

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

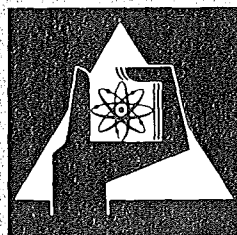
August 1973

KFK 1842

Institut für Reaktorbauelemente

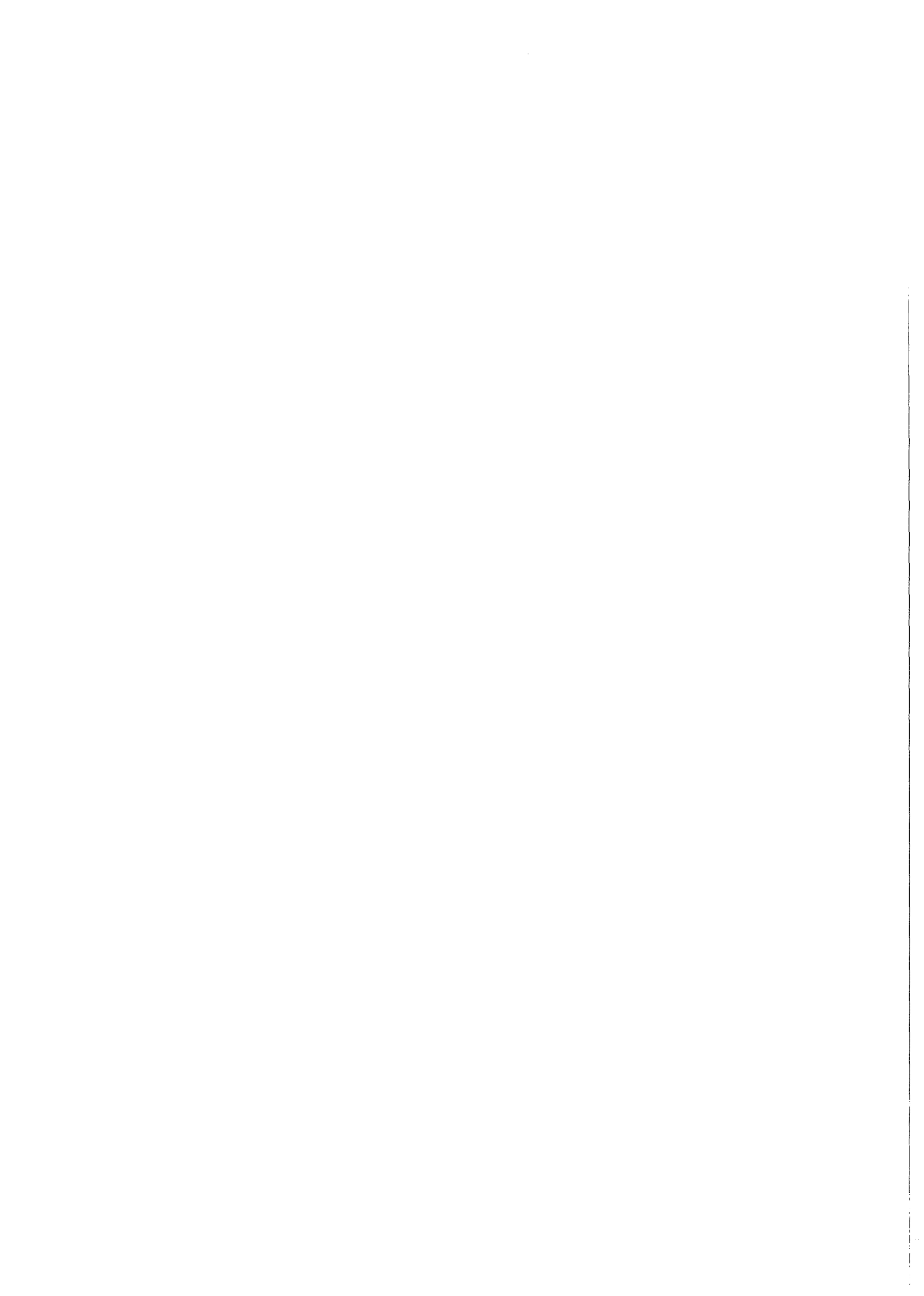
**Heißdampf-Korrosions-Kreislauf zur Untersuchung
des Korrosionsmechanismus unter Wärmeübergang
und im isothermen Zustand**

K. Marten, J. Vasarhelyi



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 1842

Institut für Reaktorbauelemente

Heißdampf-Korrosions-Kreislauf zur Untersuchung
des Korrosionsmechanismus unter Wärmeübergang
und im isothermen Zustand.

K.Marten, J.Vasarhelyi

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG MBH., KARLSRUHE

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Kurzfassung	4
Abstract	4 a
1. Einleitung	5
2. Aufgabenstellung	6
3. Aufbau des Kreislaufes	7
3.1 Funktionsbeschreibung	7
3.2 Räumliche Aufteilung	9
3.3 Thermodynamische Auslegung	10
4. Werkstoffe für den Kreislauf	11
5. Beschreibung der Anlagenteile	14
5.01 Kessel	14
5.02 Verdampfer	15
5.03 Elektrisch beheizter Dampfüberhitzer	16
5.04 Dampf-Filter	17
5.05 Korrosions-Teststrecken (unter Wärmeübergang)	18
5.06 Isotherme Teststrecken	20
5.07 Kondensationsanlage	21
5.08 Kondensatpumpen	22
5.09 Kondensatreinigungs-Anlage	23
5.10 Speisewasserbehälter mit Entgaser	23
5.11 Speisewasserpumpen	25
5.12 Vorwärmer	27
5.13 Speisewasser-Aufbereitungs-Anlage	29
5.14 Armaturen	30
6. Instrumentierung	31
6.1 Regelung, Steuerung und Überwachung	33
6.1.01 Speisewasser-Druckerzeugung	33
6.1.02 Frischdampf-Erzeugung	34
6.1.03 Satttdampf-Erzeugung	37
6.1.04 Dampfumformstationen	38
6.1.05 Speisewasser-Vorwärmung	39

	<u>Seite</u>
6.1.06 Kondensation	40
6.1.07 Speisewasser-Entgasung	40
6.1.08 Speisewasser-Dampf- und Kondensatqualität	41
6.1.09 Betrieb der Korrosions-Teststrecken unter Wärmeübergang	44
6.1.10 Betrieb der isothermen Teststrecken	45
6.2 Ausrüstung der Schaltwarten	47
6.3 Montage der Geräte und elektrische Verbindungen	48
7. Inbetriebnahme	50
Verzeichnis der Abbildungen	51
Literaturhinweise	52

Kurzfassung

Zur Auswahl geeigneter Werkstoffe für Dampfüberhitzer, die durch Gase oder Flüssigmetalle betrieben werden, sowie für Brennelementhüllen dampfgekühlter Reaktoren muss der Korrosionsmechanismus an austenitischen Materialien, ausgelöst durch vorbeiströmenden Heissdampf, vor allem unter Wärmeübergang untersucht werden. Für die Untersuchungen wurde der Bau eines geeigneten Kreislaufes notwendig. Unter Berücksichtigung besonderer Kriterien, wie hohe Dampfreinheit und sehr variable Systemdrücke wurde die Anlage ausgelegt, konstruiert, gebaut und in Betrieb genommen. Der Kreislauf ist ein geschlossenes Wärmesystem mit sechs Teststrecken zur Aufnahme von elektrisch indirekt beheizten Stäben für die Untersuchung des Korrosionsmechanismus unter Wärmeübergang und zwei Teststrecken zur Korrosionsuntersuchung von Materialien in einem isothermen Zustand.

Da der moderne Kraftwerksbau hohe Systemdrücke und Temperaturen anstrebt, wurde die Anlage für max. 300 atü ausgelegt. Eine Heizstab-Teststrecke und die beiden isothermen Teststrecken wurden für eine max. Dampftemperatur von 650 °C gebaut. Die besondere Reinheit des Dampfes und die hohen Warmfestigkeitseigenschaften stellten Probleme bezüglich der Werkstoffauswahl dar.

Bei der Instrumentierung musste das Hauptaugenmerk auf einen geringen Personalaufwand für den Betrieb der Anlage bei räumlich getrennten Aufstellungsmöglichkeiten gelegt werden.

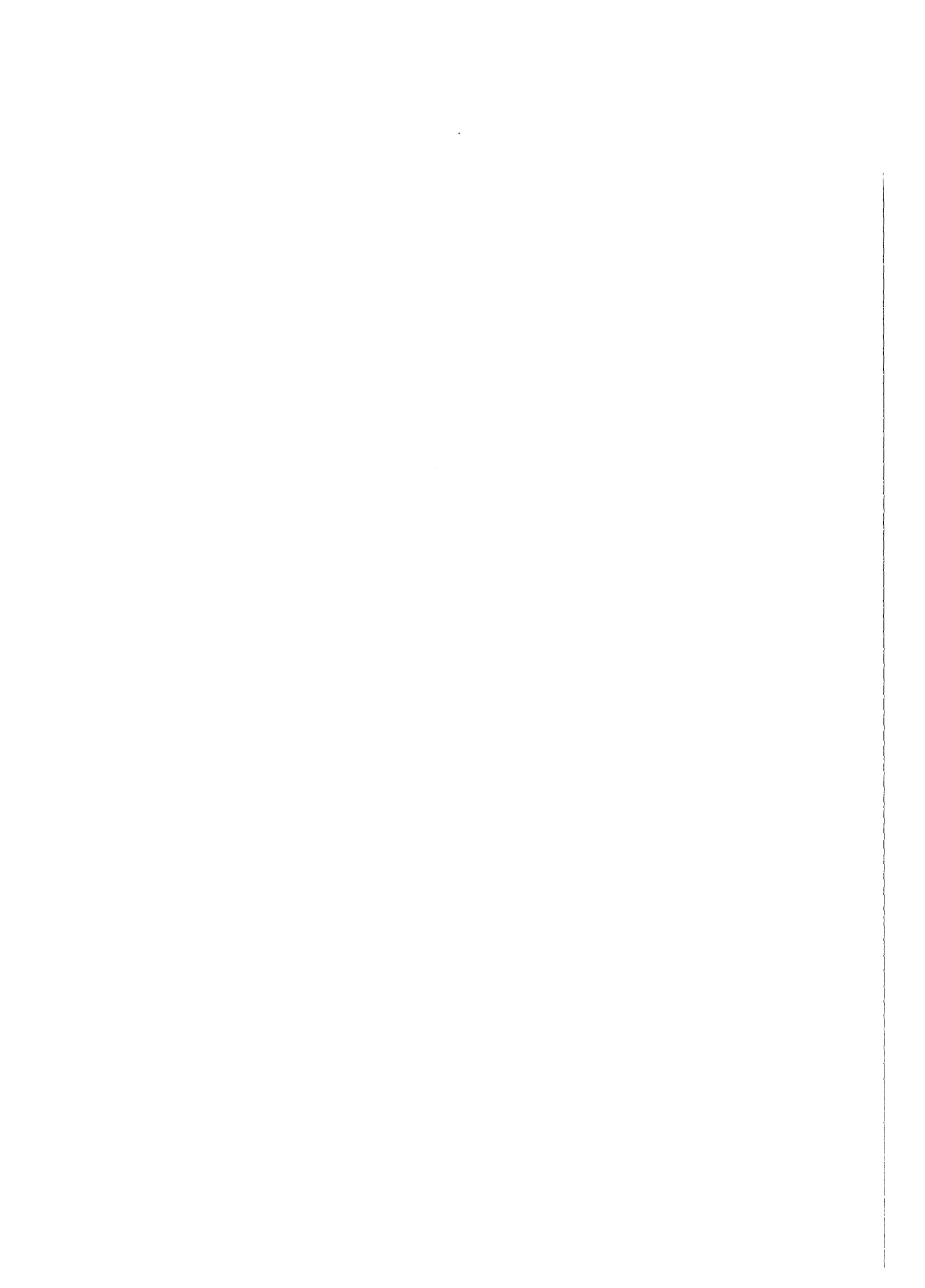
Superheated Steam-Korrosion-Loop for the investigation of the corrosion mechanism under conditions of heat transfer and in an isothermal state.

