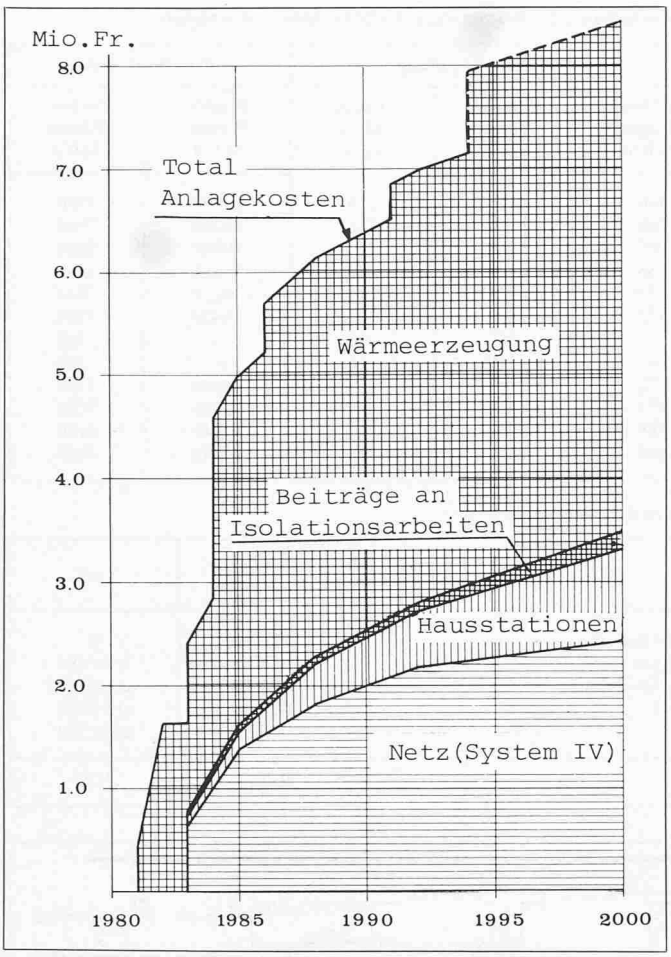


Bild 17. Anlagekosten gemäss Kostenvoranschlag

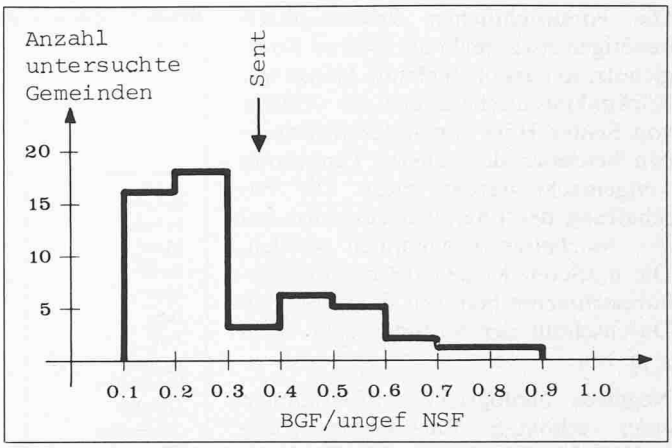


Bild 19. Häufigkeitsverteilung der Verhältniszahl Bruttogeschossfläche der untersuchten Gemeinden

