

Das Projekt des Heizkraftwerkes: Wärmekraft- und Nebenanlagen

Autor(en): **Bitterli, Joseph / Leimer, Hansjörg / Ruzek, Wolfgang**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **97 (1979)**

Heft 25

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85489>

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.

Das Projekt des Heizkraftwerkes

Wärmekraft- und Nebenanlagen

von Joseph Bitterli, Hansjörg Leimer und Wolfgang Ruzek, Winterthur

Energietechnik

Nachdem aus den Vorstudien für die Wärme-Kraft-Kopplung die Gegen-Druck-Dampfturbinen-Anlage als wirtschaftlichster Prozess hervorging, stellte sich für den planenden Ingenieur die Aufgabe, diesen Prozess verfeinert zu optimieren. Optimieren heisst hier, unter Berücksichtigung gegebener Randbedingungen das Gesamtsystem Energieerzeugung-Wärmeverteilung-Wärmeübergabe derart auszulegen, dass bei gegebener Wärmeerzeugung mit der optimalen Verwendung von Kapital und Brennstoff ein Maximum an elektrischer Energie gewonnen werden kann. Als Kriterium für die optimale Lösung werden die Jahreskosten für die Wärme verwendet. Sie setzen sich im wesentlichen zusammen aus der Verzin-

sung und der Abschreibung des investierten Kapitals, aus den Brennstoff-, Unterhalts- und Personalkosten abzüglich der Einnahmen für die produzierte elektrische Energie. Die Kombination der verschiedenen Einflussgrössen, welche die kleinsten Wärmekosten ergibt, ist die optimale, wie es schematisch in Bild 7 gezeigt ist. Künftige Preis- und Absatzentwicklungen können beispielsweise durch dynamische Investitionsrechnungen berücksichtigt werden.

Den vereinfachten Energiefluss für den Endausbau des HKW Aubrugg veranschaulicht Bild 8. Die grössten Verluste treten bei der Umwandlung der Brennstoffenergie in Wärme und Elektrizität auf. Hier kommt es neben der Wahl von Dampfturbogruppen mit hohem Wirkungsgrad vor allem darauf an, wegen des innerhalb eines Jahres stark schwankenden Wärmebedarfs (Bild 9)

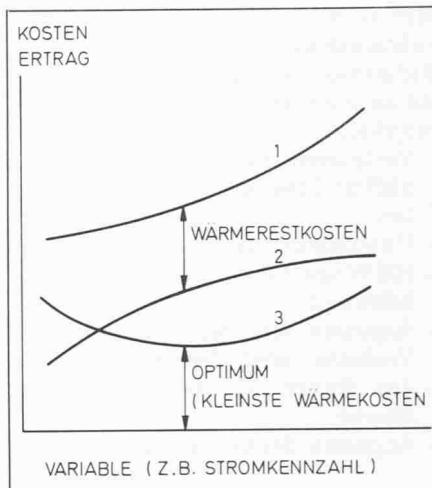


Bild 7. Prinzip der wirtschaftlichen Optimierung. 1 Gesamtkosten, 2 Ertrag aus Stromverkauf, 3 Wärmerestkosten

Dampfkessel mit gutem Teillast-Wirkungsgrad zu wählen (Bild 10).

Doch spielt auch die Aufteilung der Gesamtleistung auf mehrere Einheiten sowie der Anteil der Wärme-Kraft-Kopplung an der Gesamtleistung in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle.

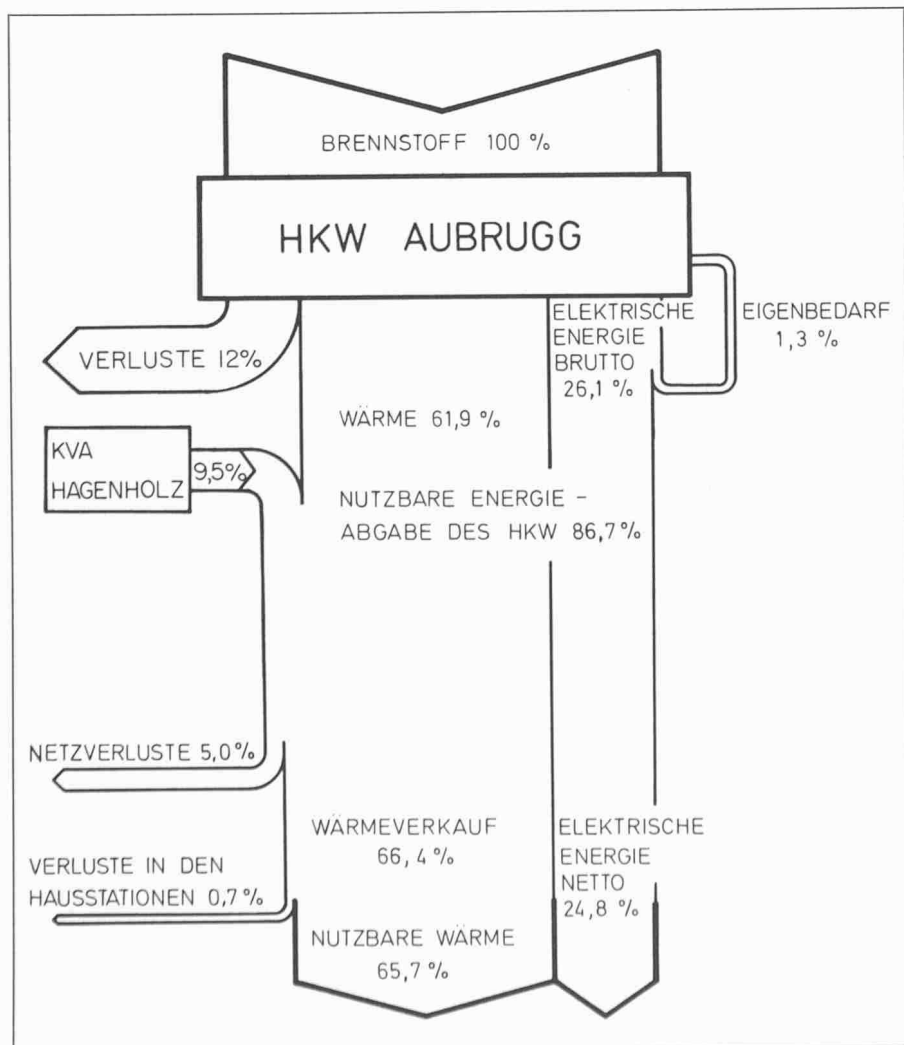


Bild 8. Energieflussbild HKW Aubrugg im Endausbau

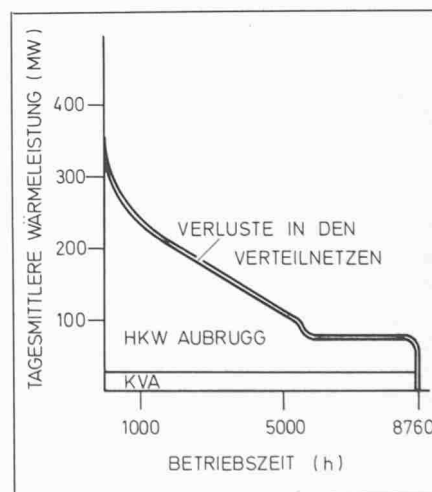


Bild 9. Jahresdauerlinie der tagesmittleren Wärmeleistung ab HKW Aubrugg und KVA Hagenholz in Vollausbau

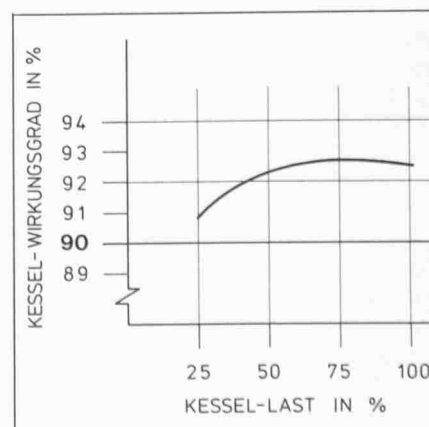


Bild 10. Kesselwirkungsgrad eines Mitteldruckkessels

Durch die Kombination beider Massnahmen sowie eine optimale Betriebsführung durch geschultes und fachkundiges Personal lassen sich, wie im übrigen durch die vielen bestehenden ausländischen Werke bestätigt wird, hohe jahresmittlere Wirkungsgrade erzielen. Wegen des grossen Einflusses des Erlöses für die elektrische Energie auf die Wärmekosten ist der maximalen Stromausbeute grosse Beachtung zu schenken. Als Mass dafür wird die *Stromkennzahl* verwendet, definiert als Verhältnis zwischen jährlich in Wärme-Kraft-Kopplung erzeugter elektrischer Energie zur nutzbaren Wärmemenge. Bei der Gegendruck-Dampfturbinen-Anlage kann die Stromkennzahl vor allem dadurch erhöht werden, dass *tiefe Vorlauftemperaturen* für das Fernheiznetz gewählt werden und dass *das Heisswasser mehrstufig aufgewärmt* wird. Dabei sind ebenfalls *tiefe Rücklauftemperaturen* anzustreben. Da die Vorlauftemperaturen wegen der Bedürfnisse der Verbraucher nicht beliebig tief gewählt werden können, wurden im Fall des HKW Auburg die *Verbraucher* entsprechend ihrer Ansprüche an die Temperatur unterteilt in eine Gruppe *Hochtemperatur*, die mit Dampf vorwiegend aus der KVA Hagenholz beliefert wird, und in eine Gruppe mit vorwiegend *Raumheizung* und *Brauchwarmwasser*, die mit Heisswasser beliefert wird. Dadurch gelingt es, das Heisswassernetz entsprechend der Aussentemperatur mit bis auf 70 °C abgesenkter Vorlauftemperatur und entsprechend hoher Stromkennzahl zu betreiben (Bild 11). Die maximale Temperatur von rund 130 °C geht aus einer Optimierungsrechnung hervor. Dabei wird berücksichtigt, dass mit steigender maximaler Vorlauftemperatur (die Rücklauftemperatur bleibt dabei konstant, weil sie nur von den Abnehmeranlagen bestimmt wird) und damit steigender Spreizung zwischen Vorlauf- und Rücklauftemperatur die umgewälzte Wassermenge bei gleicher Wärmeleistung kleiner wird. Damit werden kleinere Querschnitte für die Rohrleitungen mit entsprechend tieferen Anlage- und tieferen Energiekosten erforderlich. Demgegenüber nehmen die Wärmeverlustkosten geringfügig zu, und die Stromkennzahl wird kleiner. Die optimale Vorlauftemperatur ist gefunden, wenn die Jahreskosten minimal werden.

