

Transwaal : wirtschaftliche Fernwärme aus dem Kernkraftwerk Beznau

Autor(en): **Schatzmann, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **77 (1986)**

Heft 2

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-904144>

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.

Transwaal – wirtschaftliche Fernwärme aus dem Kernkraftwerk Beznau

G. Schatzmann

Das Projekt Transwaal sieht vor, das Kernkraftwerk Beznau nicht nur als Wärmequelle für Refuna, sondern für weitere Gemeinden bis in die Agglomeration Zürich hinein zu nutzen. Wie die soeben vorgestellte Phase 1 des Vorprojektes zeigt, kann bei einer Anschlussleistung von 485 MW Wärme zu 6,5...8,5 Rp./kWh an die Bezüger abgegeben und dabei der Ölverbrauch um 120 000 t pro Jahr vermindert werden.

Le projet Transwaal prévoit d'utiliser la centrale nucléaire de Beznau comme source d'énergie non seulement pour le Refuna, mais aussi pour d'autres communes et ceci jusqu'à l'agglomération zurichoise. La phase 1 de l'avant-projet présenté ici montre que pour une puissance de raccordement de 485 MW, la chaleur peut être distribuée aux consommateurs à 6,5–8,5 cts/kWh, ce qui permet de diminuer la consommation de mazout de 120 000 t par an.

Adresse des Autors

Giovanni Schatzmann, dipl. Ing. ETH,
Projektleiter Transwaal, Birkenstrasse 11,
8962 Bergdietikon

1. Fernwärme in der Schweiz

Fernwärme ist thermische Nutzenergie, die zentral bereitgestellt und mit Hilfe eines Wärmeträgers und eines Rohrleitungssystems grossräumig verteilt wird. Als Wärmeträger werden meist Wasser oder Wasserdampf verwendet; letzterer oft für Prozesswärme.

Etwas vereinfacht ausgedrückt: Ein Fernwärmesystem ist eine grosse Zentralheizung, die Quartiere, ganze Ortschaften oder Regionen von einer grossen Wärmequelle aus versorgt.

Fernwärme ist in der Schweiz, im Gegensatz zu beispielsweise Deutschland und Skandinavien, noch nicht sehr verbreitet. Der Grund ist darin zu suchen, dass wir bis vor 15 bis 20 Jahren Elektrizität fast ausschliesslich mit Wasserkraft erzeugten. In den meisten Industriestaaten dagegen wird Strom in kohle- oder ölbeheizten thermischen Kraftwerken erzeugt. Die dabei anfallende Abwärme kann zum Teil zu Fernheizzwecken verwendet werden; man spricht dann von Heizkraftwerken. In Dänemark z.B. sind heute 800 000 Wohnungen, d.h. über 40%, an Fernheiznetze angeschlossen. In der Schweiz sind in einigen Städten Fernheizversorgungen in Betrieb. Als Wärmequellen dienen Kehrichtverbrennungsanlagen sowie öl-, kohle- oder gasbeheizte Heizwerke bzw. Heizkraftwerke.

Damit eine Fernwärmerversorgung wirtschaftlich betrieben werden kann, müssen im wesentlichen folgende Voraussetzungen erfüllt sein: günstiger Wärmebezugspreis, rationeller Leitungsbau, genügende Wärmedichte bzw. genügender Anschlussgrad, schneller Ausbau.

Mit dem bereits in der dritten Winterperiode nukleare Fernwärme liefernden System Refuna (Regionale Fernwärme Unteres Aaretal) wird erstmals in Westeuropa nukleare Fern-

wärme für die Raumheizung verteilt. Das sich im Vorstadium befindliche Projekt Transwaal (Transport von Wärme in Aare- und Limmattal) und die Option Zürich (Ausbau von Transwaal bis in die Agglomeration Zürich) kommen bald vor das Volk (Transwaal 1986, Option Zürich 1987).