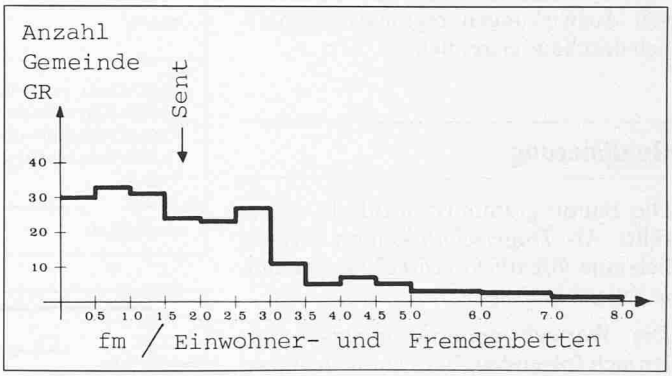


Bild 20. Hiebsatz-Festmeter je Einwohner- und Fremdenbett 1978

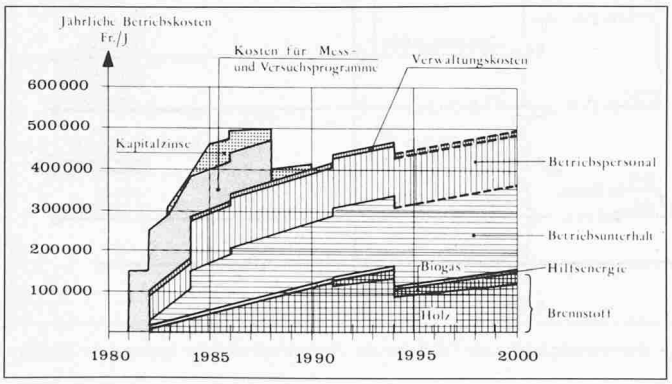


Bild 18. Jährliche Betriebskosten

- Langfristig fällt der Vergleich eindeutig zugunsten der kommunalen Wärmeversorgung aus.
  Im Jahr 1988 versorgt die Einzelgebäudeheizung bei den getroffenen Annahmen 35% teurer, im Jahr 2000 74% teurer.
- Der Ölpreis ist ausschlaggebend für die Wärmegestehungskosten der Einzelgebäudeheizung.
- Der an sich relativ stabile Holzpreis beeinflusst nur unwesentlich die Wärmegestehungskosten der kommunalen Anlage.
- Der Vergleich wird problematisch, wenn Energieeinsparungen durch Mehrinvestitionen berücksichtigt werden müssen. Die Zusammenhänge sind heute weitgehend unbekannt.
- Erst anhand eines realisierten Pilotprojektes kann zuverlässig gesagt werden, mit welchen Wärmegestehungskosten ein Dorf auf diese Art und Weise versorgt werden kann.

Die vollständige oder teilweise Übertragbarkeit des Projekts auf andere Siedlungen dürfte oft möglich sein und hängt sehr stark von den Energieholzvorkommen und von der Dichte der Siedlung (Wirtschaftlichkeit des Fernwärmenetzes) ab.

Die Häufigkeitsverteilung der Kennziffer «Hiebsatz-Festmeter je Einwohner- und Fremdenbett» der Gemeinden des Kantons Graubünden zeigt Bild 19, die Häufigkeitsverteilung der Verhältniszahl Bruttogeschossfläche zu Nettosiedlungsfläche (Dichte) für 52 mit Hilfe von ISOS-Unterlagen untersuchte Schweizer Gemeinden (Bild 20).

* * *

Die Projektierungsarbeiten sind derzeit abgeschlossen und die Bemühungen gelten jetzt der Realisierung. Alle an der Weiterentwicklung dieser Anlage interessierten Firmen, Forschungsbeauftragte und Amtsstellen sind aufgerufen, sich nach Möglichkeit zu beteiligen. Ein Konzept für die Realisierung der ersten Etappe besteht bereits.

Sicher sind die Kernpunkte, wie etwa der optimierte Holzeinsatz über Holzgas, Wärmekraftkopplung, die Wärmequelle Strahlung - Umgebungsluft und das Verteilnetz in derartigen Verhältnissen forschungsbedürftig und forschungswürdig.

Der Beitrag wurde der Schrift «Wärmeversorgung Sent» entnommen, die von der Ingenieurgemeinschaft IGEK in Chur im Juni dieses Jahres im Eigenverlag herausgegeben worden ist.

Adresse der Verfasser: *J. Buchli*, dipl. Ing. ETH/SIA und *J. Studach*, dipl. Ing. ETH/SIA, Ingenieur-Gemeinschaft für Energiehaushalt im kommunalen Bereich (IGEK), Hegisplatz 6, 7000 Chur.