Abstract

The selection of appropriate materials for steam superheaters operated by gases or liquid metals and for fuel element claddings used in steam-cooled reactors must be preceded by an investigation into the corrosion mechanism acting upon austenitic materials and caused by a superheated steam flow past them, special attention being paid to heat transfer. The investigations called for the construction of a suitable circuit. The facility was designed, constructed and commissioned taking into account specific criteria, such as high-purity steam and very variable system pressures. The circuit represents a closed thermal system. It consists of six test sections accommodating rods with indirect electrical heating for the investigation of the corrosion mechanism under conditions of heat transfer and two test sections used for corrosion investigations of materials in an isothermal state.

Since the goal in the design of modern power units is to achieve high system pressures and temperatures, the plant was rated for a maximum pressure of 300 atm. One heating rod test section and the two isothermal test sections were built to withstand a maximum steam temperature of 650°C. The extremely high purity of the steam and the good hot strength properties raised problems relative to the selection of materials.

In instrumentation special consideration had to be given to minimizing personnel expenditure for plant operation while allowing the instruments to be installed in physically separate areas.



Einleitung

Der Heißdampf-Korrosions-Kreislauf dient zur Untersuchung des Korrosionsmechanismus unter Wärmeübergang und der allgemeinen, ebenmäßigen Heißdampf-Korrosion, vor allen bei austenitischen Werkstoffen.

Parameter sind Spannungszustand des Werkstoffes, die Oberflächengeometrie und -struktur sowie unterschiedliche Dampfzustände.

Das Ziel der Versuche ist es, in erster Linie Unterlagen zu schaffen, die zur Auswahl geeigneter Werkstoffe für den Bau von Dampferzeugern, die durch flüssige Metalle oder Gase betrieben werden, sowie zur Herstellung von Brennelement-Hüllen dampfgekühlter Reaktoren dienen. Der Bau des Kreislaufes mit Teststrecken zur Untersuchung des Korrosionsmechanismus unter Wärmeübergang und bei isothermem Zustand und die sich daran anschließenden Experimente mit der Anlage werden im Rahmen des schnellen Brütters finanziert.

eingereicht am 13.6.1973

2. Aufgabenstellung

Der Kreislauf wurde so universell gebaut, dass neben den speziellen Untersuchungen zur Übertragbarkeit der Korrosionsuntersuchungsergebnisse für die Auswahl von Hüllwerkstoffen für einen 1000 MWe-dampfgekühlten schnellen Brutreaktor auch grundlegende Korrosionsuntersuchungen für den Reaktor-Kraftwerksbau sowie die Verfahrenstechnik durchgeführt werden können. Da der modernere Kraftwerksbau hohe Systemdrücke anstrebt, wurde der Kreislauf für einen maximalen Dampfdruck von 300 atü ausgelegt.

Um für die speziellen Untersuchungen von Brennstab-Hüllmaterialien unter Wärmeübergang möglichst gleiche Dampfqualität wie im Realfall zu erhalten, wird der Dampf in einem Verdampfer nach dem Löfflerprinzip erzeugt. Die Verwendung des Löffler-Verdampfers ist ein Verfahren, um bei dampfgekühlten schnellen Brutreaktoren den Kühldampf zu erzeugen.

Für die Korrosionsuntersuchungen bei Wärmeübergang werden elektrisch beheizte Stäbe verwendet. Die Hüllen entsprechen in Form und Abmessungen den Reaktorbrennelement-Hüllen. Es sind 6 Teststrecken vorgesehen, in denen je ein Stab getestet werden kann. Die Dampfmenge des Kreislaufes und die Abmessungen der Teststrecken sind so ausgelegt, dass auch ein 19-Stabbündel untersucht werden kann. Fünf Teststrecken sind für eine max. Dampfaustrittstemperatur von 540°C und eine Teststrecke für 650°C ausgelegt. Die installierte elektrische Leistung pro Teststrecke beträgt 75 kW. Mit den elektrisch beheizten Stäben kann bei einer max. Hülltemperatur von 700°C ungefähr 300 Watt/cm² erreicht werden.

Für die Korrosionsuntersuchungen bei isothermen Verhältnissen sind 2 Teststrecken vorgesehen. Ihre Versorgung mit

Dampf kann direkt vom Kessel als auch durch die Teststrecke mit der max. Austrittstemperatur von 650°C erfolgen. Die Teststrecken können parallel- oder hintereinander geschaltet mit Dampf gespeist werden.

3. Aufbau des Kreislaufes

Der Korrosionskreislauf ist ein geschlossenes Wärmekreislaufsystem, Abb. 3. Die Wärme wird im Kessel, im elektrischen Dampfüberhitzer und über die Heizstäbe in den Teststrecken zu- und im Kondensator wieder abgeführt.

3.1 Funktionsbeschreibung

Zur Beschreibung des Versuchskreislaufes dient das Funktionsschaltbild, Abb. 1. Der Kessel (1) versorgt den Kreislauf mit Frischdampf. Zum Anfahren des Kessels ist der Schieber (V 1) geschlossen, und mit dem Anfahrventil (V 2) wird der Druck im Kessel eingestellt. Dem Anfahrventil ist ein Anfahrventilspanner (13) nachgeschaltet. Das Überströmventil (V 3) regelt den Frischdampfdruck. Frischdampf und vorgewärmtes Speisewasser erzeugen im Verdampfer (2) den Sattdampf. Die umschaltbaren mechanischen Dampffilter (4.1 und 4.2) halten kleinste Festkörper zurück. Das Bypassventil (V 7) stellt den Vor- und Rückdruck für die Teststrecken (5) ein. Die elektrischen Heizstäbe in den Teststrecken (5) überhitzen den Dampf je nach eingestelltem Dampfdurchsatz und elektr. Energiezufuhr in den Heizstäben. Der Dampf der Teststrecke I (5.6) strömt über das Ventil 8 und dem mechanischen Dampffilter (4.3) durch die isotherme Teststrecke I (6.2) und von dort über das Ventil (V 9) durch die isotherme Teststrecke II (6.1). Das Dampfumform-Ventil (V 10) hält den Gegendruck für die Teststrecken aufrecht und enthitzt den Dampf auf Satt- und Rückdampfzustand. Die Reduzierstation (V 11) stellt den Druck ein, den der Vorwärmer I (12.2) zur Speisewasseraufwärmung

für den Verdampfer (2) benötigt. Das Dampfumformventil II (V 12) regelt den zur Entgasung im Speisewasserbehälter (10) erforderlichen Dampfdruck und spritzt die Restüberhitzung ab. Der luftgekühlte Kondensator (7) entzieht dem Dampf bei ca. 1 ata die Verdampfungswärme. Die wechselseitig zu schaltenden Kondensatpumpen (8.1 u. 8.2) fördern das Kondensat über das Ventil (V 13) durch den dem Kondensator-Kühlstrom parallel geschalteten Nachkühler. Die Unterkühlung ist notwendig, um die Anionen- und Kationen-Austauscher des Mischbettfilters (9) (regenerierbar) zu erhalten. Nach dem Verlassen der Kondensatreinigung fließt das Kondensat in den Speisewasserbehälter (10) zurück. Bei Normalbetrieb bringen 2 Speisewasserpumpen (11) das Speisewasser auf den erforderlichen Druck. Eine Speisewasserpumpe dient zur Reserve. Das Bypass-Ventil (15) regelt den Enddruck der Speisewasserpumpen (11), der dem Kesselenddruck angepasst wird. Das Bypass-Ventil (V 16) dient zur Einstellung des Vordruckes für die Speisewasserversorgung des Verdampfers und der beiden Dampfumformstationen. Das Ventil (V 17) regelt den Wasserstand im Verdampfer (2). Das Ventil (V 19) stellt abhängig vom vorgegebenen Sollwert die Speisewassermenge des Kessels ein. Der Vorwärmer II ist dem Vorwärmer I nachgeschaltet und nutzt das Temperaturgefälle des anfallenden Kondensats für das Kessel-Speisewasser aus. Das Ablauf-Ventil (V 19) regelt das Kondensat-Niveau im Vorwärmer I (12.2).

Reicht die Dampfmenge oder Dampftemperatur für die isothermen Teststrecken von Teststrecke I (5.6) nicht aus, geschieht die Dampfversorgung direkt vom Kessel. Bei einer gewünschten Eintrittstemperatur für die Teststrecken, die höher liegt als die Kesselaustrittstemperatur, heizt der 3-stufige, elektrische Überhitzer (3) den Dampf auf. Der Dampf gelangt über den mechanischen Filter 4.3 zu den isothermen Teststrecken, die sowohl parallel wie auch in Serie geschaltet werden können.

Werden die Teststrecken mit überkritischem oder stark überhitztem Dampf beschickt, wird der Verdampfer über die Ventile (V 4) und (V 5) umfahren.

Bei ausreichender Kondensatqualität wird die Kondensat-Reinigungsanlage nicht benutzt. Die Kondensatpumpen fördern das Kondensat dann direkt über das Ventil (V 14) zum Speisewasserbehälter zurück.

3.2 Räumliche Aufteilung des Kreislaufes

Im Funktionsschaltbild Abb. 1 ist die räumliche Aufteilung des Kreislaufes durch eine strichpunktierte Linie markiert. Der Lageplan Abb. 2 gibt eine Übersicht über den Standort der Anlagenteile.

Die Halle 272 reichte zur Unterbringung des gesamten Kreislaufes nicht aus. Es musste eine neue Halle gebaut werden. Der Frischdampferzeuger für den Kreislauf wurde aus bedienungstechnischen Gründen in der alten Halle 272 untergebracht, während der Kreislauf mit den Teststrecken in der neuen Halle 413 Aufstellung fand. Die Kondensatreinigungsanlage ist neben der um eine Strasse erweiterten alten Vollentsalzungsanlage aufgestellt, damit die gleichen verfahrenstechnischen Einrichtungen zur Regenerierung verwendet werden können. Die Instrumentierung des Kreislaufes ist so ausgestattet, dass der Kesselfahrer ohne weiteres die anliegende Schaltwarte verlassen kann, um eine Regenerierung vorzunehmen oder den Kessel und die Speisewasserpumpen zu kontrollieren.