Als Hauptwärmequelle dienen die zwei Kernkraftwerke Beznau 1 und 2. Jeder Block ist mit je einem Druckwasser-Reaktor von Westinghouse und je zwei Kondensationsturbogruppen von BBC (Brown, Boveri & Cie AG) ausgerüstet. Im Endausbau der drei Projekte werden bei Vollast rund 500 MW thermisch ausgekoppelt, die dadurch bedingte Minderproduktion an elektrischer Leistung wird etwa 70 MW elektrisch betragen. Die heutige elektrische Gesamtleistung beträgt 720 MW. Der Beitrag für eine saubere Umwelt ist sehr gross, werden doch in den neunziger Jahren jährlich 210 000 t Öl substituiert.

Da in der Schweiz die Fernwärme noch relativ wenig bekannt ist, muss für die politische Entscheidungsfindung viel Zeit investiert werden.

2. Das Projekt Transwaal und die Option Zürich

Im April 1978, also vor beinahe acht Jahren, stellte ein Konsortium, bestehend aus Vertretern von Baden, Wettingen sowie den Firmen BBC, Kabelwerke Brugg, Sulzer Winterthur, als Resultat einer mehrjährigen Arbeit der Öffentlichkeit die Projektstudie Transwaal vor:

Fernwärmerversorgung auf vorwiegend nuklearer Basis des aargauischen Aare- und Limmattales sowie Teile des zürcherischen Limmattales.

Die Studie kam zum Schluss, dass ein solches Projekt unter gewissen Prämissen sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar sei.

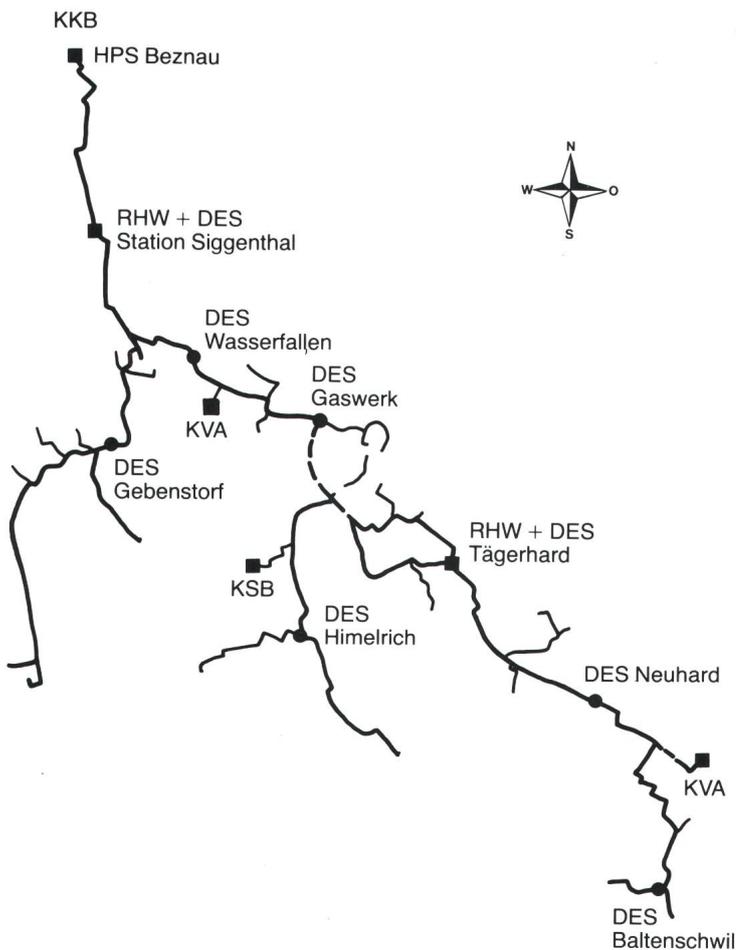


Fig. 1
Situationsplan des
Projektes Transwaal

In der Folge wurden im wesentlichen drei Aktivitäten ausgelöst:

- Die Planungsgruppe Region Baden-Wettingen gab ein Konzept für eine Wärmeversorgung in Auftrag: WAL = Wärmeversorgung Aare-Limmattal.
- Drei weitere Gemeinden unterhalb des Kernkraftwerkes Beznau zeigten sich am Projekt Transwaal auch interessiert.
- Das Eidgenössische Institut für Reaktorforschung (EIR) hat eine Studie für eine regionale FW-Versorgung für das untere Aaretal erarbeitet und gab ihr den Namen Refuna.