Der Einfluss der mehrstufigen Aufwärmung des Heizwassers auf die Stromkennzahl ist in Tabelle 3 dargestellt. Daraus ist ebenfalls ersichtlich, wie stark diese durch die Versorgung eines Dampfnetzes mit etwa 20 bar verschlechtert würde. Damit im übrigen die Rücklauftemperaturen optimal tief liegen, ist es notwendig, die Hausstationen beim Verbraucher nach bestimmten Richtlinien zu gestalten.

Tabelle 4 Kostenstruktur im Endausbau (Preisbasis 1978)

Variante	1	2	3	4
Brennstoffpreis (Fr./MWh) Strompreis (Rp./kWh)	27,50 8	21,50 8	27,50 9	21,50 9
Verzinsung (4%) und Abschreibung (im Mittel 30 Jahre) (%)	17,1	20,3	17,1	20,3
Brennstoffkosten (%)	71,3	66,0	71,3	66,0
Unterhalt (%)	6,5	7,7	6,5	7,7
Personal (%)	2,9	3,4	2,9	3,4
Übriges (Betriebsmittel, Versicherung usw.) (%)	2,2	2,6	2,2	2,6
Gesamtkosten	100	100	100	100
Gesamtkosten bezogen auf Variante 1 (%)	100	84,4	100	84,4
Erlös für elektrische Energie, bezogen auf Gesamtkosten (%)	47,5	56,2	53,4	63,2
Kosten der Wärme, bezogen auf Fall I	1	0,7	0,89	0,59

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten bestehen darin, die Frischdampfparameter zu erhöhen, die Speisewasservorwärmung, evtl. mehrstufig, einzuführen

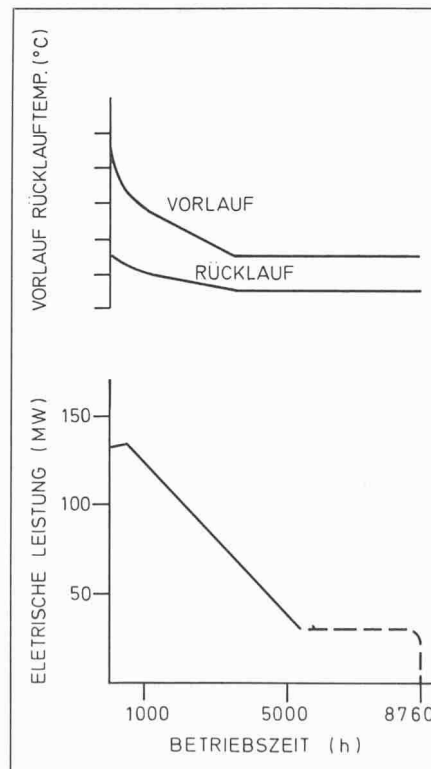


Bild 11. Jahresdauerlinie der elektrischen Leistung an den Generatorklemmen (im Sommer ist Stromproduktion möglich, jedoch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht oportun)

sowie Austauschflächen der Dampformer zu vergrössern, um die Differenz zwischen Dampf- und Heisswassertemperatur zu verkleinern. Beide Massnahmen können wirtschaftlich optimiert werden.

Die Netzverluste werden meistens überschätzt. Sie können im übrigen durch verbesserte Wärmedämmung und tiefe Heisswassertemperaturen beeinflusst werden. Welches die wirtschaftliche Wärmedämmung ist, kann wiederum mit einer Optimierungsrechnung ermittelt werden, wobei den steigenden Energiepreisen Rechnung zu tragen ist. Im übrigen ist zu beachten, dass je MWh Verlustwärme rund 400 kWh elektrische Energie erzeugt werden können, indem das Verteilnetz als Kondensator wirkt.

Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage

Es ist bekannt, dass der Aufbau von Fernwärmeversorgungen Vorinvestitionen erfordert, welche die Betriebsrechnung stark belasten. Es ist deshalb für die Wirtschaftlichkeit wichtig, die installierten Kapazitäten möglichst rasch auszunützen. Dieser Einfluss der Anschlussentwicklung wird im folgenden nicht weiter dargelegt.

Die Kostenstruktur für den Endausbau

Tabelle 3. Einfluss der mehrstufigen Heisswasseraufwärmung auf die Stromkennzahl (Rücklauftemperatur 70 °C, Vorlauftemperatur 130 °C, Frischdampfparameter 120 bar, 525 °C)

Variante	Stromkennzahl (kWh/MWh)
Heisswassernetze:	
einstufige Aufwärmung	347
zweistufige Aufwärmung	363
dreistufige Aufwärmung	371
zweistufige Aufwärmung bis 115 °C, Rest durch Spitzenheizkessel	380
Heisswassernetze (zweistufige Aufwärmung), Dampfnetz (20 bar) mit 1/3 der Gesamtleistung	330

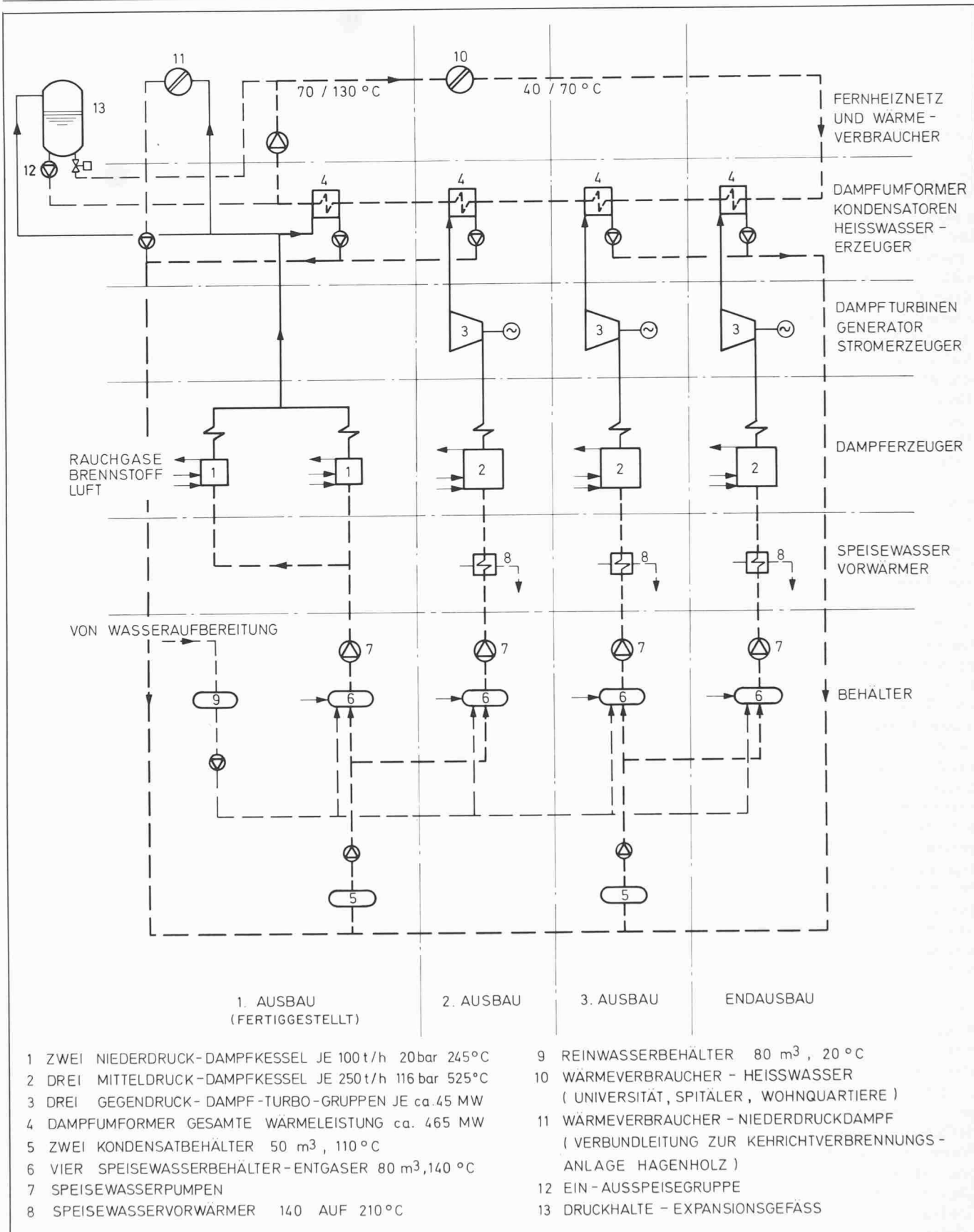


Bild 12. Wasser-Dampf-Anlageschema

ist für die heutigen Preisverhältnisse in Tabelle 4 dargestellt. Es kann daraus sofort abgeleitet werden, dass den Preisen der im HKW Aubrugg verwendeten Brennstoffe überragende Bedeutung zukommt. Ebenso schlägt sich eine bezüglich Energieverbrauch rationelle Betriebsweise in den Brennstoffkosten nieder. Ebenso wichtig ist die Bewer-

tung der erzeugten elektrischen Energie. Der Erlös vermag rund die Hälfte der Kosten zu tragen. Je besser die Bewertung, desto günstiger der Wärmeverkaufspreis und um so rascher die Anschlussentwicklung. Demgegenüber spielt der Kapitaldienst im Endausbau eine weniger wichtige Rolle.

Wärme-Kraftanlage

Aus den Vorstudien resultierte als optimale Lösung ein *Wasser-Dampf-Kreislauf mit Dampferzeuger, Gegendruck-Dampfturbogruppe und Dampfumformer/Kondensator für die Wärme-Kraft-Kopplung und eine Aufteilung der ge-*

planen Wärmeleistung von 465 MW (400 Gcal/h) in vier gleiche Ausbaustufen. Das Prinzip des gewählten Wasserdampf-Kreislaufes und die Aufteilung in Ausbaustufen kann aus dem stark vereinfachten Anlagenschema (Bild 12) entnommen werden.

Eine Kraft(Strom)-Erzeugung wird in der zweiten, dritten und vierten Ausbaustufe verwirklicht. In den Dampferzeugern (2) wird die Verbrennungswärme der Brennstoffe freigesetzt und damit Wasser mit einem Druck von über 120 bar erwärmt, verdampft und überhitzt. Der Dampf von 525 °C wird dann in einer Dampfturbine (3) entspannt auf Gegendrücke um 2 bar und tiefer. Die dabei in der Turbine gewonnene kinetische Energie wird im Generator in elektrische Energie umgewandelt und an das elektrische Netz abgegeben.