Da die Schaltwarte in dem Bau 272 zur Aufnahme aller für den Kreislauf benötigten Bedienungs-, Anzeige- und Registriergeräte nicht ausreichte, wurde der Leitstand für die Teststrecken in die Schaltwarte des Baus 413 installiert. Die Grenzwertsignale des Teststrecken-Leitstandes werden als Sammelsignal in die Schaltwarte 272 übermittelt. So

genügt es, den Leitstand der Teststrecken bei einem Kontrollgang des Loops mitzuüberprüfen.

Mit dem Kessel ist auch der Vorwärmer des Kesselspeisewassers und der Speisewasserbehälter in der Halle 272 untergebracht. Alle übrigen Anlageteile sind in der Halle 413 montiert. Der luftgekühlte Kondensator steht auf dem Dach des Hallenanbaues. Da der Kondensatsammelbehälter des Kondensators sich in der Halle befindet, brauchen beim Stillstand keine Frostschäden befürchtet zu werden.

Die Rohrleitungen zur Verbindung der beiden Anlageteile sind in einem Rohrkanal verlegt.

3.3 Thermodynamische Auslegung des Kreislaufes

Der wichtigste Gesichtspunkt bei der Auslegung war die Flexibilität der Anlage für die verschiedensten Versuchsprogramme. Erst an 2. Stelle stand die wirtschaftliche Auslegung der Anlage. In den Wärmeschaltbildern Abb. 3 a - 3 d sind die Grenzfälle wärmebilanzmässig durchgerechnet. Hieraus ergeben sich die verschiedenen max. Belastungen der Anlageteile.

Wärmeschaltbild 3 a:

Eintrittszustand des Sattedampfes für die Heizstab-Teststrecken bei 80 atü.

Max. Austrittstemperatur der Teststrecken bei max. Stableistung. Die beiden isothermen Teststrecken sind der Heizstab-Teststrecke I nachgeschaltet.

Kondensat wird ohne Nachkühlung gefahren.

Betrieb von 2 Speisewasserpumpen.

Wärmeschaltbild 3 b:

Ausnutzung der max. Dampfkapazität des Kessels.

Max. elektrische Leistung für die 6 Heizstab-Teststrecken.

Max. Ausnutzung der elektr. Überhitzung mit nachgeschalteten isothermen Teststrecken.

Kondensat über Nachkühler und Reinigungsanlage.

Max. Belastung des Kondensators.

Betrieb von 3 Speisewasserpumpen.

Wärmeschaltbild 3 c:

Ausnutzung der max. Dampfkapazität des Kessels und des Verdampfers.

Max. elektr. Leistung für die 6 Heizstab-Teststrecken.

Die beiden isothermen Teststrecken sind der Heizstab-Teststrecke I nachgeschaltet.

Max. Belastung der Vorwärmer I und II.

Betrieb von 3 Speisewasserpumpen.

Wärmeschaltbild 3 d:

Max. Druck und Menge des Kessels.

Wegen des überkritischen Bereichs kein Betrieb des Verdampfers und der Vorwärmer.

Max. elektr. Leistung für die 6 Heizstab-Teststrecken.

Betrieb von 2 Speisewasserpumpen.

4. Werkstoffe für den Kreislauf

Der Überhitzerteil des Kessels, der Verdampfer, der elektr. Überhitzer, die Teststrecken, die Filtergehäuse sowie die Rohrleitungen, einschliesslich Armaturen vom Verdampfer und elektr. Überhitzer bis zur Dampfumformstation I wurden aus austenitischem Material ausgeführt. Der Überhitzerteil des Kessels ist für eine max. Temperatur von 520°C in W.-Nr. 1.4961 (X 8 CrNiNb 1613) ausgeführt. Für eine Temperaturbelastung bis 540 °C sind Apparate und Rohr-

leitungen aus W.-Nr. 1.4571 (X 10 CrNiMoTi 1810) und die Armaturen aus W.-Nr. 1.4550 (X 10 CrNiNb 18 9) gefertigt. Die Apparate, Rohrleitungen und Armaturen für Temperaturbelastungen bis 650°C sind aus den Werkstoffen W.-Nr. 1.4401 (X 5 CrNiMo 1810) und W.-Nr. 1.4981 (X 8 CrNiMoNb 1616). Der Werkstoff W.-Nr. 1.4981 hat gegenüber W.-Nr. 1.4401 bessere Warmfestigkeitseigenschaften, dafür ist er schlechter schweisbar. Deshalb wurde nach Vereinbarung zwischen der Lieferfirma Steinmüller und uns überwiegend das Material W.-Nr. 1.4401 verwendet.

Der hohe Betriebsdruck von 300 atü bei 650°C ergab bei der Verwendung von W.-Nr. 1.4401 sehr grosse Wanddicken, so dass die üblichen Berechnungsunterlagen, die bis zu einem Durchmesserhältnis $D_a/D_i < 2$ gehen, nicht ausreichen. Mit einer 10^5 h-Bruchfestigkeit von 7 kp/mm^2 würde das Durchmesser Verhältnis weit über 2 hinausgehen. Da in dickwandigen Rohren eine etwa hyperbolische Spannungsverteilung herrscht, mit einer Spannungsspitze an der Innenwand, kann durch Vergrößerung der Wanddicke der Spannungsmittelwert gesenkt, jedoch die Innenwand nicht entlastet werden. Deshalb wurde ein $D_a/D_i = 2$ von der Fa. Steinmüller festgelegt. Nach der Gestaltänderungsenergie-Hypothese errechnet sich die Lebensdauer unter Annahme der unteren Festigkeitswerte des Streubereiches für die Innenwand zu $3,2 \cdot 10^4 \text{ h} = \text{ca. } 4 \text{ Jahre}$ und für die Aussenwand zu $1,8 \cdot 10^5 = \text{ca. } 21 \text{ Jahre}$. Wenn vorausgesetzt wird, dass die Spannungsspitzen an der Innenwand sich durch plastische Verformung abbauen, dürfte die Lebensdauer etwas gering angenommen sein. Aus Sicherheitsgründen wurde vom TÜV-Mannheim die Auflage gemacht, nach 10^4 Betriebsstunden Aufweitungsmessungen durchzuführen. Zu diesem Zweck sind 3 Messstellen angebracht und zwar an den beiden isothermen Teststrecken (6) jeweils eine und eine in der Rohrleitung danach.

Der C-Gehalt der Werkstoff-Nr. 1.4401 wurde im Zeugnis entsprechend der Schmelzanalyse mit 0,05 und 0,042% angegeben. Die Fa. Steinmüller fand aber im Gegensatz zur Schmelzanalyse in einer Stückanalyse bei 19 Teilen C-Gehalte von 0,057 bis 0,079%. Die Richtanalyse gibt Werte $\leq 0,07\%$ an. Da die Höhe des C-Gehaltes im direkten Zusammenhang mit der Versprödungsgefahr bei hohen Betriebstemperaturen steht, hat das hiesige Institut für Material- und Festkörperforschung Zeitstands-Versuche in den von der Firma Steinmüller gelieferten Proben durchgeführt. Die Ergebnisse sind in einer Notiz des Herrn Schirra, IMF, an H. Vasarhelyi, IRB, niedergeschrieben. Die Versuche wurden bei $650 \pm 2^\circ\text{C}$ durchgeführt. Bei kürzeren Standzeiten werden entsprechend dem höheren C-Gehalt für die Bruchdehnung und Brucheinschnürung wesentlich geringere Werte gemessen. Bei Standzeiten $> 10^3$ Stunden ist die Differenz zu dem C-ärmeren Material nicht mehr so gross. Der Bruch erfolgte bei allen Proben rein interkristallin mit einzelnen Anrissen in der Bruchzone, die von den Tripelpunkten der Korngrenzen ausgehen. Die Schlifffbilder zeigen weiterhin, dass es im Laufe der Zeitstandsversuche durch die hohe Temperatur zur vermehrten Ausscheidung von Carbiden an den Korngrenzen kam. Diese Ausscheidungen waren bei höherem C-Gehalt grösser. δ Phase konnte bei dieser Temperatur und der Standzeit noch nicht nachgewiesen werden. Nach Aussagen des Herrn Dr. Leistikow und Schirra IMF ist aufgrund dieser Ergebnisse kein Einwand gegen die Verwendung des Werkstoffes erhoben worden.

Bei der Verwendung von austenitischen Stählen müssen folgende Dinge beachtet werden [1]. Scharfe Kanten und schroffe Querschnittsübergänge sind nicht zugelassen. Dies ist bei der Konstruktion und Fertigung besonders zu beachten; da das austenitische Material sehr thermoschockanfällig ist, muss beim An- und Abfahren der Anlage grosse Sorgfalt

geübt werden. Druck-, Temperatur- sowie Salzgehaltüberschreitungen des Dampfes müssen registriert werden.

Alle übrigen Teile des Kreislaufes sind aus ferritischen Materialien, deren Qualität sich nach der Belastung der Bauelemente richtet.

5. Beschreibung der Anlagenteile

5.01 Kessel

Der Dampferzeuger ist ein leichtölgefeuerter Einrohr-Zwangsdurchlauf-Kessel.

Der Hersteller ist die Fa. Rheinstahl-Henschel-AG in Kassel. Die technischen Daten des Kessels sind:

Dampfleistung	3.000 kg/h
Genehmigungsdruck	330 atü
Dampfaustrittszustand: Druck	80-300 atü
Temperatur	300-520 °C
Druckverlust: bei 3000 kg/h, 300 atü u. 520°C ca.	60 at
bei 3000 kg/h, 80 atü u. 520°C ca.	250 at
Speisewasser-Eintrittstemperatur	120 °C
Abgastemperatur	370 °C
Heizölverbrauch bei $H_u = 10.200$ kcal/kg	240 kg/h
Vollastwirkungsgrad	80 %
Heizfläche	32,8 m ²
Kesselinhalt	114 Ltr.
Gesamtgewicht	ca. 4.000 kg
Vorwärmteil: Rohrleitung: 21,3 · 2,9	122,5 m
Werkstoff-Nr. 1.7335 (13CrMo44)	
Verdampferteil: Rohrleitung: 26,9 · 3,6	155,6 m
Werkstoff-Nr. 1.7335	
Übergangsteil: Rohrleitung: 33,7 · 5,6	22,8 m
Werkstoff-Nr. 1.4961 (X8CrNiNb 1613)	

Strahlungsüberhitzerteil: Rohrleitung: 33,7 · 5,6 51,7 m
Werkstoff-Nr. 1.4961

Berührungsüberhitzerteil: Rohrleitung: 33,7 · 5,6 40,3 m
Werkstoff-Nr. 1.4961

Der Aufbau des Kessels ist in Abb. 4 dargestellt.