In der Folge gingen die Arbeiten an Transwaal und Refuna auf zwei Kanälen weiter (siehe auch S. 70ff. in diesem Bulletin).

3. Das technische Konzept Transwaal

Aus den beiden Kernkraftwerken Beznau 1 und 2 (KKB) wird durch Anzapfung von Dampf im bestehenden Sekundärkreislauf mittels acht zwei-

stufigen Heizern (Wärmetauschern) Wärme ausgekoppelt und auf das Heizwasser des Fernwärmesystems übertragen (Vorlauftemperatur etwa 120 °C, Rücklauftemperatur 50 °C; Druck im Primärsystem 25 bar). Bei sehr kalter Witterung wird die Vorlauftemperatur mit einem Spitzenheizwerk auf die Auslegungstemperatur von 130 °C gebracht.

Die sogenannte Primärschiene besteht aus einem Hauptast von Beznau nach Dietikon und aus zwei Nebenästen: Turgi-Birr und Baden-Dättwil-Fislisbach. Birmenstorf wird mit einer 16-bar-Schiene ab Gebenstorf, Nieder- und Oberrohrdorf mit einer 16-bar-Schiene ab Fislisbach versorgt (siehe auch Fig. 1).

Neben der Auskopplung ist auf der Insel Beznau die Hauptpumpenstation mit den Hauptpumpen untergebracht. Die Druckausgleichsvorrichtungen und die Heizwasseraufbereitung sind beim Spitzenheizwerk, voraussichtlich Siggenthal-Station, vorgesehen. Um die Druckverluste der Primärschiene zu decken, sind entlang der Primärschiene Druckerhöhungsstationen angeordnet.

Die Primärschiene wird so weit wie nur möglich in die Ortschaften hineingezogen, um möglichst viele Grossbezüger (Anschlussleistung ≥ 100 kW) über indirekte Hausstationen direkt an die Primärschiene anzuschliessen. Der Grossteil der Bezüger wird über 4-bar-Sekundärnetze mit direkten Hausstationen angeschlossen. Der Direktanschluss ist günstiger als der indirekte Anschluss, weil er keine zusätzlichen Wärmetauscher braucht. Die 4-bar-Netze werden über Übergabestationen (25/4 bar) gespeist. Diese Netze (95/50 °C) sind aus Betriebs- und Kostengründen klein und kompakt zu halten. Nur dort, wo es aus geodätischen Gründen nicht möglich ist, mit 4-bar-Netzen zu arbeiten, sind 16-bar-Netze (110/50 °C) vorzusehen. Da die normalen Radiatoren einen Druck von maximal 5 bar aushalten, sind die Hausstationen der 16-bar-Netze mit Wärmetauschern auszurüsten (indirekte Anschlüsse).

Die ermittelte Anschlussleistung beträgt heute 398,6 MW entsprechend einem Nutzenergiebedarf von 757 GWh/a (gerechnet mit einer Vollbenutzungszahl von 1900 h/a), bei Endausbau im Jahre 2000 ergibt sich, unter Berücksichtigung der Sparmassnahmen und des geplanten Zuwachses, eine Anschlussleistung von rund 485 MW. Der entsprechende Nutzenergiebedarf wäre dann 922 GWh/a. Angenommen wurde dabei ein mittlerer Anschlussgrad von 0,8.

Das Transwaal-Energieflussdiagramm ist in Figur 2 dargestellt (ohne Option Zürich). Bei einem Wärmebedarf im Endausbau von rund 485 MW und bei einem Gleichzeitigkeitsfaktor von etwa 0,8 müssten im KKB 385 MW ausgekoppelt werden. Es ist jedoch unwirtschaftlich, die Auskopplungsvorrichtung für die wenigen jährlichen Spitzenstunden zu dimensionieren. Die Optimierung der Wärmegestellungskosten hat ergeben, dass etwa 60% der Leistung (96,5% der Arbeit) aus dem Kernkraftwerk ausgekoppelt werden sollten, der Rest wird über sogenannte abschaltbare Grossbezüger, nämlich das Kantonsspital Baden und die 3 BBC-Werke (40 MW) sowie mit dem voraussichtlich propanbefeuerten Spitzenheizwerk (115 MW), gewonnen.