Der entspannte Dampf (130°C und tiefer) wird in den Dampfumformern (4) durch Heisswasser der Fernheizung kondensiert, das sich dabei stufenweise von 70 auf 130°C erwärmt. Das Kondensat wird in einen der beiden Kondensatbehälter (5) und von dort in die Speisewasserbehälter (6) gepumpt. Im

Speisewasserbehälter wird das Wasser durch das Beimischen von Dampf, der aus der Turbine angezapft wird, erwärmt und entgast. In den nachfolgenden Speisepumpen (7) wird das Wasser auf den nötigen hohen Druck gebracht. Das Wasser wird in den Speisewasservorwärmern (8) wiederum durch von der Turbine angezapften Dampf auf die Dampfkessel-Eintrittstemperatur von 210 °C vorgewärmt. Als interne Dampfverbraucher erhöhen diese Vorwärmer die Stromerzeugungsrate.

In den ersten Jahren des Aufbaus einer Fernheizung wird der Wärmebedarf noch so gering sein, dass nur wenig Strom mit einer Wärme-Kraft-Koppelung erzeugt werden kann. Man wartet deshalb mit der Erstellung einer gekoppelten Wärme-/Strom-Erzeugungsanlage so lange, bis der Wärmebedarf eine angemessene Stromerzeugung zulässt. In der ersten Ausbaustufe werden deshalb nur Wärmeerzeugungsanlagen (ohne Stromerzeugung) installiert, die bedeutend geringere Investitionen erfordern. Diese reinen Wärmeerzeugungsanlagen werden in späteren Ausbaustufen nur noch die Winterbedarfs-

spitzen decken, während der Grundbedarf an Wärme durch gekoppelte Wärme-/Strom-Erzeugungsanlagen gedeckt wird.

Den einfacheren Aufbau der ersten Ausbaustufe kann man leicht aus Bild 12 ersehen. Die Wärme wird in zwei kleineren Niederdruckdampfkesseln (1) erzeugt. Die Bedarfsdeckung in nur einem Kessel verbietet sich, da die Kesselanlage für normale Inspektionen abgestellt werden muss. Wäre nur ein Kessel installiert, so wäre dann die ganze Wärmeerzeugung unterbrochen. Die Aufteilung auf zwei Kessel bringt neben der Erhöhung der Versorgungssicherheit noch Vorteile bezüglich Teillastfahren und Brennstoffökonomie.

Der Dampf aus den Kesseln (1) wird in der ersten, bereits fertiggestellten Ausbaustufe direkt in die Dampfumformer geleitet und dort kondensiert. Dabei wird das Heisswasser der Fernheizung aufgewärmt. Ferner wird je nach Bedarf über die KVA Hagenholz Dampf in das bestehende Dampfnetz (11) abgegeben. Das Kondensat wird über Kondensat-(5) und Speisewasserbehälter (6) direkt dem Niederdruckdampferzeuger zuge-

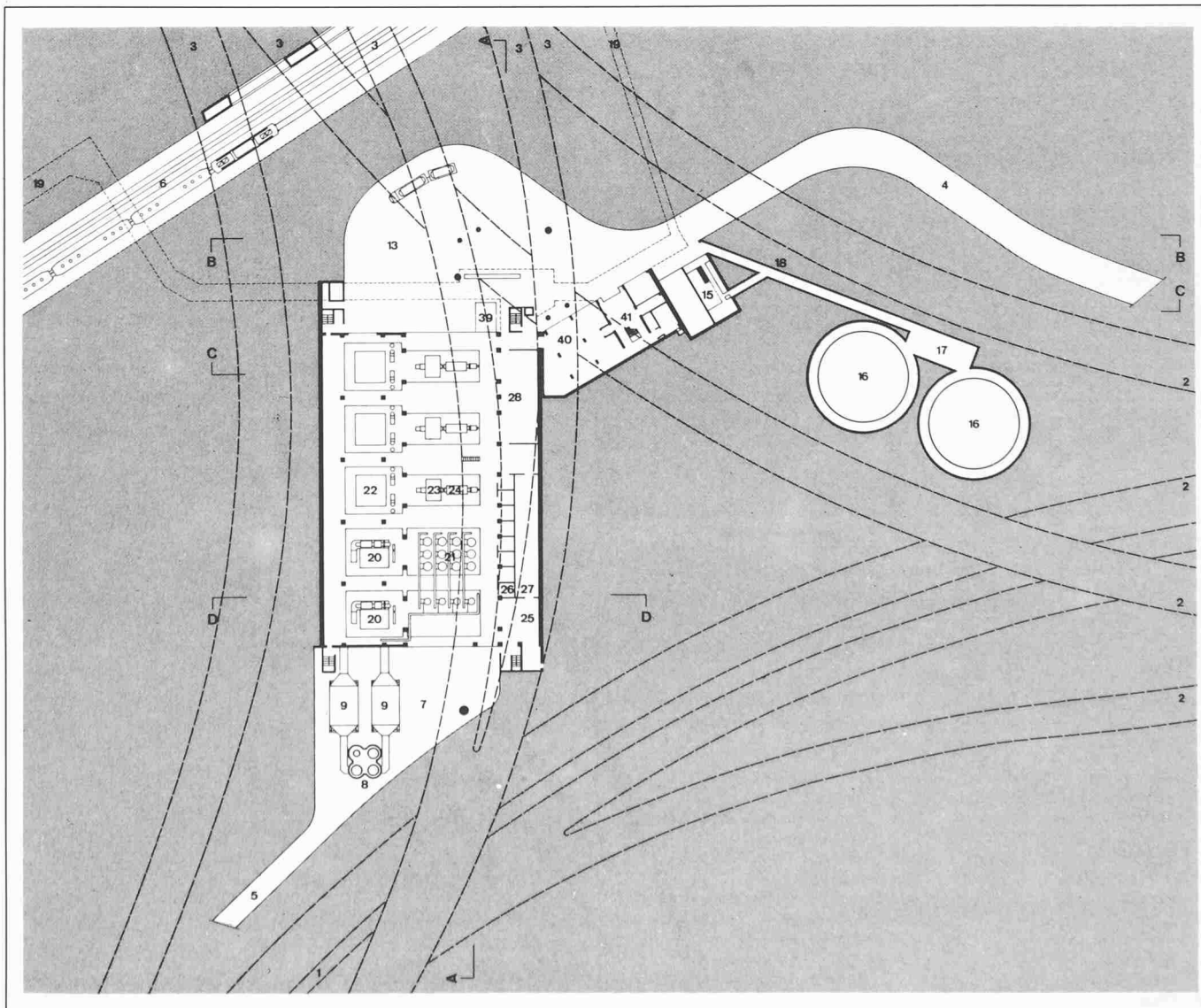


Bild 13. Grundriss der gesamten Anlage; Schnitte und Signaturen durch die Energiezentrale und das Betriebsgebäude auf den folgenden Seiten

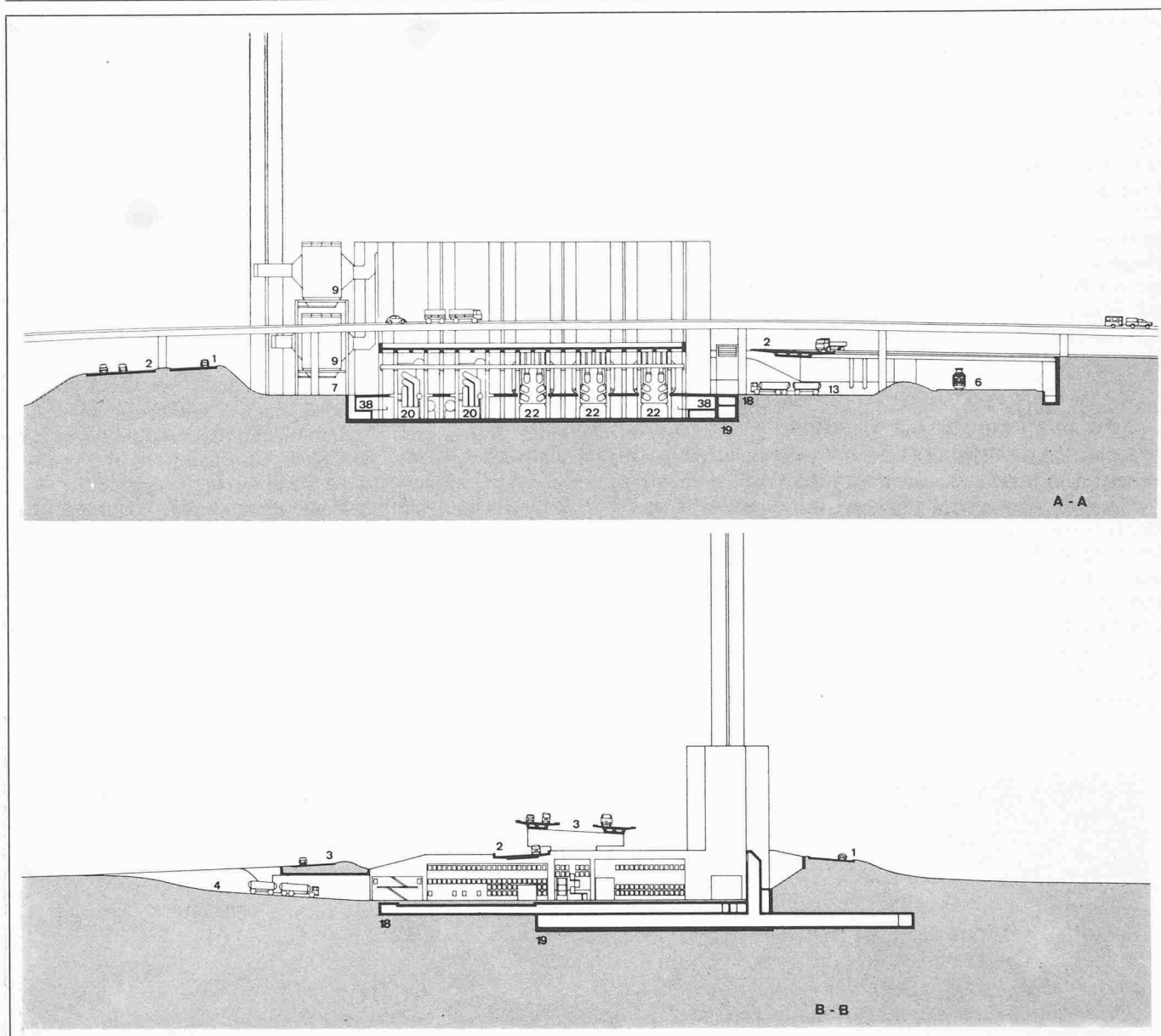
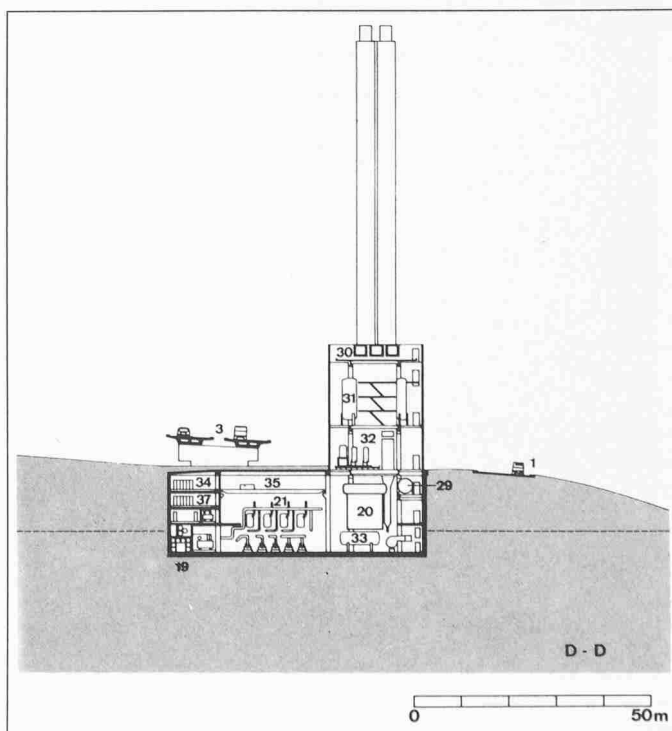
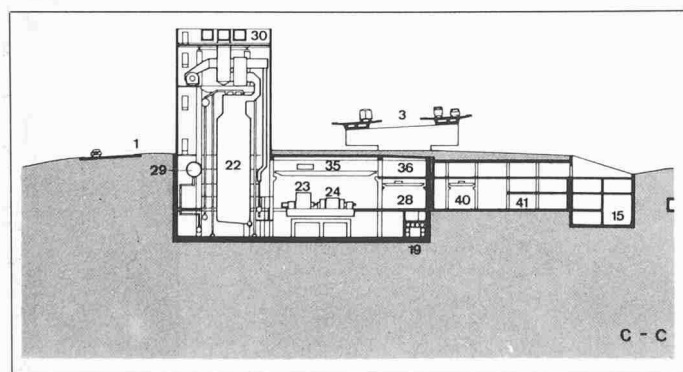