5.02 Verdampfer

Der Verdampfer, Abb. 5, arbeitet nach dem Löffler-Prinzip. Der überhitzte Dampf wird über den Verteilerboden in das vorgewärmte Speisewasser eingeblasen. Der Dampf gibt seine Überhitzungswärme an das Wasser ab und erzeugt Sattdampf. Bei Verringerung des Wasserstandes über dem Verteilerboden kann der Dampf auch leicht überhitzt den Verdampfer verlassen. Über dem Verteilerboden ist ein hoher Brüdenraum vorgesehen, um bei hoher Dampfraum-Belastung die mitgerissenen Tröpfchen wieder abzuscheiden. Der Verteilerboden wurde nach den bisher im Institut durchgeführten Verdampferuntersuchungen [2] konzipiert.

Die Auslegungsdaten sind folgende:

Hexagonale Düsenanordnung

Düsendurchmesser:	2 mm
Düsenhöhe:	4 mm
Düsenmittenabstand:	5 mm
Düsenanzahl:	2300
Verteilerdurchmesser:	280 mm
Heissdampfmenge:	1 - 2,5 t/h
Heissdampfdruck:	80 - 150 atü
Heissdampf Temperatur:	400 - 500 °C

Die Konzessionsdaten des Druckbehälters sind 220 atü und 365 °C.

Zur Probeentnahme von Speisewasser im Verdampfer ist eine Anzapfung im Verdampfer-Unterteil 90° versetzt zur Einspeisung vorgesehen. Die Regelgröße für den Wasserstand über dem Verteiler wird nach dem Wirkdruck-Meßverfahren ermittelt.

Zur Kontrolle des tatsächlichen Wasserstandes [3] sind auf einem Rohr, daß zentrisch aus dem Verteilerboden herausragt und vom zugeführten Heißdampf durchströmt wird, Thermoelemente (Mantelthermoelemente) im definierten Abstand aufgelötet. Durch den besseren Wärmeübergang bei der Berührung der Thermoelemente mit Wasser als mit Sattedampf wird durch die unterschiedliche Thermospannung der tatsächliche Wasserstand ermittelt. Die Mantel-Thermoelemente werden aus dem seitlich angebrachten Flansch des Behälters herausgeführt.

5.03 Elektrisch beheizter Dampfüberhitzer

Der elektrische Dampfüberhitzer besteht aus 3 hintereinander geschalteten Rohrstrecken, Abb. 6, in denen jeweils ein 7-Stabbündel mit 3 Heizleiternadeln eingebaut ist. Der 7. Stab ist unbeheizt.

Die 3 Heizleiternadeln sind elektrisch im Stern geschaltet. Die elektrische Leistung der 3 Stabbündel wird durch einen Transduktor geregelt. Als Regelgröße dient die Dampfaustrittstemperatur nach dem letzten Bündel.

Die technischen Daten des Überhitzer sind:

Elektrische Energiezuführung (max.)	42 kW je Bündel
Dampfaustrittstemperatur (max)	650 °C
Dampfdruck (max)	300 atü

Die Druckbehälter sind aus Werkstoff-Nr. 1.4401 gefertigt. Bei einem Eintrittsdruck von 150 atü kann ca. 1 t/h Dampf von 500°C auf 650°C überhitzt werden.

5.04 Dampf-Filter

Zur Filterung des Dampfes [4] werden Sintermetall-Filter der Qualität R 50/3 in Kerzenform [5] von der Fa. Krebsöge verwendet. Das zur Filterherstellung verwendete Material ist austenitischer Stahl AISI 316 L, entsprechend dem Werkstoff Nr. 4404. Die maximale Porenweite wird mit 12 µm angegeben, während 50% der Poren kleiner als 7,5 µm sein sollen. Die vom Filter zurückgehaltenen Partikelgrößen sind nach Angaben des Hersteller 1/3 der Porenweite. Im vorliegenden Fall also 4 und 2,5 µm.

Die Filterkerzen sind in druckfesten Gehäusen eingebaut. Abb. 7 zeigt das Filtergehäuse für die Heizstabteststrecken, in den jeweils 3 Filterkerzen eingebaut sind. In dem Filtergehäuse, Abb. 8, das vor die 2 Teststrecken für isotherme Untersuchungen geschaltet ist, reicht eine Kerze aus. Die Filter-Kerzen werden von innen beaufschlagt und sind einseitig eingespannt.

Das Filtergehäuse mit den 3 Einsätzen ist für 300 atü bei 340°C ausgelegt und aus Werkstoff-Nr. 1.4571 gefertigt. Das Filtergehäuse mit einem Einsatz ist für 300 atü bei 650 °C ausgelegt. Als Material wurde Werkstoff-Nr. 1.4401 verwendet.

Um rechtzeitig die Verschmutzung der Filtereinsätze zu erkennen, wird der Druckabfall im Filter ständig registriert.

5.05 Korrosions-Teststrecken (unter Wärmeübergang)

6 Teststrecken stehen für Korrosionsuntersuchungen unter Wärmeübergang zur Verfügung. Die Teststrecken sind so ausgebildet, dass sie einen einzelnen Heizstab, Abb. 9, oder auch ein hexagonal angeordnetes Heizstabbündel mit 19 Stäben, Abb. 10, aufnehmen können.

Der Dampf tritt seitlich in die Teststrecke ein, strömt nach unten, um dann im Dampfführungsrohr den Stab zu kühlen. Der aufgeheizte Dampf tritt seitlich aus dem Flanschgehäuse aus. Durch diese Konstruktion wird vom Druckbehälter nur das Flanschgehäuse unmittelbar und die anliegenden Flansche mittelbar von dem Heissdampf erhitzt. Dies ist bei der Auslegung der Teststrecken berücksichtigt. Teststrecke I ist dampfaustrittsseitig für 300 atü und 650°C,

dampfeintrittsseitig für 300 atü und 340°C ausgelegt. Dementsprechend ist das Flanschgehäuse und die anliegenden Flansche aus dem warmfesteren Werkstoff Nr. 1.4981 gefertigt. Die übrigen Druckbehälterteile sind aus dem Werkstoff-Nr. 1.4571 hergestellt.

Teststrecke II bis VI sind dampfeintrittsseitig für 300 atü und 340°C und dampfaustrittsseitig für 300 atü und 540°C ausgelegt. Hier wurde für den gesamten Druckbehälter der Werkstoff-Nr. 1.4571 gewählt.

Im unteren Blindflansch ist ein Anschluss zur Entwässerung des Behälters angeordnet. Der seitliche Stutzen am Behälterrohr und der an der Austrittsbohrung im Flanschgehäuse dienen zur Druckmessung. Die Flanschverbindungen für 650°C bei 300 atü sind als Linsendichtungen, die übrigen sind mit Nut und Feder ausgeführt.

Der Heizstab [6] besteht aus 2 konzentrisch angeordneten Rohren. Das innere Rohr dient als Heizleiter und das äussere als Hüllrohr. Beide Rohre sind gegeneinander mit Bornitrit (BN) isoliert. An den unbeheizten Enden wird die Wärmeflussdichte durch Kupferbolzen auf ca. 4% vermindert. Am unteren Ende des Stabes ist der Kupferbolzen mit dem Hüllrohr elektrisch leitend verbunden. Der Stab ist oben in einer Halteplatte [7] eingelötet. Die Halteplatte wird mittels Flansch gegen das Flanschgehäuse gepresst. Über den Heizstab ist ein Dampfführungsrohr geschoben und an der Halteplatte so befestigt, dass der aufgeheizte Dampf austreten kann. Als Abstandshalter dienen kleine Madenschrauben mit Saphirspitzen, die wendelförmig mit einer Steigung von 100 mm in einem Abstand von 25 mm in das Dampfführungsrohr eingeschraubt sind. Zur Wärmeisolation des Dampfführungsrohres gegenüber dem einströmenden Sattedampf umhüllt ein 2. Rohr das Dampfführungsrohr. Die Isolationsschicht ist der im Ringraum stagnierende Dampf. Gleichzeitig wird das 2. Hüllrohr als Stromrückführrohr benutzt. Eine Membrane die

am Dampfführungsrohr befestigt ist, wird mit dem Flansch des Stromrückführrohres gegen das Flanschgehäuse geschraubt, um Satt- und Heissdampfraum voneinander zu trennen. Das Stromrückführrohr ist über 2 gewellte Bänder und einer Klemmverbindung mit dem Heizstab elektrisch leitend verbunden. Somit wird verhindert, dass der elektrische Strom über das Hüllrohr zurückfliesst und dort durch seinem gegenüber dem Heizleiter hohen elektrischen Widerstand eine zusätzliche Wärmequelle entsteht.

Die elektrische Zuführung wird an dem Heizstab weich gelötet. Der Anschluss wird während des Betriebes mit Pressluft gekühlt. Die elektrische Rückführleitung ist am Gehäuseflansch befestigt.

5.06 Isotherme Teststrecken

Die isotherme Teststrecke, Abb. 11, dient zur Aufnahme von Materialproben für Korrosionsuntersuchung ohne Wärmeübergang. Es sind 2 Teststrecken, die so im Kreislauf eingebaut sind, dass der Heissdampf die Teststrecken hintereinander oder parallel durchströmt. Der Heissdampf tritt seitlich in den Druckbehälter ein, umströmt die Proben, die auf einem Probenhalter in der Teststrecke befestigt sind und verlässt unten die Teststrecke. Im oberen Flansch ist ein Anschluss zur Aufnahme eines Mantelthermoelementes vorgesehen. Der Stutzen zur Druckmessung ist seitlich am Testrohr angebracht. An dem Rohr der Teststrecke in Höhe der Proben ist jeweils der Rohraussendurchmesser auf ein genau eingehaltenes Mass gebracht. Hier werden die vom TÜV zur Auflage gemachten und wie unter Abschnitt 4 beschriebenen Aufweitungsmessungen nach 10^4 Betriebsstunden durchgeführt. Der Druckbehälter wurde aus Werkstoff Nr. 1.4401 für max. 300 atü bei 650°C hergestellt. Der obere Flansch ist mit einer Linsendichtung versehen.

5.07 Kondensationsanlage

Für die Kondensation ist ein luftgekühlter Kondensator mit nachschaltbarem Kondensatkühler von der Fa. Gesellschaft für Luftkondensation m.b.H., Bochum, verwendet worden. Die Anlage ist für folgende Daten ausgelegt:

Kondensationsteil:	Dampfmenge	4 t/h
	Kondensationsdruck	1,1 ata
	Kondensattemperatur	102 °C
	Verdampfungswärme	537,9 Kcal/kg
Kondensatkühlteil:	Kondensatmenge	4 t/h
	Eintrittstemperatur	102 °C
	Austrittstemperatur	65 °C
	wasserseitiger Druckverlust	ca.2000 mm WS
	Kühlmittel	Luft
	Temperatur	30 °C
	Druck	760 Torr.