Die Leistungsanteile und die entsprechenden Arbeitsanteile der drei genannten Wärmequellen sind in der geordneten Jahresdauerlinie (s. Fig. 3) grafisch dargestellt.

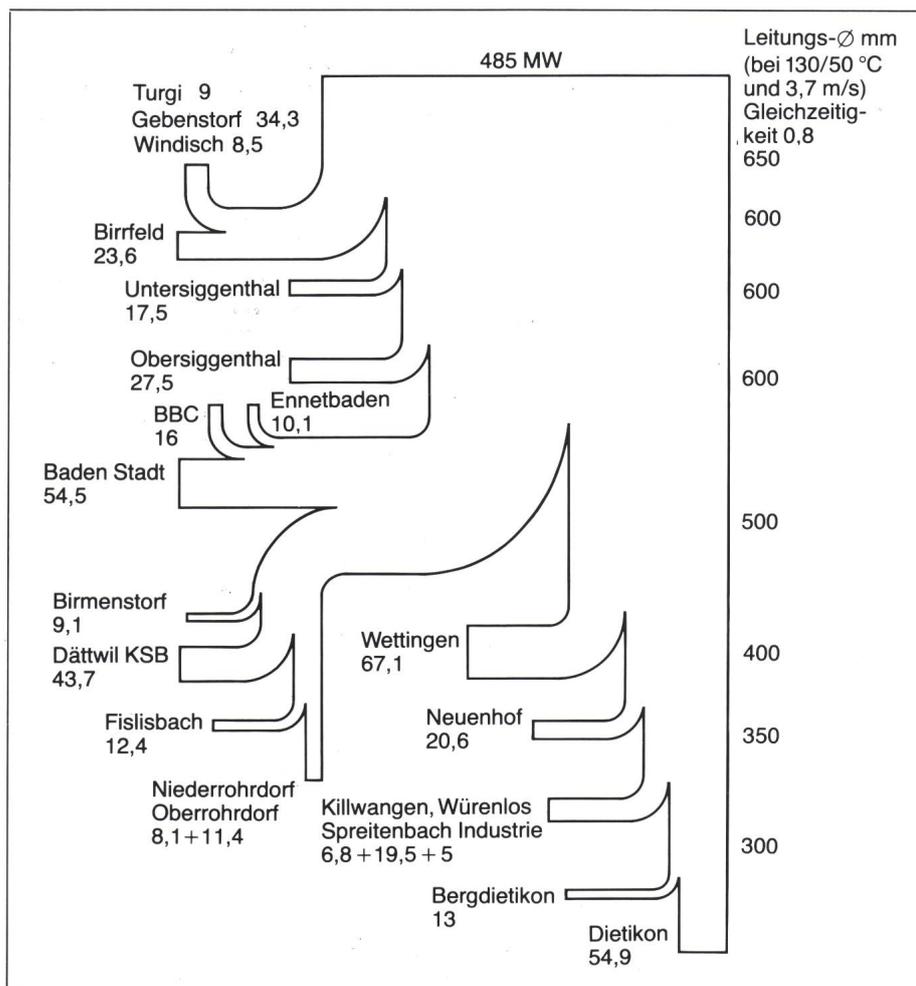


Fig. 2 Transwaal-Energieflussdiagramm

Reserveheizwerke sind in Wettingen-Tägerhard (116 MW) und im Kantonsspital (etwa 20 MW) vorgesehen. Die Reserveleistung von etwa 136 MW ermöglicht es, selbst bei Ausfall eines Reaktors im KKB weiterhin Vollast zu fahren. In den vergangenen 15 Betriebsjahren ist es noch nie vorgekommen, dass während der Heizperiode beide Reaktoren gleichzeitig ausser Betrieb waren.