Bild 13. Schnitte und Signaturen



- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Autobahn Richtung Zürich | 19 Fernwärmeleitungskanal |
| 2 Autobahn Richtung Winterthur | 20 Niederdruckkessel |
| 3 Autobahn Richtung Kloten | 21 Fernwärmeumformer |
| 4 Zufahrtstrasse zum Hof Nord | 22 Mitteldruckkessel |
| 5 Zufahrtstrasse zum Hof Süd | 23 Turbine |
| 6 SBB-Linie Zürich-Winterthur | 24 Generator |
| 7 Hof Süd | 25 Hauptabspernung Fernwärme |
| 8 Kamin | 26 Transformator |
| 9 Elektro-Filter | 27 6/16-KV-Schaltanlage |
| 13 Hof Nord | 28 110-KV-Schaltanlage |
| 15 Service-Station | 39 Transformer-Einbringöffnung |
| 16 Öltank | 40 Werkstatt |
| 17 Pumpenhaus | 41 Eingangsgeschoss Betriebsgebäude |
| 18 Leitungskanal | |

pumpt. Da weder Dampfturbogruppen noch Vorwärmer im ersten Ausbau installiert sind, und da Dampfdruck und -temperatur tiefer liegen als in den späteren Ausbaustufen, sind der Platzbedarf und die Investitionen für die Wärmeerzeugungsanlage der ersten Ausbaustufe geringer als für die Ausbaustufen 2 bis 4.

Zum erstmaligen Füllen der Leitungen, zum Ausgleich der kleinen Wasserverluste und des Kondensatrückflusses wird Wasser aus dem Reinwasserbehälter (9) in die Speisewasserbehälter (6) gepumpt. Das Reinwasser fliesst dem Behälter (9) aus einer vorgeschalteten Wasseraufbereitung zu.

Eine Hauptarbeit der Projektierung war, die *optimale Aufstellung der Komponenten im verfügbaren Raum des Nationalstrassendreiecks* zu entwerfen. Als grösste Anlagekomponenten dominieren die Dampferzeuger die Grundeinteilung. Für einen Endausbau von fünf Dampfkesseln musste eine Haupteinteilung in fünf Felder vorgenommen werden.

Ausgangspunkt der Disposition der Anlage sind daher die *fünf Dampferzeuger* (20 und 22) (Bild 13) in den *fünf Kesselhausstürmen* (Westseite). Die *drei Dampfturbogruppen* (23, 24) müssen so nahe wie möglich bei den Dampfkesseln (22) platziert werden, um die Druck- und Wärmeverluste sowie die Länge der Verbindungsdampfleitungen klein zu halten. Die *Turbogruppen* werden deshalb unmittelbar vor den Kesseln (22) in der Maschinenhalle aufgestellt. Der grosse Platzbedarf der *Umformer* (21) einerseits und der verfügbare Raum andererseits gestatten keine Aufstellung der Umformer direkt bei den Dampfturbinen (23). Die Umformer werden deshalb in den Feldern 1 und 2 vor den *Niederdruckdampfkesseln* (20) in der Maschinenhalle aufgestellt. So belegen die Dampfumformer in den Feldern 1 und 2 der Maschinenhalle den Platz, den später die Dampfturbogruppe in den Feldern 3 bis 5 einnehmen werden. Diese Anordnung erlaubt, auch die Maschinenhalle trotz unterschiedlicher Belegung in der ersten und in den späteren Etappen gleich zu unterteilen und bauseits gleich auszuführen.

Die *Kondensatbehälter* (33) werden im Keller (Kote -6,00 m) zwischen den *Dampferzeugern* 1 und 2 aufgestellt und erlauben somit kurze Verbindungsleitungen von den Umformern (21).

Die vier *Speisewasserbehälter* (29), die mit einem Fassungsvermögen von 80 m³ einen beachtlichen Raumbedarf haben, wurden noch unter den wabenförmigen Aussparungen der Westwand auf Kote +6,00 m aufgestellt. Da die beiden Niederdruckkessel nur einen gemeinsamen Speisewasserbehälter haben, bleibt im Feld 1 noch Platz frei für den gleich grossen *Reinwasserbehälter*.

Somit kann auch an der Westwand auf Kote +6,00 m eine gleichartige Verteilung der Behälter verwirklicht werden. Die verschiedenen Pumpen befinden sich auf Kote -6,00 m, und soweit es die nötige Zulaufhöhe zulässt, auf Kote $\pm 0,00$.

Für die *Niederdruckdampferzeuger* ist damit schon der Wasser-Dampf-Kreislauf geschlossen, da das Speisewasser direkt aus dem Behälter (29) dem Dampfkessel zugepumpt wird. In den Ausbaustufen 2 bis 4 wird das Wasser aus dem Speisewasserbehälter (29) noch in den Vorwärmern aufgewärmt, bevor es in die Dampferzeuger eintritt. Diese Vorwärmer werden bei den Dampferzeugern im Kesselhaus aufgestellt.

Dampferzeuger

Die zwei bereits installierten Niederdruckdampferzeuger sind Strahlungskessel vom Typ ZL der Gebrüder Sulzer

Aktiengesellschaft, Winterthur. In Bild 14 werden die Kesselschnitte und -ansichten gezeigt, die Bilder 15 und 16 zeigen verschiedene Montageetappen und Bild 17 den fertig montierten Kessel. Der Kessel Typ ZL zeichnet sich dank günstiger Anordnung der Heizflächen durch eine kompakte Bauweise aus und hat einen hohen Wirkungsgrad (92%) über einen grossen Lastbereich. Trotz der Kompaktheit ist die Zugänglichkeit aller Heizflächen für Reinigung und Inspektion gewährleistet. Dieser Typ entspricht den räumlichen und betrieblichen Anforderungen im HKW Aubrugg besonders gut und wird darum nachfolgend näher beschrieben.

Die *ZL-Dampferzeuger* (Bild 14) sind längsbefeuerte, selbsttragende 2-Trommel-Naturumlaufkessel. Der Kessel-Druckkörper besteht aus gasdicht verschweissten Wänden (1) in Rohr-Steg-Rohr-Anordnung. Die Verdampferrohre sind einzeln in Ober- und Untertrommel (2) angewalzt und geschweisst. Die Brennkammer (3) liegt