Kondensations- und Kondensat-Kühlteil bestehen aus einzelnen berippten Rohren, die in einem oberen und unteren Sammlerrohr münden. Diese Elemente sind aussen verzinkt und liegen nebeneinander mit einem Gefälle von 43% auf einem Luftkasten. In dem Luftkasten unter den beiden Elementen, die eine Länge von 6 m und eine gemeinsame Breite von 2,4 m haben, sind die beiden Lüfter eingebaut. Der Durchmesser der Lüfterflügel ist 1,8 m. Die Lüfter werden durch angeflanschte Elektromotore direkt angetrieben. Die Leistung des Motors beträgt 7 kW und die Drehzahl wurde auf 500 U/min ausgelegt, um die Geräusche klein zu halten. Beide Lüfter sind mit je einer Verstelleinrichtung zur Änderung der Steigung der Lüfterflügel ausgerüstet. Die Verstellung wird durch elektrische Stellmotoren vorgenommen, die parallel von einem Regler angesteuert werden. Als Regelgröße ist der Kondensationsdruck gewählt. Durch Zu- oder Abschalten eines Lüfters und der Verstellung der Lüfter-

flügel wird ein grosser Regelbereich der Kondensatorleistung gewährleistet. Der Kondensat-Kühlteil kann bei Bedarf dem Kondensationsteil nachgeschaltet werden. Da beide Elemente durch die gleichen Lüfter gekühlt werden, kann eine Änderung der Austrittstemperatur des Kühlers nur durch Änderung des Kondensationsdruckes erreicht werden. Der luftgekühlte Kondensator ist auf dem Dach, Abb. 12, des Anbaues der Versuchshalle 413 aufgebaut. Der Kondensat-Sammelbehälter liegt ~ 4 m tiefer in der Versuchshalle. Das Kondensat wird durch 2 wahlweise schaltbare Kondensatpumpen in den Speisewasserbehälter zurückgefördert.

Ein Kondensatablaufregler, der mechanisch über den Schwimmer im Kondensat-Sammelbehälter gesteuert wird, sorgt dafür, dass die Pumpen nicht trockenlaufen.

Wenn die Vollreinigung des Kondensats erforderlich ist und die Kondensattemperatur $> 65^{\circ}\text{C}$ ist, fördern die Pumpen das Kondensat über den Kühler und die Vollreinigungsanlage zum Speisewasserbehälter.

5.08 Kondensatpumpen

Zur Rückförderung des Kondensats dienen 2 4-stufige Kreiselpumpen mit Elektromotor-Antrieb von der Firma Guss- und Stahl-Veredelung GmbH in Freiburg.

Die technischen Daten der Pumpen sind:

Fördermenge:	3,7 m ³ /h
Förderhöhe:	45 m FLS
Pumpenleistung:	ca. 1,85 kW
Motorleistung:	2,2 kW
Drehzahl:	2800 U'/min
Werkstoff: Gehäuseteile	W.-Nr. 1.4580
Lauftrad	W.-Nr. 1.4571/1.4580
Welle	W.-Nr. 1.4571
Stopfbuchse	W.-Nr. 1.4580

Für Ansaugzustand des Kondensats:

Druck: 0,48 - 1,19 ata

Temp.: 80 - 104 °C

Bei Normalbetrieb reicht eine Kondensatpumpe zur Rückführung aus, während die andere zur Reserve dient.

Es können aber beide Pumpen auch parallel arbeiten. Vor jede Kondensatpumpe ist ein mechanischer Filter geschaltet.

5.09 Kondensatreinigungsanlage

Die Kondensat-Vollreinigungsanlage ist für die gesamte anfallende Kondensatmenge ausgelegt. Die Durchsatzmenge ist $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$, bei einem max. zulässigen Druck von 7 atü. Die Anlage besteht aus einem Kiesfilter und 2 wechselseitig nachschaltbaren Mischbettfiltern. Das Kiesfilter hält mechanisch oder koagulative (ausgeflockte) Verunreinigungen zurück, während das Mischbettfilter etwaige Härte und Salzeinbrüche aus dem Kondensat entfernt.

Wenn der Widerstand des Kiesfilters über 1 atü ansteigt, ist der Filter in umgekehrter Richtung zu spülen. Zur Unterstützung der Spülung wird zusätzlich zum Wasser Luft eingeblasen.

Wenn die Leitfähigkeit nach dem Mischbettfilter $0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ oder der Restkieselsäuregehalt von $0,02 \text{ mg}/\text{l}$ überschritten wird, muß die Austauschermasse regeneriert werden.

5.10 Speisewasserbehälter mit Entgaser

Abb. 13 zeigt den Speisewasserbehälter, der als Speicher für das Speisewasser dient und gleichzeitig durch zusätzliche Einrichtungen das Speisewasser thermisch entgast. Durch die thermische Entgasung wird der Sauerstoffgehalt auf

$0,05 \text{ mg}/\text{l O}_2$ herabgesetzt. Der Restsauerstoff wird chemisch durch Hinzusetzen von Hydrazin (N_2H_4) unter Bildung

von flüchtigem Stickstoff (N_2) ohne Salzanreicherung im $2H_2O$ umgewandelt.

Der Speisewasserbehälter mit Entgaser stammt aus einer nicht mehr benutzten Anlage und ist für folgende Daten ausgelegt:

Zu entgasende Wassermenge:	4,2 t/h
Eintrittstemperatur:	80 °C
Entgasungstemperatur:	104.2 °C
Entgasungsdruck:	1,2 ata
Bruttoinhalt:	5,4 m ³
Nettoinhalt:	4,2 m ³

5.11 Speisewasser-Pumpen

Die Versorgung des Kessels, des Verdampfers und der 2 Dampfumformstationen mit Speisewasser übernehmen 3 Drei-Plunger-Pumpen, Fabrikat Uraca, Abb. 14. Für den Normalbetrieb laufen jeweils 2 Pumpen und die 3. steht betriebsbereit zur Verfügung, um beim Ausfall einer Pumpe automatisch durch eine elektrische Fortschaltung oder von Hand in Betrieb gesetzt zu werden. Asynchron-Motoren treiben die Pumpen an. Die Pumpen sind mit hydraulischen Gestängen versehen, um die Temperaturbelastung der Stopfbuchsen durch das zu fördernde Medium gering zu halten und evtl. Verschmutzung durch die Plunger auszuschliessen. Das hydraulische Gestänge vergrössert den schädlichen Raum und verschlechtert damit den volumetrischen Wirkungsgrad. Leitungswasser kühlt das Plungergehäuse.

Die technischen Daten der Pumpe sind:

Plungerdurchmesser	28 mm
Plungerhub	130 mm
Pumpendrehzahl	215 U/min
Mittlere Kolbengeschwindigkeit	0,935 m/s
Fördervolumen	42 l/min
Förderdruck (max)	360 kp/cm ²
Ansaugdruck (statisch)	1,58 ata (max. ausgelegt für 3,38 ata)
Ansaugtemperatur	104,2 °C (max. ausgelegt für 133°C)
Leistungsbedarf der Pumpe	35 kW
Pumpengesamtwirkungsgrad	0,86
Motorleistung	44 kW
Motordrehzahl	1475 U/min

Die Werkstoffe für die Teile mit dem Speisewasser in Berührung **gekommen sind.**

Pumpenkörper u.

Stopfbuchsengehäuse

W.-Nr. 1.4021

Plunger

W.-Nr. 1.4021 hartverchromt

Ventil-Sitze und -Kegel

W.-Nr. 1.4112 gehärtet

Ventilfedern

Chromstahl

Jede Pumpe ist mit einem Sicherheitsventil ausgerüstet. Ein Blasenspeicher von 1 l Inhalt unmittelbar vor jeder Pumpe in der Saugleitung verhindert Kavitation. Ein **ebenso grosser** Blasenspeicher in der Druckleitung **glättet die** Pulsation der Drei-Plunger-Pumpe auf ca. 0,3% des Pumpendruckes. Der Blasenspeicher ist unmittelbar am Austritt jeder Pumpe angeordnet, und zwar so, dass die Strömungsrichtung des austretenden Wassers direkt auf den Blasenspeicher trifft. Durch diese Anordnung wird die Wirksamkeit des Blasenspeichers am besten genutzt.

5.12 Vorwärmer

Die durch das Kondensieren des Heizdampfes freiwerdende Verdampfungswärme erwärmt das Speisewasser für den Verdampfer im Vorwärmer I, Abb. 15. Der Druck des Heizdampfes bestimmt die Austrittstemperatur des Speisewassers aus dem Vorwärmer. Der Vorwärmer ist so ausgelegt, dass das Speisewasser eine max. Aufwärmung von 20°C unter Siedetemperatur des Verdampfers erreicht.

Die technischen Daten für den Vorwärmer I sind:

Wärmetauscherfläche:	2 m ²	
Konzessionsdaten:	für Dampfraum und für Wasserraum	
Max. Betriebsdruck	160 atü	220 atü
Max. Betriebstemperatur	400 °C	350 °C
Inhalt	50 Liter	5 Liter
Auslegungsdaten	für Heizdampf und für Speisewasser	
Menge	1,25 t/h	1,4 t/h
Eintrittstemperatur	329,3 °C	107,3 °C
Eintrittsdruck	130 ata	165 ata
Austrittstemperatur	329,3 °C	324,9 °C
Werkstoff:	W.-Nr. 1.5415 (15 Mo 3)	

Der Vorwärmer ist stehend angeordnet.

Da das Kondensat von 130 ata noch eine große Enthalpie besitzt, ist dem Vorwärmer I der Vorwärmer II nachgeschaltet. Im Vorwärmer II, Abb.16, heizt das Kondensat das Speisewasser für den Kessel auf. Der Vorwärmer ist ebenfalls stehend angeordnet.

Die technischen Daten für den Vorwärmer II sind:

Wärmetauscherfläche: 7 m²

Konzessionsdaten:	für Kondensatraum	für Wasserraum
Max. Betriebsdruck	160 atü	360 atü
Max. Betriebstemp.	350 °C	350 °C
Inhalt	120 Liter	17 Liter
Auslegungsdaten:	für Kondensat	für Speisewasser
Menge	1,25 t/h	2,1 t/h
Eintrittstemperatur	329,3 °C	106,3 °C
Austrittstemperatur	112,3 °C	248 °C

Werkstoff: W.-Nr. 1.5415 (15 Mo 3)

5.13 Speisewasser-Aufbereitungsanlage

Zur Speisewasser-Versorgung des Korrosions-Kreislaufes wurde die im Institut bereits vorhandene Vollentsalzungsanlage auf einen 2-Strassenbetrieb erweitert. Damit ist eine Strasse zur Vollentsalzung verfügbar, wenn die anderen beiden Ionenaustauschfilter regeneriert werden. Diese Lösung brachte eine grosse Einsparung der Anlagenkosten gegenüber einer separaten Anlage. Abb. 17 zeigt ein Schema der Speisewasser-Aufbereitungsanlage, die von der Fa. Steinmüller, Gummersbach, geliefert und zum 2-Strassenbetrieb ausgebaut wurde. Die Vollentsalzungsanlage wird im Gegenstrom regeneriert [7]. Beim Gegenstromprinzip werden bei gleicher Kapazitäts-Ausnutzung beträchtliche Regeneriermittel eingespart. Bei den H-Austauschern handelt es sich um stark sauren Kation-Austauscher. Der nachgeschaltete Rieseler treibt die freigewordene Kohlensäure aus. Die beiden OH-Austauscher sind stark basische Anionen-Austauscher. Aus Sicherheitsgründen ist den Kationen und Anionen-Austauschern ein Mischbettfilter nachgeschaltet. Mischbettfilter enthalten gleichzeitig Kationen- und Anionenaustauscher, die eine Entsalzung in einem Durchlauf ermöglichen.