Die beiden in der Region installierten Kehrichtverbrennungsanlagen von Dietikon und Turgi versorgen eigene kleinere Fernwärmenetze und werden ebenfalls in das Transwaal-System mit einbezogen.

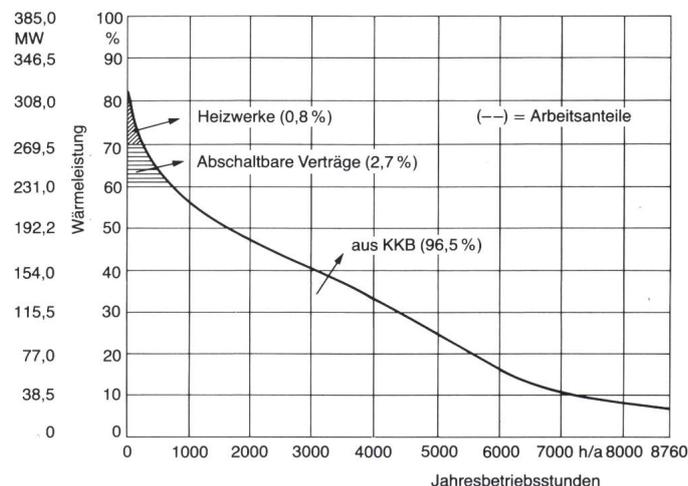
Die vielen Aggregate des Transwaal-Systems werden von einer zentralen Warte aus überwacht und bedient. Eine effiziente Betriebsführung und ein guter Pikettdienst sind unerlässlich.

4. Politische Arbeit und Meinungsbildung

Die Regionale Planungsgruppe Baden-Wettingen (Repla) liess zuerst den

heutigen Wärmebedarf der Region ermitteln und denjenigen im Jahre 2000 abschätzen. Daraufhin wurden für das Gebiet Aare-Limmattal vier verschiedene Versorgungskonzepte ausgearbeitet. Bei allen diesen Konzepten wurden anhand von geschätzten zukünftigen Energiesparmassnahmen mit einem voraussichtlichen finanziellen Aufwand von je 300 Mio SFr. die

Fig. 3 Geordnete Jahresdauerlinie der Wärmebedarfsdeckung



spezifischen Wärmeverbrauchsdaten für das Jahr 2000 im gleichen Masse reduziert.

● **Alternativ:**
Basierend auf regenerierbaren Energiequellen, gas- und dieselgetriebenen Blockheizkraftwerken, Wärmepumpen, Holz, Biogas, Kehricht, Sonnenenergie und herkömmlichen Systemen für Randzonen.

● **Konventionell:**
Ausbau und Weiterentwicklung heutiger Technologien zur Wärmeerzeugung (Öl, Gas, Kohle, Elektrisch) auf privater Basis.

● **Plenar:**
«Kalte» Fernwärme (etwa 30 °C), die bei den Verbrauchern mit Wärmepumpen auf höhere Temperaturen gebracht wird. Spitzendeckung mit konventionellen Heizanlagen.

● **Transwaal:**
«Heisse» Fernwärme für dichter überbaute Gebiete.

Ein Vergleich dieser Systeme ergab:

Alternativ: Weitaus die höchsten Investitionen, geringe Umweltentlastung.

Konventionell: Grosse Umweltbelastung, geringe Investitionen.

Plenar: Nur kleine Gebiete können mit Plenar-Fernwärme versorgt werden. Massiver Ausbau des elektrischen Netzes erforderlich. Teuer.

Transwaal: Am kostengünstigsten; wirkungsvolle Ölsubstitution, Umwelt am besten entlastet.

Aus obigen Erkenntnissen wurde das Wärmeversorgungskonzept Aare-

Limmattal (WAL), die Vorteile der verschiedenen Systeme vereinigend, wie folgt definiert:

- Kernzonen: Transswaal
- Randzonen: alternative und konventionelle Systeme.