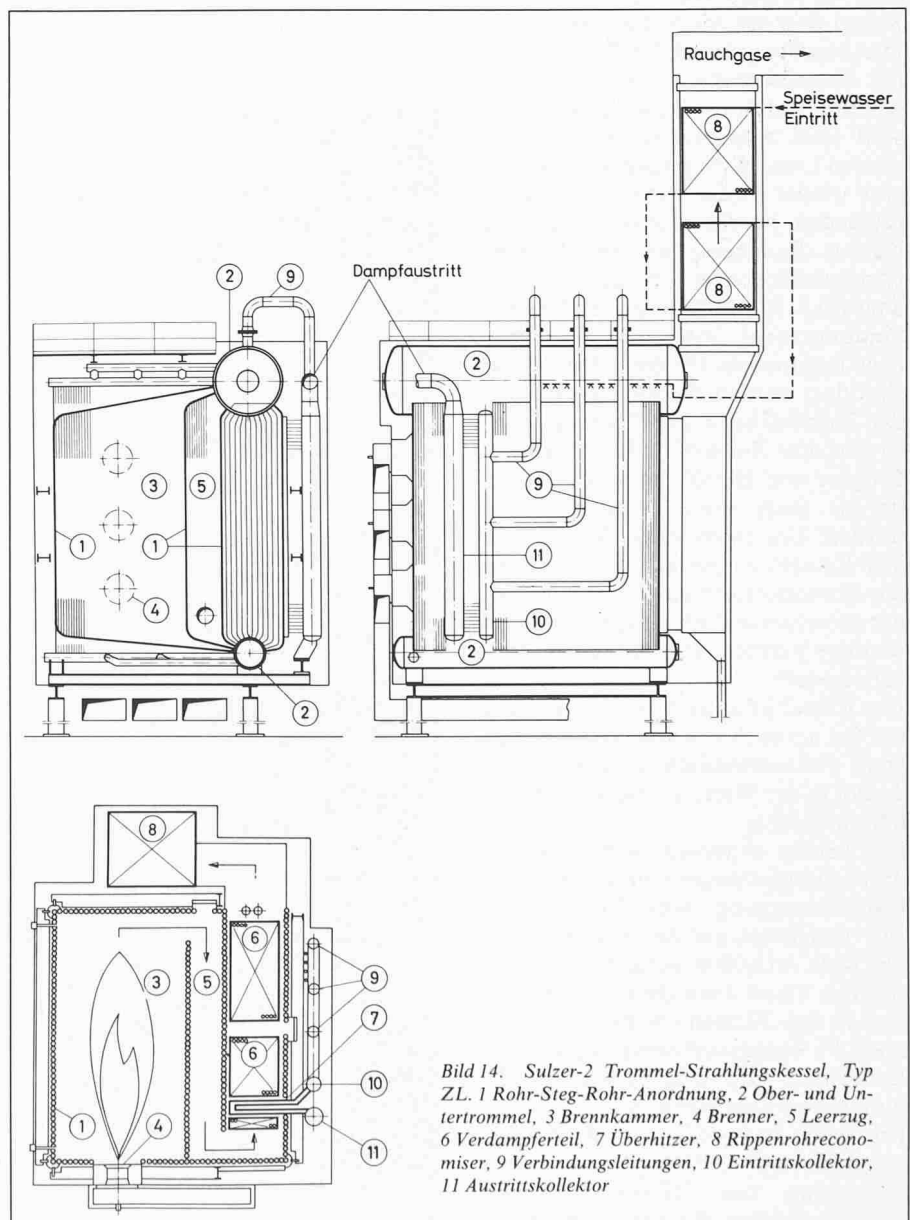


Bild 14. Sulzer-2 Trommel-Strahlungskessel, Typ ZL. 1 Rohr-Steg-Rohr-Anordnung, 2 Ober- und Untertrommel, 3 Brennkammer, 4 Brenner, 5 Leerzug, 6 Verdampferrohr, 7 Überhitzer, 8 Rippenrohrreconomiser, 9 Verbindungsleitungen, 10 Eintrittskollektor, 11 Austrittskollektor

axial in Richtung der drei übereinander angeordneten Brenner (4). Seitlich an die Brennkammer schliesst ein Leerzug (5) an und daneben der Verdampferteil mit der Konvektionsheizfläche (6). Im Verdampferzug ist auch der Überhitzer (7) eingebaut. Er besteht aus einfachen horizontalen U-Rohrschlangen, die in die aussenliegenden Kollektoren eingeschweisst sind. Über dem Kessel liegt ein Rippenrohreconomiser (8), der aus zwei Bündeln besteht.

Das vorgewärmte Speisewasser strömt zuerst im Gegen- und dann im Gleichstrom durch den Economiser. Das auf ca. 180 °C aufgewärmte Wasser wird über ein Verteilrohr in die Obertrommel eingespeist. Von hier aus zirkuliert das Wasser im Naturumlauf über unbeheizte Fallrohre in die Untertrommel und dann bei gleichzeitiger teilweiser Verdampfung über die beheizten Steigrohre (1, 6) in die Obertrommel zurück. Der erzeugte Satttdampf verlässt die Obertrommel nach oben und wird über drei Verbindungsleitungen (9) zum vertikalen Überhitzer-Eintrittskollektor (10) geführt. Der überhitzte Dampf (245 °C, 20 bar Überdruck) verlässt den Kessel über den Austrittskollektor (11). Die Strahlungskessel des Typs ZL sind mit Frontfeuerung (4) ausgerüstet. In der Brennkammer (3) wird der Brennstoff total ausgebrannt. Im anschließenden Leerzug (5) gelangen die Rauchgase wieder zurück zur Frontwand. Im folgenden Verdampferteil werden die heissen Rauchgase an den Konvektionsheizflächen (6, 7) bis auf ca. 355 °C abgekühlt. Ein strömungsgerechter Verbindungskanal leitet die Rauchgase zum Economiser (8) über dem Kessel. Von dort werden die Rauchgase durch den Elektrofilter in den Kamin geleitet. In den drei *Brennern* je Kessel können Erdgase und Heizöle sowohl gleichzeitig als auch abwechselnd verbrannt werden. Um einen guten Ausbrand in den Kesseln zu gewährleisten, werden die Brennstoffmengen für jeden Brenner gemessen und die entsprechend notwendige Verbrennungsluft jedem Brenner zugeteilt.

Die Kessel können sowohl von Hand vor Ort als auch von Hand oder weitgehend vollautomatisch vom Kommandopult in der Warte aus bedient und gefahren werden.

Die bereits erstellten beiden Niederdruckdampfzeuger (20) mit je 100 t/h Dampferzeugung von 20 bar und 245 °C nehmen nur den Platz bis unter die Kote +12,00 m in den Kesselhaustürmen 1 und 2 ein (Bild 13). Darüber sind in den Türmen der Felder 1 und 2 noch die Wasseraufbereitung (32) sowie Druckhalte- und Ausgleichgefässe (31) für das Fernheiznetz installiert.

Die später zu erstellenden Mitteldruck-Dampfzeuger (22) mit je einer Dampferzeugung von 250 t/h (116 bar, 525 °C) werden die ganze Höhe der

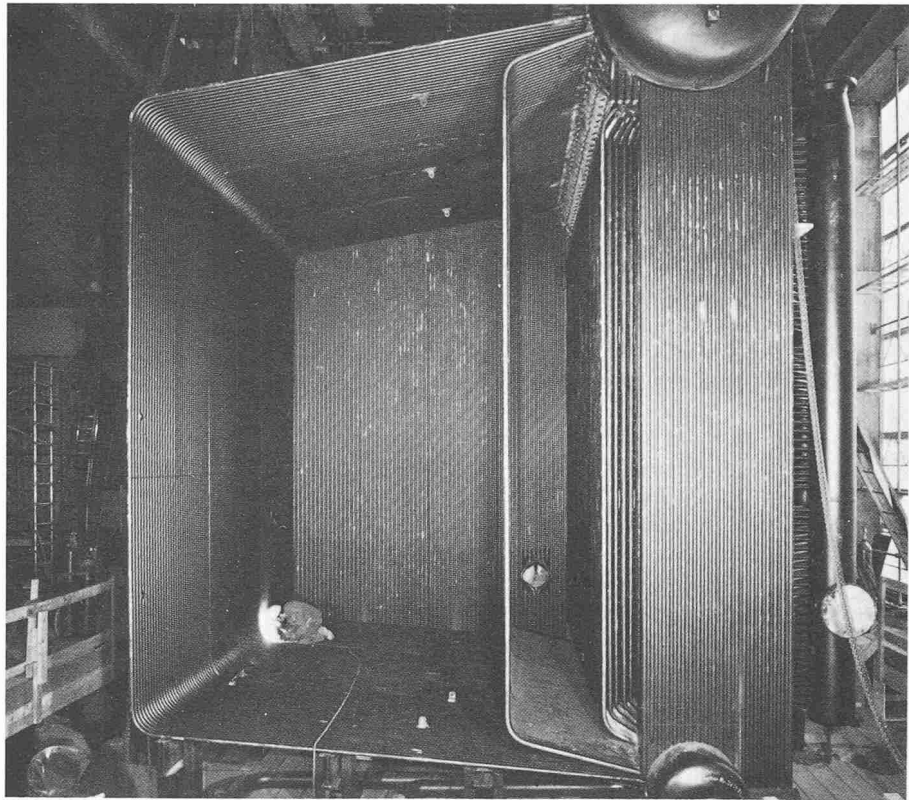


Bild 15. Sulzer-2 Trommel-Strahlungskessel, Typ ZL, Leistung 100 t/h, Druck 25 bar, Temperatur 245 °C. Blick in Brennkammer und Leerzug, Frontwand noch nicht montiert

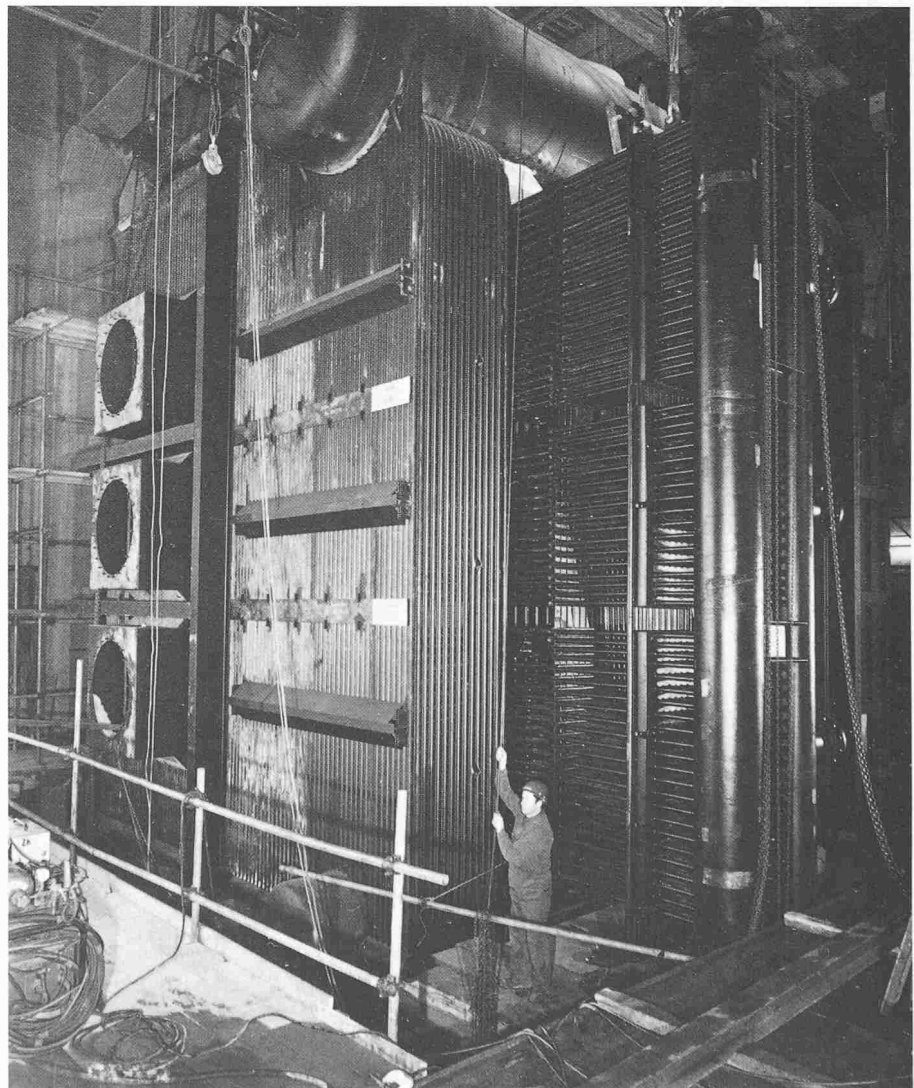


Bild 16. Sulzer-2 Trommel-Strahlungskessel, Frontansicht mit Brennergehäusen und Überhitzer vor Einbau

Kesselhaustürme beanspruchen. An der vertikalen Brennkammer werden die Brenner in der Frontwand angeordnet. Die Rauchgase strömen dann aus der Brennkammer nach oben durch die Konvektionsheizflächen (Überhitzer und Economiser) sowie durch einen Luftvorwärmer und verlassen das Kesselhaus über das Dach zu den Elektrofiltern (9).