Die Anlage kann stündlich 3 m^3 Rohwasser aufbereiten. Nach $\sim 70 \text{ t}$ Rohwasser muss die Filtermasse wieder regeneriert werden. Leitfähigkeitsgeber überwachen kontinuierlich die Anlage und zeigen die Erschöpfung einer Filterstrasse an. Ein rechtzeitiges Umschalten auf die regenerierte Filterstrasse verhindert eine Belastung des Mischbettfilters, das als "Polizeifilter" dient. Bei gleichbleibender Qualität des Rohwassers (Leitungswassers) wird für das aufbereitete Wasser folgendes garantiert:

Leitfähigkeit	0,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Restkieselsäuregehalt	0,02 mg/l
pH-Wert	7 bei 22 °C

5.14 Armaturen:

Bei den geringen Durchsatzmengen und den hohen Differenzdrücken des Kreislaufes Abb. 19, werden vor allem beim Einstellen der Wasserdrücke an die Regelventile hohe Ansprüche gestellt. Die Anforderungen sind in einer Regelstufe nicht immer zu bewältigen. Deshalb wurden von der Firma Schroedahl in Gummersbach sogenannte Kaskadenventile bezogen, die sich bereits im Versuchsbetrieb unseres Institutes sehr gut bewährt haben. Die Kaskadenventile entspannen das Medium stufenweise. Der Ventileinsatz besteht aus einer Ventilspindel und einer Kaskadenbuchse. Der freie Ventilquerschnitt wird als Wendel mit trapezförmigem Querschnitt in die Ventilspindel eingearbeitet. Die Wendel haben in jeder Stufe eine andere Richtung. Durch den Drall und die Umlenkung erfährt das Medium einen hohen Druckverlust. Durch diese Technik ist es möglich, ein Stellverhältnis $K_{V_{\max}}/K_{V_{\min}} > 50$ bei jeder gewünschten Ventilkennlinie zu erreichen. Dies ist für die Flexibilität des Versuchsbetriebes von grosser Bedeutung. Ein weiterer Vorteil ist die Geräuscharmheit dieser Ventile. Die Regelventile für Wasser 03.06, 04.26, 04.30, 04.31, 04.39, 04.42, 04.45 und 04.47 sind 4-stufig, das Regelventil für Dampf 02.46 ist 2-stufig und die übrigen Regelventile für Dampf 01.06 und 02.05 sind 1-stufig ausgeführt.

Die Dampfumformventile 01.56 und 02.55 sind vom gleichen Hersteller. Sie sind so konzipiert, dass das Wasser zur Erhitzung des Dampfes vor der Verdichtungsfront des reduzierten Dampfes eingespritzt wird. Hierdurch wird eine sehr gute Verdampfung des eingespritzten Wassers erreicht. Auch hier ist die Geräuschentwicklung sehr gering. Die Absperrarmaturen sind in normaler Ausführung, bei denen der Lieferant über den Angebotspreis bestimmt wurde. Als Kondensatableiter wurden solche der Fa. Gerdts gewählt. Für die hohen Betriebsdrücke hat die Firma Sempell, Mönchengladbach die Sicherheitsventile geliefert.

6. Instrumentierung

Das Regelschema, Abb. 20, zeigt den Umfang der Instrumentierung. Den Hauptanteil der Geräte-Lieferung, Montage und Inbetriebnahme hat die Fa. Askania durchgeführt. Ein grosser Anteil der Regelstrecken beeinflussen sich gegenseitig. Deshalb hat die Fa. Askania kontinuierliche Regler eingesetzt. Bei den kontinuierlichen Reglern ist eine grössere Anzahl von Einstellparametern vorhanden. Den Kessel hat der Kessellieferant instrumentiert. Wegen der Einheitlichkeit hat die Fa. Askania die Geräte geliefert und in Betrieb genommen.

Aus den in Abschnitt 3.3 erläuterten Gründen ist der Leitstand der Teststrecken in der Schaltwarte der Halle 413 untergebracht. Der Leitstand von Kessel und Kreislauf befindet sich in der Schaltwarte der Halle 272. Alle Parameter im Kreislauf, die während des Dauerbetriebs durch Störgrössen beeinflusst werden, sind mit Regler ausgerüstet, um sie ohne Eingriff durch das Bedienungspersonal konstant zu halten. Optische und akustische Grenzwertsignale machen es dem Bedienungspersonal möglich, nebenher andere Arbeiten durchzuführen. Alle Grenzwertsignale für den Leitstand der Teststrecken kommen als Sammelsignale am Leitstand des Kreislaufes an.

Von der Dampferzeugung bis einschliesslich der Teststrecken sind die Rohrleitungen und Behälter für 300 atü ausgelegt. Da vom Versuchsprogramm her vorerst nur im Druckbereich von 80 bis 180 atü gefahren werden soll, sind die Druckmessumformer entsprechend eingestellt. Die Druckmessumformer lassen eine Einstellung bis max. 250 atü zu. Wenn höhere Systemdrucke gefahren werden sollen, muss beim Messumformer das Messwerk ausgetauscht werden.

Nach Auflage des Gewerbeaufsichtsamts erhält die Halle 272, in der der Kessel aufgestellt ist, an den 2 Ausgängen der

Halle (Fluchtwege) und am Kesselleitstand ein "Not aus"-Taster. Durch die Betätigung des "Not aus" wird die elektrische Energieversorgung für Speisewasser, Brennstoffpumpen, Gebläse und Brennerautomatik ausgeschaltet.

Auch der Leitstand der Teststrecken ist mit einer "Not aus"-Taste versehen. Diese Taste schaltet die elektrische Energieversorgung für die 6 Teststrecken und den Dampfüberhitzer ab. Die Abschaltung der elektrischen Energieversorgung erfolgt automatisch bei Ausfall der Frischdampferzeugung.

Um einen Überblick über die Betriebszeit der Anlagenteile zu bekommen, sind die elektrischen Antriebe der Kesselspeisewasser-, Brennstoff-, Kondensatpumpen und der Lüfter des Kondensators mit Betriebsstundenzähler ausgerüstet. Die Summe der Betriebsstunden der beiden Brennstoffpumpen, die wechselseitig schaltbar sind, ergibt die Anzahl der Betriebsstunden für den Kessel und für das Gebläse.

6.1 Regelung, Steuerung und Überwachung:

6.1.01 Speisewasser-Druckerzeugung

Die drei Speisewasser-Kolbenpumpen fördern in eine gemeinsame Leitung. Eine Beipassregelung stellt bei unterschiedlicher Speisewasser-Entnahme des Kessels den Pumpendruck ein. Eine der Pumpenenddruck-Regelung nachgeschalteten Bypass-Regelung sorgt für den notwendigen Speisewasserdruck für den Verdampfer und die beiden Dampfumform-Stationen. Das von den Speisewasser-Pumpen überschüssig geförderte Wasser fließt nach dem 2. Bypass-Regelventil (04.26) in den Speisewasserbehälter zurück. Die beiden Regler der hintereinandergeschalteten Regelstrecken sind kontinuierliche Regler mit eingestelltem P-J-Verhalten. In den Meßkreis der Regelung ist je eine Istwert-Anzeige angeschlossen. Der Pumpensaugdruck wird durch ein Kontaktmanometer überwacht, das beim Unterschreiten des erforderlichen Zulaufdrucks ein optisches und akustisches Signal auslöst.

6.1.02 Frischdampf-Erzeugung

Für die Dampf-Erzeuger, die im Versuchsbetrieb eingesetzt werden, hat sich die Überström-Regelung zur Druckhaltung im Kessel sehr gut bewährt. Bei Änderungen der Dampfantnahme vom Kessel, die sich im Stellbereich des Überströmventils bewegen, bleibt der Dampfzustand ohne Änderung der Brennstoffmenge erhalten. Deshalb wurde für die Kesselregelung folgendes Konzept verwirklicht. Die Brennstoff- und die dazugehörige Luftmenge werden von Hand eingestellt. Den Kesselenddruck hält die Überström-Regelung konstant. Schwankungen der Kesselendtemperatur gleicht die Einspritzregelung aus. Für gleichbleibende Speisewassermenge sorgt die Speisewasser-Regelung.

Eine Blende, die nach der Einspritzwasser-Entnahme eingebaut ist, erzeugt die Regelgröße für die Kesselspeisewassermenge. Das Speisewasser-Regelventil (04.45) ist vor der Einspritzwasser-Entnahme angeordnet, um den Druck vor dem Einspritzwasser-Regelventil zu verringern. Kesselspeise- und Einspritz-Wassermenge, die dem Kessel zur Verdampfung zugeführt werden, erfasst eine Blende, die zwischen Speisewasser-Regelventil und Einspritzwasser-Entnahme eingebaut ist. Diese gesamte Speisewassermenge, die gleichzeitig die erzeugte Dampfmenge ist, wird als Istwert angezeigt und auf Linien-schreibern registriert. Ein elektronischer Grenzwert-melder im Messkreis der Anzeige- und Registriergeräte löscht bei Unterschreitung und verriegelt bis zu einem Limit von 20 % des Messbereiches die Feuerung. Diese Wassermangelsicherung ist eine gesetzliche Vorschrift für die Dampferzeuger-Anlage.

Zur Temperatur-Regelung wird der Dampf im Überhitzerteil abgespritzt. Das Einspritz-Regelventil (04.47) stellt den Einspritzwasser-Bedarf ein. Bei 15% und 85% der Einspritzventilstellung signalisieren Endkontakte akustisch und optisch, daß mit der gewünschten Kessel-Endtemperatur die Kesselfeuerungsstellung nicht übereinstimmt. Eine Temperaturanzeige vor und nach der Einspritzstelle ermöglicht eine Kontrolle der Einspritzverdampfermenge. Der max. Grenzkontakt im Anzeigeinstrument für die Temperatur vor der Einspritzung signalisiert bei 520°C dem Kesselfahrer, daß die Feuerung zurückgenommen werden muß, um nicht den Überhitzer zu gefährden. Unabhängig von der Temperaturmeßstelle der Regelung ist für die Istwert-Anzeige ein gesondertes Thermoelement eingebaut. Das Anzeigeinstrument ist auch mit einem max. Kontakt ausgerüstet, der beim Überschreiten von 525°C ein akustisches und optisches Signal auslöst. 2 Schreiber registrieren die Kesseltemperatur. Zusammen mit einem elektronischen Grenzwertmelder sind die in den Meßkreis der Regelung geschaltet. Der elektronische Grenzwertmelder schaltet bei 530°C die Feuerung bei gleichzeitiger optischer und akustischer Signalisierung auf Schwachlast.

Die Überström-Regelung leitet den überschüssigen Dampf direkt vor die 1. Dampfumformstation. 2 Schreiber zur Registrierung und 1 Gerät zur Istwert-Anzeige sind in dem Meßkreis der Druck-Regelung angeschlossen.