Aufgrund der Aussagen der Studie ersuchte die Repla die WAL-Gemeinden, Fr. 20.- pro Einwohner für ein Vorprojekt bereitzustellen. 18 Gemeinden sprachen die verlangten Kredite zu. Brugg (mit eigenem Gaswerk) und Spreitenbach (mit langjährigem Vertrag mit dem Gaswerk Zürich) entschieden sich zugunsten von Gas. Zusammen mit Beiträgen von Grossbezürgern stehen für die Erstellung des Vorprojektes etwa 2,5 Mio Fr. zur Verfügung.

Im Sommer 1983 wurde ein Leistungsverzeichnis für das reduzierte Vorprojekt erstellt. Die Repla beschloss, die Projektleitung selber an die Hand zu nehmen und Teilaufgaben an Ingenieurbüros zu vergeben.

Als externer Experte, der die Arbeiten kritisch beurteilt und bei dem sämtliche Mitarbeiter der Arbeitsteams instruiert wurden, konnte Herr W. Prinz, Direktor der Stadtwerke Flensburg (BRD), gewonnen werden. Er hat in Flensburg in kurzer Zeit eine sehr kostengünstige Fernwärmeversorgung aufgebaut.

In einer Phase 0 des Vorprojektes wurden die Grundlagen erarbeitet und eine erste Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt.

Im Januar 1984 sprach der Kanton Zürich einen Kredit von Fr. 150 000.- für eine Machbarkeitsstudie, um abzuklären, wie allenfalls zürcherische Gebiete an Transswaal angeschlossen werden könnten. Die Machbarkeitsstudie hat ergeben, dass für die Agglomeration Zürich Fernwärme aus dem KKB zum gleichen Preis wie für die WAL-Region abgegeben werden kann. Kanton und Stadt Zürich haben im Herbst 1985 beschlossen, das Projekt weiter zu bearbeiten und dazu die entsprechenden Kredite bewilligt.

Im Juli 1984 lag der Schlussbericht der Phase 0 vor. Dessen wesentlichste Schlussfolgerung lautet:

Das Transswaal-Projekt kann unter den getroffenen Annahmen und Prämissen sowohl für die Versorgungsgesellschaft wie auch für den Wärmebezüger wirtschaftlich betrieben werden.

Im August 1984 begann die Bearbeitung der Phase 1 des Vorprojektes. Sie hatte zum Ziel, auf der Basis von detaillierten Wärmebedarfsermittlungen