Dampf-Turbogruppe

Die für den zweiten bis vierten Ausbau vorgesehenen Turbogruppen (23, 24) werden in die Aussparungen auf Kote $\pm 0,00$ m der Felder 3 bis 5 in der Maschinenhalle installiert (Bild 13). Der Dampf tritt über Eintrittsventile an der den Kesseln zugewandten Seite in die Dampfturbine ein. In der Turbine wird der Dampf in mehreren Stufen entspannt, tritt unten auf der den Kesseln abgewandten Seite wieder aus und wird im Keller zu den Umformern geführt. Zwischen einzelnen Stufen wird der für die Vorwärmer und Speiswasserbehälter-Entgaser benötigte Dampf aus der Turbine angezapft und weggeführt. Die in der Dampfturbine (23) erzeugte Rotationsenergie wird im Generator (24) in elektrische Energie umgewandelt. Der Generator liegt in der Achse der Turbogruppe dem Elektrotrakt zugewandt. So sind auch die Hochspannungsverbindungsleitungen vom Generator zu den Transformatoren im Elektrotrakt sehr kurz. Die Turbogruppen werden je nach Gegendruck eine Leistung von ca. 45 MW haben.

Verwendung der Wärme aus dem Wärme-Kraft-Kopplungsprozess

Der Betrieb im Heizkraftwerk gestaltet sich so, dass der Wärmebedarf zuerst mit den Wärme-Kraftblöcken abgedeckt wird. Den Spitzenbedarf bringen die Niederdruckkessel auf. Das Fernheisswasser wird stufenweise aufgeheizt wie aus Bild 12 ersichtlich. Die Wärme in Form von Dampf aus dem Wärme-Kraft-Kopplungsprozess gelangt ausnahmslos über Umformer (4), die auf Kote $\pm 0,0$, Feld 1 + 2 im Maschinensaal aufgestellt sind, in das Fernwärmenetz. Der Dampf heizt das Fernwärmewasser somit indirekt auf. Die Trennung ist notwendig, weil die Dampfdrücke und die Fernwärmenetzdrücke erhebliche Unterschiede aufweisen. Die dadurch entstandenen separaten Kreisläufe sind sehr erwünscht, weil damit eine Trennung der beiden Medien erreicht wird, resp. verschmutztes Netzwasser nicht in die Kessel gelangen kann.

Der Verbraucher erhält die Wärme als heisses Wasser. Der Leistungsbedarf variiert über das ganze Jahr gesehen

zwischen ca. 15 und 100%. Dies ist auch aus Bild 9 ersichtlich. Die Anpassung der jeweils erforderlichen Leistungen erfüllt man durch das Anheben oder Absenken der Fernwärmewassertemperaturen, sowie durch Regulierung der Heisswasserströme. Bei einer Aussentemperatur von -11°C wird mit einer Vorlauftemperatur von 130°C gefahren und während der Sommerzeit mit ca. 70°C . Dabei bewegen sich die Rücklauftemperaturen zwischen 70 und 40°C . Die Fernwärme-Wassertemperaturen gleiten also entsprechend den Aussentemperaturen. Dieses Vorgehen hilft zudem Wärme einzusparen, da die Abstrahlungs- und Konvektionsverluste dadurch verringert werden. Die beim Anheben und Absenken der Fernnetz-Wassertemperaturen entstehenden Volumenänderungen werden in Expansions-/Druckhaltegefässen ausgeglichen. Die angeschlossenen Netze haben einen Wasserinhalt von rund $12\,000\text{ m}^3$. Daraus resultieren mittlere Betriebsvolumenschwankungen von ca. 400 m^3 . Die vorhandene Expansionsanlage auf Bild 12 (13) dient für alle ans Werk angeschlossenen Netze, auch wenn sie mit unterschiedlichen Drücken ausgelegt sind. Die Druckhaltung ist jedem Netz separat zugeordnet. Die vorerwähnten Gefässe (13) sind im Feld 1 und 2 über den Niederdruckkesseln auf Kote +21.00 aufgestellt (Bild 13).

An Fernwärme- oder Fernheiznetze können Abnehmer mit normalen Radiatorenheizungen, Lüftungs- und Kli-

maanlagen, Brauchwarmwasser-Bereitern, evtl. auch solche mit Industrierwärmebedürfnissen angeschlossen werden. Es sind dies vor allem Wohnbauten, Verwaltungen, Schulen, Universitäten und Spitäler. Für Industrieverbraucher ist zu berücksichtigen, dass die tieferen Sommer-Fernheiztemperaturen die Anschluss- und Betriebsmöglichkeiten etwas einschränken.

Fernwärmeverteilung und Wärmetransport in Rohrleitungen

Alle im Heizkraftwerk erzeugte Wärme verlässt das Werk als heisses Wasser. Die Hauptverteilungsleitungen sind in unterirdischen, begehbaren Kanälen oder Stollen untergebracht (Bild 18). Diese Art der Rohrverlegung scheint auf den ersten Blick teuer zu sein. Die Vorteile sind klar ersichtlich, wenn man berücksichtigt, dass die vielen Leitungen nicht im gleichen Zeitraum montiert werden. Ferner entfallen Belästigungen des oberirdischen Verkehrs durch mehrmaliges Aufreissen und wieder Zudecken von Gräben und die damit verursachten Kosten. Ebenso gestalten sich Betriebskontrollen und Revisionen wesentlich einfacher. Für Montagezwecke und Unterhalt steht eine Stollenbahn (die erste U-Bahn Zürichs) mit elektrischem Antrieb zur Verfügung. Anhänger mit Montagekränen, Schweissmaschinen

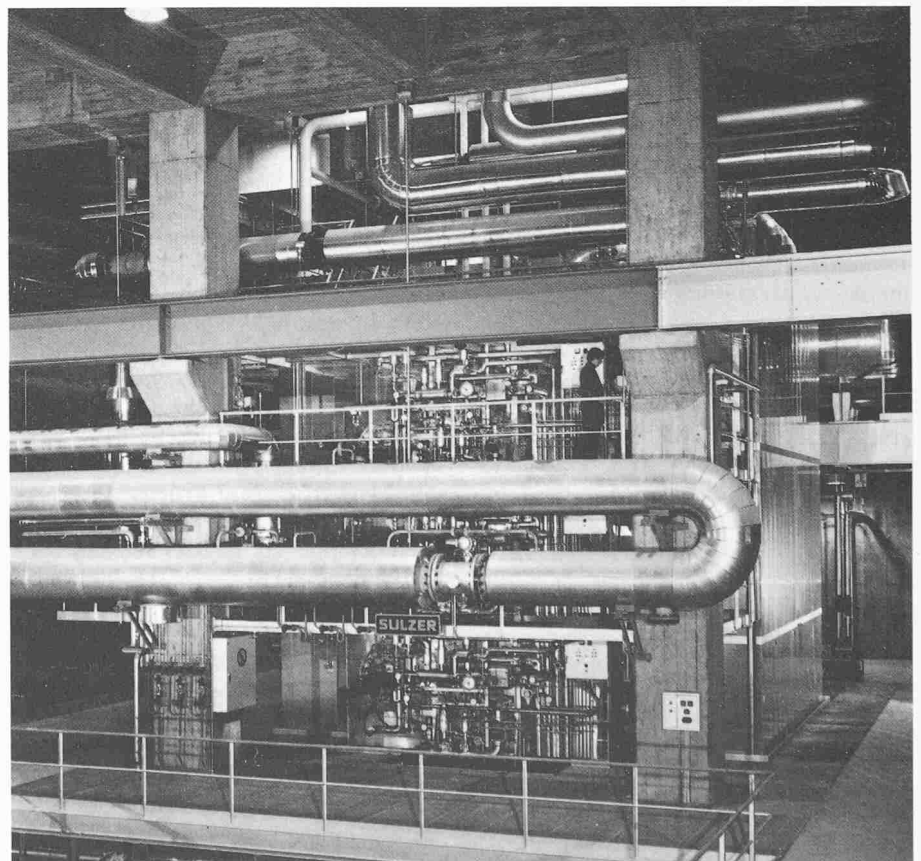


Bild 17. Sulzer-2 Trommel-Strahlungskessel, Frontansicht

und Rungen für den Rohrtransport vervollständigen den Wagenpark. Rohr- und Material-Einbringöffnungen erlauben ein schnelles Entladen und Einbringen der Transportgüter.

Eingeplante *Fernwärmebezüger* sind: *Kantonale Bauten* (wie Spitäler, Schulen, Verwaltungen, Universitäten etc.), *Eidgenössische Bauten* (ETH, Fernnetz der ETH), *Städtische Gebiete* (Quartiere Oerlikon und Schwamendingen, Zonen im Stadtzentrum), *Gemeinden* (Opfikon, Wallisellen).

In Bild 2 sind die Zusammenhänge der verschiedenen Abnehmerzonen mit dem Heizkraftwerk dargestellt. Vier Hauptstränge verlassen das Werk. Einer versorgt das Spital- und Hochschulquartier sowie später einmal Teile des Stadtzentrums, einer die Uni-Irchel, einer die städtischen Bedürfnisse für die Quartiere Oerlikon und Schwamendingen, und ein Strang bedient die Gemeinden Opfikon und Wallisellen. Die in den Schnitten (Bild 18) ersichtliche Dampfleitung versorgt Wärmebezüger, die ein höheres und konstantes Temperaturniveau verlangen. Sie arbeitet als Verbundleitung, wie im Kapitel von M. Breitschmid beschrieben ist. Bild 2 zeigt auch die Situation der begehrten und befahrbaren Fernwärmestollen und Kanäle. Die unterirdischen Gänge führen in die *Schwerpunkte* der Wärmeverteilzonen. An diesen Schwerpunkten verbinden vertikale Schächte von bis zu 60 m Höhe die Stollen mit den knapp unter der Erdoberfläche liegenden Verteilleitungen.