Zur Druckhaltung beim An- und Abfahren des Kessels dient das Motor-Regelventil (01.05). Diesem Anfahrventil nachgeschaltet ist der Anfahr- und Ablaß-Entspanner.

Für die Menge-, Temperatur- und Druckregelung sind kontinuierliche Regler mit P- J-Verhalten eingebaut.

Die zur Feuerung erforderliche Einstellung von Luft- und Brennstoff-Menge wird getrennt vorgenommen. Zur Überwachung der Verbrennung dient ein Rauchgas-Analysegerät, das den O_2 -Gehalt des Rauchgases ermittelt. Ein Anzeigergerät zeigt den Sauerstoff-Überschuß an. Die Düsenkombination (Vor- und Rücklaufdüse) des Brenners erlaubt eine Regelbarkeit von 1 : 4. Bei Brennstoff-Ventilstellung '0' wird 25% der Voll-Lastmenge eingespritzt. Dies ist auch die Zündstellung des Brenners. Ein Endkontakt im Antrieb des Brennstoff-Regelventils läßt keine andere Zündstellung zu. Der Zündvorgang läuft durch einen Automaten ab. Der Zündautomat läßt sich nur starten, wenn der Kessel ausreichend mit Wasser versorgt ist, d.h. die Wassermangelsicherung entriegelt ist. Falls nach dem Zündvorgang keine Flamme zustande gekommen ist, so daß der eingebaute Fotowiderstand nicht genügend Licht bekommt, schaltet der Automat Gebläse und Pumpe ab, und es kommt ein optisches Signal "Brennerstörung", begleitet von einem akustischen. Nach dem Drücken einer Entriegelungstaste läuft das Programm wieder an. Ist die Beleuchtungsstärke durch die Flamme für den Fotowiderstand ausreichend, kommt das optische Signal "Brenner ein". Ein Druckwächter zur Überwachung der Brennstoffversorgung löst bei ungenügendem Druck ein optisches und akustisches Signal aus. Nur eine der beiden vorhandenen Brennstoffpumpen fördert, während die andere zur Reserve bereitsteht. Durch Bedienen einer Tast wird die Brennstoffpumpe gewählt, die in Betrieb gehen soll. Wenn bei der Pumpe, die im Betrieb ist, das Fehlerstrom-Schütz anspricht, wird automatisch die andere Pumpe geschaltet.

6.1.03 Sattdampferzeuger

Zur Sattdampferzeugung dient der Löfflerverdampfer. Der Heißdampf tritt über das fernbedienbare Heißdampf-Einlaßventil (01.58) in den Verteiler des Verdampfers ein. Da der Zustand des erzeugten Dampfes vom Wasserstand über dem Heißdampf-Verteilerboden abhängt, regelt das Speisewasser-Zulaufventil (04.39) die erforderliche Wassermengen. Die Regelgröße erzeugt ein Differenzdruck-Meßumformer. Die Differenzdruck-Meßmethode ermittelt wegen der Blasenanteile im Wasser über dem Verteilerboden nur den scheinbaren Wasserstand. Durch die unterschiedlichen Belastungen und Dampfzustände ist ein Umeichen des Differenzdruckes auf den wirklichen Höhenstand nicht möglich. Der Sollwert wird nach dem Überhitzungsgrad des Sattdampfes eingestellt. Die Istwert-Anzeige ist nur ein Orientierungswert. Der Grenzwert-Kontakt des Anzeigeelements zur optischen und akustischen Signalisierung des Wassermangels ist bei einem bestimmten Betriebszustand immer wieder neu einzustellen. Zur Feststellung des wahren Wasserstandes dient die unter dem Abschnitt Verdampfer geschilderte Einrichtung, die mittels beheizten Thermoelementen die Phasengrenze durch den unterschiedlichen Wärmeübergang bestimmt. Aus Sicherheitsgründen ist am Verdampfer-Austritt ein Thermostat eingebaut, der bei der maximal zulässigen Behältertemperatur von 365°C ein Kontakt schließt. Außer einem optischen und akustischen Signal wird damit gleichzeitig das Heißdampf-Einlaßventil automatisch geschlossen.

Ein kontinuierlicher Regler mit P- J-Verhalten für den Wasserstand garantiert eine konstante Dampfaustrittstemperatur. Auch die Einstellung von leicht überhitztem Dampf ist damit möglich.

Ein Regler gleichen Typs hält den Verdampferdruck konstant, indem er beispielsweise beim Abschalten von Verbrauchern (Teststrecken) durch den Öffnungsbe- fehl an das Bypass-Regelventil (02.05) den Dampf um die Teststrecken herumführt. Ein Anzeigeinstrument zeigt den Druck an.

6.1.04 Dampfumformstationen

In 3 hintereinander geschalteten Regelventilen wird der Dampf von den Teststrecken und den Bypass-Regel- ventilen (01.06) und (02.05) bis zum Kondensatordruck und Sattdampf-temperatur reduziert. Die erste Dampfum- formstation (01.56) regelt den Druck nach den Test- strecken. Gleichzeitig wird im Ventil durch Ein- spritzen von Speisewasser der Dampf auf Sättigungs- temperatur enthitzt. Ein Thermostat vor der Umform- station signalisiert optisch und akustisch das Über- schreiten der maximal zulässigen Eintrittstempa- ratur von 540° C. Durch Vergrößerung des Sattdampf- Anteils über das Bypass-Ventil (2.05) wird dann der von den Teststrecken stark überhitzte Dampf auf die zulässige Temperatur gemischt. Abhängig von der Aus- trittstemperatur der Dampfumformstation regelt das Ventil (04.30) in der Speisewasserzuführung die Ein- spritzwassermenge. Da der Vorwärmer I für das Spei- sewasser zum Verdampfer an die Dampfleitung nach dem ersten Dampfumformventil angeschlossen ist, wird der Dampf auf Sättigungstemperatur enthitzt. Die Speise- wasser-Austrittstemperatur aus dem Vorwärmer hängt vom Druck des Heizdampfes ab. Mit der Druckreduzierstation (02.46) wird der erforderliche Dampfdruck eingestellt.

Der Dampf nach der Druckreduzierstation wird zum Entgasen im Speisewasserbehälter benutzt. Der hierzu erforderliche Druck ist 2 kp/cm^2 . Die zweite Dampfumformstation (02.55) regelt diesen Druck. Nach der Umformstation strömt der Dampf in den Kondensator. Die Restüberhitzung des Dampfes wird in dem Ventil (02.55) abgespritzt. Das Regelventil (04.31) in der Einspritzleitung stellt die erforderliche Menge in Abhängigkeit von der Dampfaustrittstemperatur der zweiten Umformstation ein. Zur Überwachung der maximal zulässigen Temperaturen nach den beiden Dampfumformstationen ist je ein Thermostat eingesetzt, der ein optisches und akustisches Signal auslöst. Für alle Regelkreise sind kontinuierliche Regler mit P- J-Verhalten eingesetzt.

6.1.05 Speisewasservorwärmung

Der Höhenstand des Kondensats im Vorwärmer I wird nach dem Differenzdruck-Meßverfahren ermittelt. Da der Wirkdruck von der Temperatur des anfallenden Kondensats und damit vom Druck des Heizdampfes abhängt, ist die Höhenstandsanzeige vom Differenzdruck-Meßumformer nur ein Orientierungswert. Zur Korrektur des Sollwertes für den Kondensat-Ablaufregler dient der Glimmerwasserstandsanzeiger. Das Kondensat-ablauf-Regelventil (03.06) ist hinter dem Vorwärmer II eingebaut. Nach dem Regelventil gelangt das Kondensat in den Speisewasserbehälter. Durch die Einstellung des Heizdampf-Druckes mit der Druckreduzierstation (02.46) wird die Speisewasser-Austrittstemperatur

des Vorwärmers I bestimmt. Die Speisewasser-Austritts-temperatur-Anzeige dient zur Orientierung für die Sollwert-einstellung der Druckreduzierstation. Für die Ablauf-Regelung ist ein kontinuierlicher Regler mit P-Verhalten eingesetzt.

6.1.06 Kondensation

Die Kondensatorleistung wird über den Kondensator-druck dem Kreislauf angepaßt. Der Kondensator besitzt zur Kühlung 2 Axiallüfter mit je einem Asynchron-Motor als Antrieb. Jeder Lüfter besitzt einen elektrischen Stellantrieb, der die Steigung der Lüfterflügel wäh-rend des Betriebes verstellt. Ein elektrischer Schritt-regler erhält seine Regelgröße vom Kondensatordruck-Meßumformer und gibt sein Ausgangssignal parallel an beide Stellantriebe. Bei geringem Kondensator-Leistungs-bedarf oder kalter Außentemperaturen wird ein Lüfter abgeschaltet. Zur Kontrolle wird der Kondensatordruck angezeigt. Die Temperaturanzeige des rückgeführten Kondensats ist mit einem Grenzwertkontakt ausgerüstet, da die Kondensattemperatur beim Durchlaufen der Kondensatreinigungsanlage 80 °C nicht überschreiten darf. Der Grenzwertkontakt löst ein akustisches und opti-sches Signal aus. Beim Überschreiten der zulässigen Temperatur wird das Kondensat durch einen dem Kon-densator parallel geschalteten Nachkühler geleitet. Die beiden Kondensatpumpen und die beiden Lüfter wer-den zentral vom Leitstand des Kreislaufes geschaltet.

6.1.07 Speisewasser-Entgasung

Die Entgasung des Speisewassers im Speisewasserbehäl-ter geschieht durch ständiges Aufkochen mittels Heiz-dampf. Dabei wird der Druck auf 0,2 kp/cm² Überdruck

gehalten. Hierzu dient ein direkt wirkendes Regelventil. Den Regelimpuls erhält es vom Speisewasserbehälter. Wenn der am Ventil eingestellte Druck-Sollwert überschritten ist, drosselt der Behälterdruck das Ventil. Die Temperatur, der Druck und der Höhenstand des Wassers im Speisewasserbehälter wird am Leitstand des Kessels angezeigt. Die Druckanzeige ist gleichzeitig die Saugdruckanzeige der Pumpen. Das Anzeigegerät für den Wasserstand ist mit einem Grenzwert-Kontakt ausgerüstet, die den minimalen Wasserstand optisch und akustisch signalisiert.

6.1.08 Speisewasser-, Dampf- und Kondensat-Qualität

Um einen störungsfreien Versuchsablauf zu gewährleisten, ist eine ständige Qualitätsüberwachung dringend notwendig. Bei der Aufbereitung des Speisewassers ist vor und nach dem Mischbettfilter je eine Leitfähigkeitsmeßeinrichtung installiert. Zu jedem Leitfähigkeitsmeßgerät gehört ein Anzeigegerät mit Grenzwertkontakt. Beim Überschreiten der zulässigen Leitfähigkeit wird ein optisches und akustisches Signal ausgelöst. Des weiteren wird nach dem Mischbettfilter mittels eines Silikometers der Restkieselsäuregehalt überwacht. Das Silikometer von der Fa. Bran und Lübbe ist eine Einrichtung, in der automatisch in zyklischen Abständen die Messung vorgenommen und auf einem eingebauten Schreiber angezeigt und registriert wird. Das Silikometer ist in der Schaltwarte I des Baues 272 untergebracht.