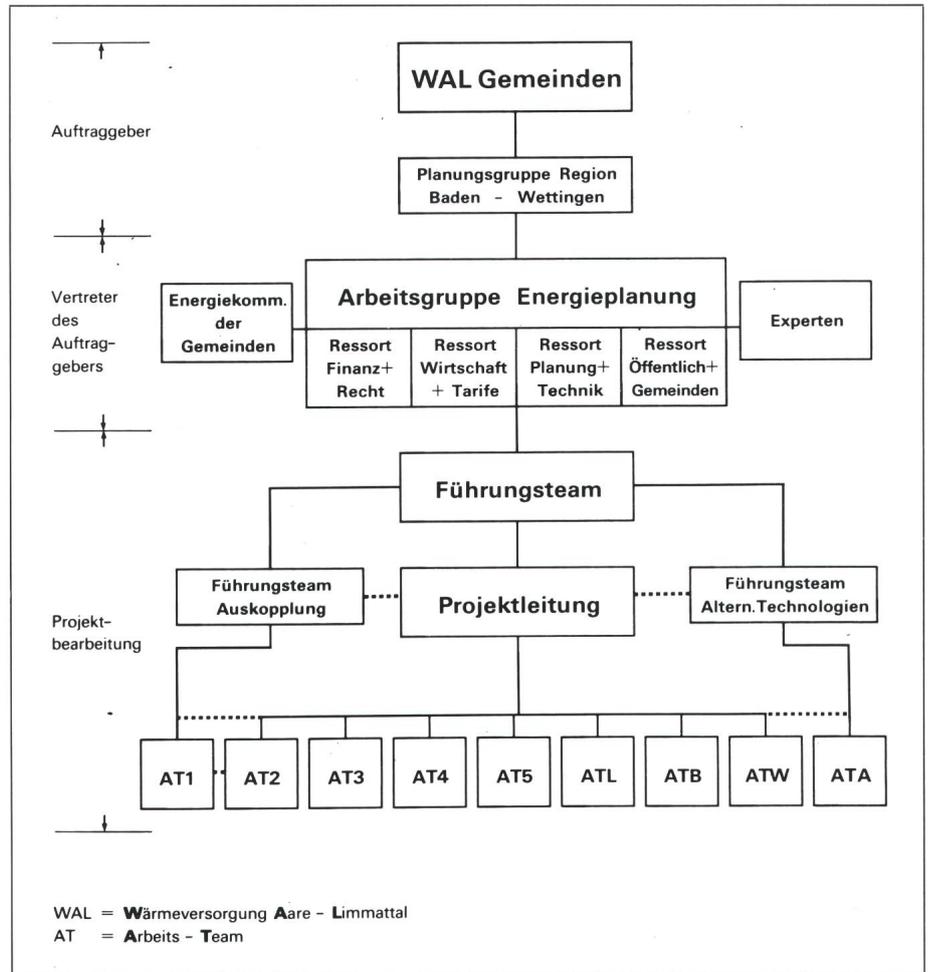


Fig. 4 Organigramm der Projektorganisation

und -abklärungen, insbesondere für das umfangreiche Wärmeverteilsystem, entsprechend genaue Werte zu liefern, die dann in eine Wirtschaftlichkeitsrechnung einfließen.

Die Projektorganisation wurde aus der Phase 0 übernommen und um einige Arbeitsteams (AT) erweitert (s. Fig. 4).

Folgende Kapitel wurden von den Arbeitsteams eingehend bearbeitet:

- AT 1: Auskopplung im KKB
- AT 2: Wärmetransport und Leitungsbau
- AT 3: Hauptpumpenstation, Druckerhöhungsstationen, Heizwerke
- AT 4: Wärmebedarf/Ortsnetze
- AT 5: Hausstationen
- AT L: Leittechnik
- AT B: Betriebsfragen
- AT W: Wirtschaftlichkeit
- AT A: Alternative Technologien als Information für diejenigen Einwohner, welche nicht an das Fernwärmenetz angeschlossen werden können oder wollen.

Der Schlussbericht der Phase 1 samt Wirtschaftlichkeitsrechnung ist am 16. Januar 1986 den WAL-Gemeinden vorgestellt worden.

Der Terminplan für das weitere Vorgehen sieht folgende Meilensteine vor:

- 1986 Abstimmungen in den WAL-Gemeinden bezüglich Beitritt in die Bau- und Betriebsgesellschaft sowie Bewilligung der entsprechenden Kredite; Gründung der Bau- und Betriebsgesellschaft
- 1987 Bauprojekt, Baubeginn an Ortsnetzen und Primärleitung
- 1990 Erste Wärmelieferung in Baden/Wettingen
- 1992 Primärleitung bis Kantonsgrenze AG/ZH.

5. Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Es wird mit einer Gesamtinvestition von 220 Mio Fr. für die Bau- und Be-

System/Abschnitt	Anteil		Kumuliert
	Rp./kWh	%	Rp./kWh
● Wärmegestehungskosten			
- Wärmetarif (Arbeit und Leistung)	1,8	22	1,8
- Festpreis (Investitionen im KKB)	0,3	4	2,1
● Transportkosten Primärleitung (Investitionen und Betrieb)	2,3	29	4,4
● Transportkosten Ortsnetz je nach Ortsnetz (Investitionen und Betrieb)	2,1-3,6	26-45	6,5-8,0