Die *Rohrleitungs montage* erfolgt unter normalen Umgebungstemperaturen. Wenn die Rohre in Betrieb stehen und bei voller Leistung ihre maximale Betriebstemperatur erreichen, dehnt sich zum Beispiel die Verbund-Dampfleitung zwischen dem Heizkraftwerk und dem letzten Steigschacht um rund 20 Meter aus. Solche *Längenausdehnungen* werden in sogenannten *Kompensatorkammern* aufgenommen. Die Kammern sind ca. alle 400 m seitlich der Kanäle und Stollen angeordnet. Sie enthalten die U-schenkelförmigen Ausgleicher. Ein halber U-Schenkel besteht aus zwei auf horizontale Abwinklung ausgelegten Gelenken, die durch ein Zwischenrohr verbunden sind. Der Grad der Abwinklung und das Mass der Länge des Zwischenrohres ergeben den möglichen Schub.

Bei kleineren Schüben kommen *Glattrrohr-Schenkelausgleich* zur Anwendung. Rohrleitungen, die Bewegungen von vielen cm ausführen, können nicht mehr mit den bisherigen kleinen Fernleitungen verglichen werden. Sie sind bereits als hochwertige Maschinen zu betrachten.

Die Auslegung des Systems und die notwendigen Rohrauflagerungen stellen an den Konstrukteur hohe Anforderungen. Wesentlich ist die Kenntnis

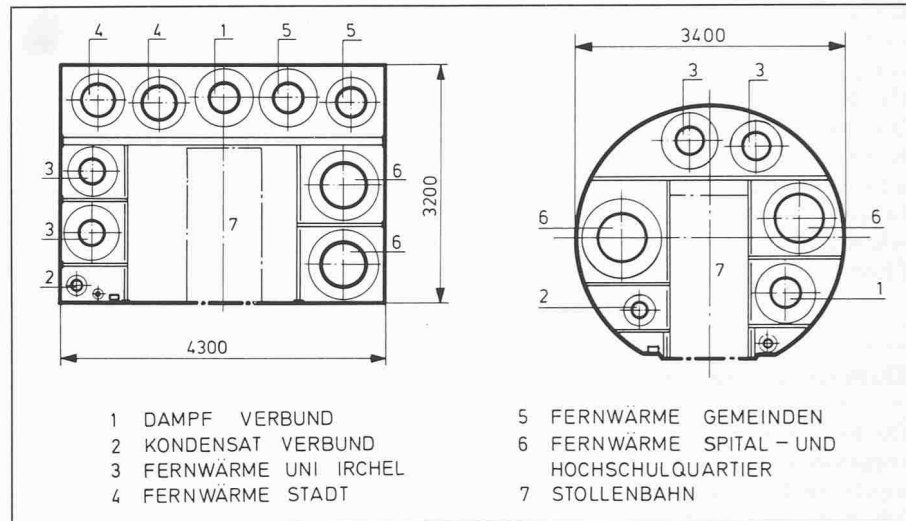


Bild 18. Links Kanalquerschnitt zwischen Heizkraftwerk und KVA II, rechts Stollenquerschnitt im bergmännisch vorgetriebenen Teil

Verbund- (Not-) Verbindungen und techn. Wärme-Dampfnetz

Leitung-Nr. Bezeichnung	Rohr Ø mm	Förderstrom t/h	Nennndruck ND
1 Dampf	400	100	25 (16)
2 Kondensat	150	100	16

Heisswasser Haupt-Fernwärmestränge

Leitung-Nr. Bezeichnung	Rohr Ø mm	Förderstrom t/h	Nennndruck ND
3 UNI-Irchel	350	1000	40
4 Stadt	450	1670	25
5 Gemeinden	400	1670	25
6 Spital- und Hochschulquartier	600	2360	40

darüber, wie das System sich in der Ruhe und im warmen Betriebszustand verhält. Festpunkte, bewegliche Rohrauflagerungen und Ausdehnungsmöglichkeiten sind die wichtigsten Faktoren, die bis ins Detail berechnet werden müssen.

Brennstoffversorgung

Eine der wichtigsten Nebenanlagen stellt die Brennstoffversorgung dar. Die Versorgungssicherheit muss im Rahmen des möglichen gewährleistet sein. Bild 19 zeigt vereinfacht die vorhandenen Brennstoffanlagen. In der vorliegenden Energiezentrale kann Leicht- und Schweröl sowie Erdgas verwendet werden. Um den Wärmebedarf der heutigen Etappe zu decken, stehen eine Tankanlage (5+6) mit 15 000 m³ Nennvolumen und ein Erdgasanschluss (9) für max. 32 00 Nm³/h vom Hochdruck-Verbundnetz der GVO zur Verfügung. In den ersten Betriebszeiten wird das Öl mit Zisternen-Camion (1) angeliefert. Es ist geplant, den Brennstoff in Kürze via einer Pipeline (3) aus einer *Grostantanlage* zu beziehen oder eine *eigene* ähnlich verfahren und alle Wasserkühler in einem Kreislaufnetz zusammengeschlossen.

ne *Bahn-Ölabladestation* (2) mit einer *Tankanlage* zu erstellen. Die dafür erforderlichen *Umstellverteiler* (4) und *Pumpstationen mit Ölfiltern* sind beträchtlich.

Die von der Feuerpolizei und vom Gewässerschutz vorgeschriebenen Massnahmen für Tagestanks hätte die hier sehr knappen Raumverhältnisse gesprengt. Daher verlegte man sich auf ein Ölpumpensystem, *Lagertank* (5+6) *Transferzirkulationspumpen* (7+8), *Ringleitung*, *Öltank*, bzw *Pumpensaugstutzen*. Es besteht ein Leichtöl- und ein Schweröl-Ringsystem. Nach der Ölentnahme aus den Tanks wird das Öl *vorgefiltert*. Das Schweröl wird in den Tanks *vorgeheizt* und durch *beheizte Rohrleitungen* dem Verbraucher zugeleitet. Die Beheizung der Öltanks, Filter, Pumpen und Rohrleitungen erfolgt über ein separates Heisswassersystem. Die *Nachheizung* (15) des Öls auf die Solltemperatur vor den Ölbrennern (12) geschieht ebenfalls über das erwähnte Heisswassersystem.