Zusammenfassung der spezifischen Wärmegestehungskosten

Ölheizung, Gasheizung und Fernwärme; Kostenstand 1985 - Statische Berechnung

Gebäudetyp	Wärmegestehungskosten in Rp./kWh					
	Ölheizung		Gasheizung		Fernwärme	
	inkl. Betrieb und Unterhalt	inkl. Kapitalkosten	inkl. Betrieb und Unterhalt	inkl. Kapitalkosten	inkl. Betrieb und Unterhalt	inkl. Kapitalkosten
● Einfamilienhaus						
- alt, ohne elektrischen Boiler	9,3	14,6	13,6	17,3	8,2	12,2
- alt, mit elektrischem Boiler	9,0	13,4	11,4	15,1	8,2	11,0
- neu	8,8	16,6	11,1	18,3	8,4	13,4*
● Mehrfamilienhaus						
- alt, ohne elektrischen Boiler	8,9	10,2	12,2	13,3	8,1	9,8
- alt, mit elektrischem Boiler	7,9	10,2	10,2	12,3	8,0	9,2
- neu	8,0	12,4	9,9	14,1	8,3	10,3*
● Grossverbraucher	7,1	8,7	8,6	9,5	7,2	8,2

* Ohne Berücksichtigung der Baukosteneinsparungen zugunsten der Fernwärmevariante (Kamin, Tankraum usw.)

triebsgesellschaft (Primärnetz) und von 302 Mio Fr. für die Ortsnetze im Endausbau gerechnet.

Das Kostenziel von 1000.- Fr./kW installierter Leistung ist nahezu erreicht. Es entspricht in etwa der deutschen Norm. In Skandinavien gelingt es, Fernwärmenetze noch günstiger zu bauen.

Die kleine Überschreitung von rund 8% dürfte dank des im Vergleich zu Deutschland und Skandinavien sehr günstigen Kapitalzinses in der

Schweiz mehr als kompensiert werden.

Bei Wärmegestehungskosten von 2,1 Rp./kWh (1,8 Rp. Wärmetarif und 0,3 Rp. Investitionen im KKB) kann die Wärme an der Grenze der Primärleitung zu einem einheitlichen Preis von 4,4 Rp./kWh den WAL-Gemeinden abgegeben werden (s. Tab. I). Für die Ortsnetze werden je nach Wärmedichte und Anzahl Grossbezüger 2,1 bis 3,6 Rp./kWh aufgewendet. Bei den Städten und grösseren Ortschaften der WAL-Region könnte die Wärme zu

einem sehr günstigen Tarif von 6,5 Rp./kWh abgegeben werden. Bei kleineren, eher ländlichen Gemeinden mit Einfamilienhausstruktur müssten 8,0, vereinzelt sogar 8,5 Rp./kWh verlangt werden.

Bei der Errechnung der spezifischen Wärmegestehungskosten wurde für die Fernwärme mit einem Einheitspreis von 7,5 Rp./kWh gerechnet. Im Vergleich zu Öl- und Gasheizung ist die Fernwärme mit einer Vollkostenrechnung (inkl. Kapitalkosten) bei allen betrachteten Bauten (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus und Grossverbraucher) am günstigsten (s. Tab. II).

Die Kostengleichheit mit den Ölheizungen bei Gemeinden mit Einfamilienhaus-Struktur dürfte in etwa bei 8,5 Rp./kWh erreicht sein!

Wegen des kleineren Verbrauchs infolge rationeller Bauweise sind die spezifischen Wärmegestehungskosten inkl. Kapitalkosten bei Neubauten höher als bei Altbauten.

6. Schlussfolgerungen

Zur Realisierung eines so grossen regionalen Projektes wie das Fernwärmenetz Transwaal, welches nukleare Fernwärme verteilt, braucht es für die politische Meinungsbildung in einer Demokratie mit grosser Gemeindeautonomie, wie wir sie glücklicherweise haben, viel Zeit.

Die Wirtschaftlichkeit des Fernwärmenetzes Transwaal ist gegeben. Die Versorgungssicherheit ist wie bei keinem anderen Energieträger bis weit in das 21. Jahrhundert hinein gewährleistet. Das schwer zu lösende Problem des «sauren Regens» (SO₂), des «Waldsterbens» (NO_x) und des «Treibhauseffektes» (Veränderung des Weltklimas infolge CO₂) ist bei der sauberen Fernwärme inexistent.

Die Projektleitung hofft, dass das Fernwärmeprojekt Transwaal bald realisiert werden kann.