Maschinenkühlung und Lüftung der Zentrale

Es mag vorerst vielleicht verwundern, wenn die Kühlung der verschiedenen

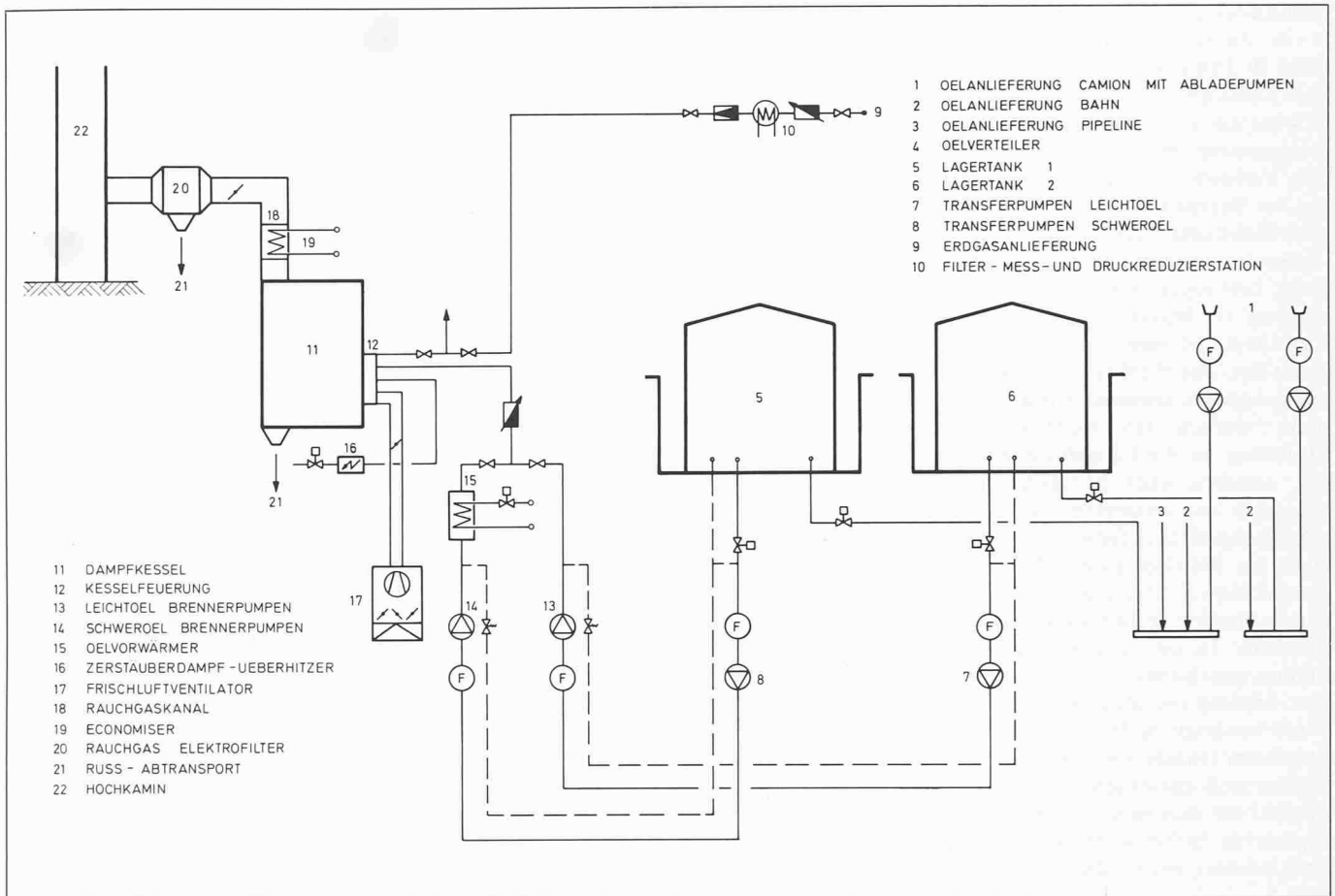


Bild 19. Brennstoffversorgung, Brennluft und Rauchgasschema

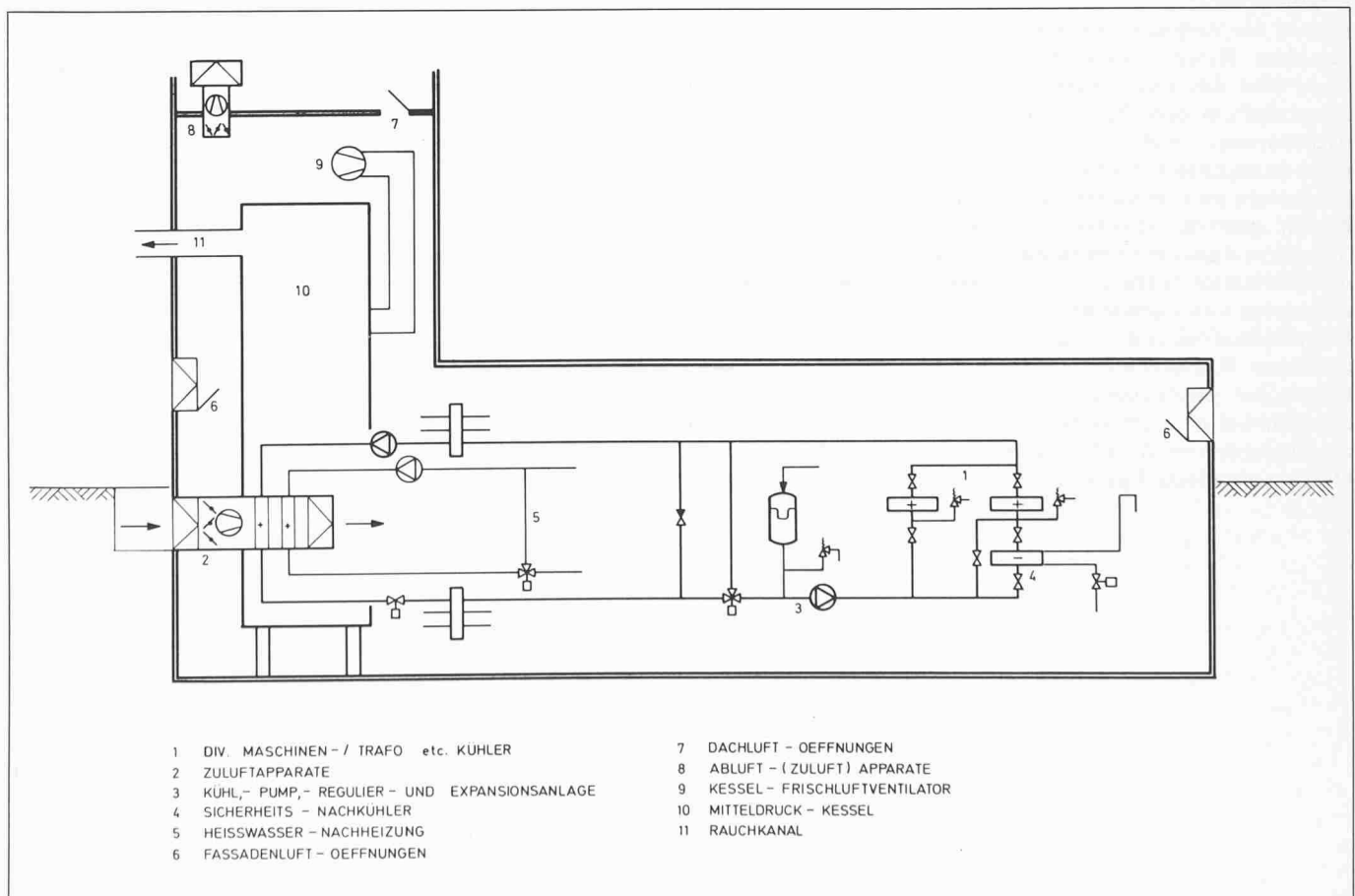


Bild 20. Prinzipschema der Kühl- und zentralen Lüftungsanlage

Maschinen mit der Lüftung der Zentrale in Zusammenhang gebracht wird (Bild 20; Prinzipschema).

Zur *Kühlung*. In jedem Kraftwerk fällt Wärme aus den verschiedenen Umformungsprozessen an. Es sind jene kleinen Verluste in Form von Wärme wie sie bei Transformatoren, Generatoren und Elektromotoren (1) auftreten. Andererseits entsteht Wärme durch Reibung, hervorgerufen durch die Drehbewegung in Maschinen, wie Pumpen, Turbinen, Getriebe und Kompressoren. Beim Bau des Werkes wurde Wert darauf gelegt, die *sekundäre Wärmeenergie* nicht einfach via Konvektion und Strahlung an die Umgebung zu verlieren, sondern nach Möglichkeit nutzbringend zu verwerten. So erhielten zum Beispiel die *Transformatoren* anstelle der üblichen Luft-Ölkühler *Wasser-Ölkühler*. Überall, wo es sich lohnte, wurde ähnlich verfahren und alle Wasserkühler in einem Kreislaufnetz zusammengeschlossen.

Zur *Lüftung* der Zentrale: Ein solches Werk benötigt im Innern einen *Frischlufersatz*, einmal zur *Durchlüftung* der Räume und ausserdem für den *Luftbedarf* (9) der *Brenneranlagen der Dampfkessel* (10). Dabei wird die erste Forderung bei entsprechender Anlagendisposition durch die zweite erreicht. Es ergab sich, dass der Frischluftbedarf für die Kesselanlagen der Luftmenge entsprach, die für die Durchlüftung der Zentrale erforderlich ist. Nun konnte die Frischluft einfach von aussen über Zuluftapparate (2) in die Zentrale geleitet und die Verbesserungsluft (9) direkt aus dem Raum entnommen werden. Nun wäre das Einströmen von kalter Aussenluft in den Raum für das Betriebspersonal und die Einrichtungen recht unangenehm. Die kalte Frischluft von aussen muss erwärmt werden. Statt hierfür wertvolle Energie zu verwenden, dient dazu die vorstehend erwähnte Kühlwasser-Wärme. Der Kreislauf (Abwärme von irgendeiner Maschine – Frischluftaufheizung – zurück zu irgendeiner Kühlstelle einer Maschine), wäre somit geschlossen. Sollte einmal die Kühlwärme nicht ausreichen, kann die Aussenluft im Zuluftapparat mittels Heisswasser (5) nachgeheizt werden.

Es ist im weiteren leicht absehbar, dass der Brennerfrischluftbedarf nicht unbedingt synchron mit der Kühlwärme verläuft. Für fehlende oder überschüssige Raumluft dienen separate, umkehrbare Lüftungsaggregate (8), die im Dach des Kesselhauses eingebaut sind. Dem gleichen Zweck dienen die Fassadenklappen (6) und die Dachluft-Öffnungen (7).

Abwasser-Neutralisation

Die im Werk anfallenden *nicht neutralen Abwasser* wie *Rückspülwasser der Wasseraufbereitungsanlage*, *Ab-schlammwasser der Kesselanlagen*, *Leckflüssigkeiten vom NaOH- und HCl-Ablad* dürfen selbstverständlich nicht in die öffentlichen Gewässer abgeleitet werden. In einem im Untergeschoss platzierten Sammelbecken von rund 100 m³ Inhalt wird das nicht neutrale Abwasser gesammelt und zur Neutralisation vorbereitet. Erreicht der Wasserstand in chemikalienfest ausgekleideten Betonbecken ein Drittel Höhe, so startet die Umwälzpumpe und setzt das Wasser in Zirkulationsbetrieb. Dadurch entsteht eine gute Durchmischung der Abwässer und damit eine gleichmässige Salzkonzentration.

Erreicht der Wasserstand durch weiteren Abwasserzufluss ca. drei Viertel des Beckeninhalts, stoppt die Umwälzpumpe. Dies ist zugleich der Beginn für die Inbetriebsetzung der *Neutralisation*, die folgendermassen verläuft: An separaten Beckenstutzen sind Förderpumpen angeschlossen. Sie transportieren die durchmischten Abwässer zur Durchlaufneutralisation die in einem vertikalen Kunststoffbehälter von 6 m³ Inhalt untergebracht ist und mit einem Rührwerk versehen ist. Nun wird unter dauerndem Rühren, je nach pH-Wert, Säure oder Lauge zudosiert, bis das Abwasser den vorgeschriebenen pH-Wert erreicht hat. Über einen Überlauf fliesst das so neutralisierte Wasser in ein Endkontrollbecken. Hier wird der pH-Wert nochmals gemessen und registriert. Ändert sich der pH-Wert des Abwassers über den eingestellten Grenzbereich,

wird der Ausfluss in die öffentlichen Gewässer verhindert und das Abwasser erneut in das Sammelbecken geleitet. Sollte nun dadurch der Wasserstand im Sammelbecken die Dreiviertel-Marke wesentlich übersteigen, so unterbricht ein Niveauschalter eine allfällig stattfindende Regeneration (grösster Abwasserzufluss) der Vollentsalzungsanlage. Die stündliche Leistung der Durchlaufneutralisation beträgt 25 m³.

Verschiedenes

In das vorliegende Werk sind noch *weitere Installationen und Anlagen* integriert, wie:

Anlage	Zweck
Wasserversorgung	Allgemeine Verwendung, Feuerbekämpfung, Wasseraufbereitung, Brauchzwecke
Wasseraufbereitung	Entsalzung des Kessel- und Fernheizungswassers
Druckluftanlage	Luft für Steuerung, Brennerausblasung, Werkzeuge, etc.
Klimaanlage	Klimatisierung für Kommandoraum, Relaisraum
Lüftungen	Für Traforäume, Stapelräume, Stationen, Maschinenhalle, Kesselhaus
Brandschutz-Schaumanlage	Brandbekämpfung für Tankanlage und allg. Zwecke
Krane	In Maschinenhalle Kesselhaus, Werkstatt und Kamin für Montagen und Unterhalt
Sekundäre Heisswasseranlage	Öltankheizung, Begleitheizung, Ölvorwärmung und Raumwärme
Warmwasserheizung	Raumheizung und Wärme für Klima- und Lüftungsanlagen sowie für Brauchwarmwasser
Abwasseranlage	Für die Ableitung häuslicher Abwässer

Im vorliegenden Bericht wird darauf verzichtet, solche allgemein bekannte Installationen im Detail zu erläutern.