Nach dem Speisewasserbehälter an der Saugleitung der Speisewasserpumpen ist ein pH-Wert-Meßgerät angeschlossen. Das Anzeigegerät ist im Leitstand des Kessels untergebracht. Ein Grenzwertkontakt im Anzeigegerät signalisiert optisch und akustisch ein pH-Wert < 7 . Zur Verlängerung der Lebensdauer des Kessels soll das Speisewasser leicht basisch sein.

Hinter dem Kessel wird die Leitfähigkeit des Dampfes gemessen. Ein 6-Punkte-Drucker neben dem Kessel-Leitstand registriert den Meßwert. Ein am Meßzusatz parallel geschalteter Grenzwertmelder signalisiert optisch und akustisch einen Meßwert größer $0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$. Eine Meßeinrichtung für den Nachweis von gelöstem Sauerstoff überwacht wahlweise den Dampf vor den Teststrecken oder das Speisewasser im Verdampfer. Vor dem Meßgeber ist ein Kühler eingebaut. Die beiden Meßgutentnahmestellen sind wechselweise auf den Kühler zu schalten. Da zur Bindung des Restsauerstoffgehaltes in den Kreislauf Hydrazin eingespeist wird, ist vor dem Geber ein stark saurer Kationen-Filter montiert. Der Nachweis des gelösten Sauerstoffes geschieht durch eine Leitfähigkeits-Vergleichsmessung, indem die Leitfähigkeit vor und nach einem Thallium - Reaktor gemessen wird. Gelöster Sauerstoff im Wasser reagiert mit Thallium zu dem starken Elektrolyt Thalliumhydroxyd. Nach Angaben des Meßgeräte-Herstellers, der Firma Siemens, ist die Leitfähigkeits-erhöhung 10 bis $35 \mu\text{S}/\text{cm}$ je $\text{mg O}_2/\text{l}$ geringfügig abhängig von der Temperatur des Meßgutes. Neben dem Meßgeber ist der Meßzusatz montiert. Am Meßzusatz wird direkt der Sauerstoffgehalt angezeigt. Mittels Schalter können die Bereiche geändert werden, und eine Schalterstellung ermöglicht eine ausschließliche Leitfähigkeitsmessung. Ein Schreiber neben dem Kesselleitstand registriert die O_2 -Konzentration, und ein Grenzwertkontakt im Schreiber löst ein optisches und akustisches Signal bei hohem O_2 -Gehalt aus.

Je eine Leitfähigkeits-Meßeinrichtung vor und hinter der Kondensataufbereitungsanlage überwacht das Kondensat und zeigt die Ermüdung des Mischbettfilters an. Der 6-Punkte-Drucker neben dem Kesselleitstand registriert die Meßwerte. An die beiden Meßzusätze sind 2 Grenzwertmelder angeschlossen, die das Überschreiten der zulässigen Leitfähigkeit optisch und akustisch signalisieren. Ein Silikometer überwacht vor und nach der Kondensataufbereitungsanlage den Restkieselsäuregehalt des Kondensats.

Zur Überwachung des Verschmutungsgrades der Dampf- filter vor den Teststrecken werden von einem Doppel- linien-Schreiber die Differenzdrücke registriert. Den Differenzdruck mißt für die Filter (02.10) und (02.11) je ein Differenzdruck-Meßumformer.

6.1.09 Betrieb der Korrosions-Teststrecken unter Wärmeübergang.

Die Dampfeinlaß-Ventile (02.21-02.26) der Teststrecken werden vom Leitstand aus gesteuert. Hierzu dient jeweils eine Steuertaste und eine Ventilstellungsanzeige. Jeder Teststrecke ist eine Meßstrecke (01.23 - 01.33) mit einer auswechselbaren Blende zur Ermittlung der Dampfmenge nachgeschaltet. Die angeschlossenen radizierenden Differenzdruckmeßumformer sind für einen Differenzdruck von 10 mWS eingestellt. Die Blende wird für die Dampfverhältnisse, die in der Teststrecke gefahren werden sollen, optimiert. Da die Dampfmenge von Druck und Temperatur abhängig ist, wird auf dem jeder Teststrecke zugeordneten Doppellinienschreiber der Wirkdruck in % und der zugehörige Systemdruck registriert. 6 weitere Doppellinienschreiber registrieren die Dampfaustritts-temperatur der Teststrecken und die Zentraltemperatur der Heizstäbe. Zwei Grenzwertkontakte am Meßwerk des Schreibers überwachen die Zentraltemperatur. Beim Überschreiten der zulässigen Zentraltemperatur löst der erste Grenzwertkontakt ein optisches und akustisches Signal aus. Steigt die Temperatur weiter an, schaltet der zweite Grenzwertkontakt die Stromversorgung des Heizstabes ab und signalisiert den Vorgang. Abhängig von der Dampfaustritts-Temperatur wird die Stromversorgung für die Heizstäbe der Teststrecken geregelt. Das Ausgang-Signal des Reglers steuert einen Thyristor. Der Thyristor ändert die Heizstrommenge für den Heizstab. Die Leitgeräte der Regler sind im Leitstand eingebaut.

Die den Heizstäben zugeführte elektrische Energie ermitteln Leistungs-Meßumformer 'Monax' der Firma Hartmann und Braun. Jede Teststrecke hat außer den beiden Doppellinien-Schreibern Einfachlinien-Schreiber,

der die Heizstab-Leistung registriert. Zur Begrenzung der Leistungsabgabe des Thyristors sind Grenzkontakte eingebaut. Beim Ansprechen des Kontaktes wird die elektrische Stromzuführung zum Heizstab unterbrochen und der Vorgang optisch und akustisch signalisiert. Der Leistungsschalter für den Heizstab der Teststrecke wird vom Leitstand aus gesteuert. Jeder Thyristor besitzt zur Kühlung einen Lüfter, der vom Leitstand paarweise geschaltet wird. Eine Verriegelung verhindert das Einschalten eines Thyristors, bevor der Lüfter in Betrieb gegangen ist. Der Ausfall des Lüfters während des Betriebs hat die Abschaltung des Thyristors zur Folge und wird optisch und akustisch signalisiert.

Zur Kühlung des elektrischen Anschlusses an den Heizstab wird Preßluft benutzt. Überwacht wird die Preßluftversorgung durch zwei Druckwächter. Bei Unterschreitung des erforderlichen Vordruckes für die Kühlung löst der erste Druckwächter ein optisches und akustisches Signal aus. Sollte der Druck weiter absinken, schaltet der zweite Druckwächter die elektrische Energieversorgung für die sechs Teststrecken, einschließlich des elektrischen Dampfüberhitzers, dessen Anschlüsse ebenfalls gekühlt werden, ab.

6.1.10 Betrieb der isothermen Teststrecken

Die Dampfversorgung der isothermen Teststrecken geschieht über das Motorventil (01.08). Die Fernsteuer-einrichtung mit Ventilstellungsanzeige ist neben denen der Heizstab-Teststrecken im Leitstand der Teststrecken eingebaut. Die Dampfmenge wird von einer Blende in einer Meßstrecke (01.10) vor den beiden Teststrecken

gemessen und von einem Einfachlinienschreiber registriert. Ein Doppellinienschreiber registriert den zugehörigen Dampfzustand, Druck und Temperatur.

Der den Teststrecken vorgeschaltete elektrische Dampfüberhitzer wird in Sternschaltung dreiphasig gespeist. Abhängig von der Dampfaustrittstemperatur regelt ein Transduktor die Energiezufuhr. Das Leitgerät des Reglers ist in den Leitstand eingebaut.

Um die Heizstäbe gegen Überlastung zu schützen, sind in die Hüllrohre der Heizstäbe Thermoelemente eingelötet. Ein 12-Punkte-Schreiber (Polycomp) der Firma Hartmann und Braun registriert neben den Hüllentemperaturen die Eintritts- und Austrittstemperaturen der drei dampfseitig hintereinander geschalteten Heizstabbündel. Durch ein zusätzliches Potentiometer, einschließlich Impulskanal mit einer zweiten Klemmleiste und zwei Signalgeräten wird am 12-Punkte-Schreiber jeder Meßstelle zwei Grenzwertkontakte zugeordnet. Beim Überschreiten der Hüllentemperatur löst der erste Grenzwertkontakt ein optisches und akustisches Signal aus, während bei weiterem Temperaturanstieg der zweite Grenzwertkontakt die Energiezufuhr bei gleichzeitiger Signalisierung abschaltet.

6.2 Ausrüstung der Schaltwarten

In der Schaltwarte des Gebäudes 272 ist der Leitstand für den Kessel und Kreislauf installiert. Die Geräte sind in Rasterschränke der Firma Hartmann und Braun eingebaut. Die Anordnung der 3 Geräte und 2 Regelschränke ist aus der Abbildung 21 zu ersehen. Im ersten Rasterschrank (192 x 96) von links nach rechts ist der 6-Punkteschreiber für die drei Leitfähigkeitsmeßstellen, drei zugehörigen Grenzwertmelder ein Schreiber für den Sauerstoffgehalt des Dampfes, einen Doppellinienschreiber für Kesselenddruck und Kesselendtemperatur und einen Schreiber für die Dampfmenge angeordnet. Der zweite Rasterschrank mit der Rastermasse 144 x 72 ist der Leitstand für den Kessel. Der dritte Rasterschrank (144 x 72) ist der Leitstand für den Kreislauf. Die beiden sich anschließenden Schränke beinhalten in Einschubtechnik die kontinuierlichen Regler für die 13 Regelkreise. Der Schrittreger für den 14. Regelkreis ist in einem Aufbaugeschäule auf dem 3. Rasterschrank montiert. In der obersten Reihe der Leitstände sind die Betriebsstundenzähler eingebaut. Darunter sind die Leuchttableaus, die das optische Signal geben, und die Leitgeräte angeordnet. Das Leitgerät für den Regler besteht aus Schwenktaster für Ventilstellung 'auf oder 'zu' mit einem Schalter 'Regler' oder 'Hand' und einem Anzeigeelement für die Ventilstellung und die Regelabweichung. Jedem Leitgerät im Rasterschrank ist ein Anzeigeelement für den Istwert zugeordnet. In der untersten Reihe der Rasterschränke sind Steuertaster zum Ein- und Ausschalten der Antriebsmotore angeordnet. Ferner die Taster für 'Not aus' zur Quittierung des akustischen Signals und zur Überprüfung der Signallampen.

In der Schaltwarte I des Gebäudes 272 sind auch die Silikometerschränke zur kontinuierlichen Kontrolle des SiO_2 -Gehalts untergebracht.

Der Leitstand der Teststrecken befindet sich in der Schaltwarte II des Gebäudes 413. Die Bedienungseinrichtungen für die Teststrecken sind in einem Schaltpult mit einer Rastereinteilung 72 x 72 montiert. Die dahinter liegende Schaltwartenwand hat ebenfalls eine Rasterteilung und zwar 192 x 96. In die Schaltwartenwand sind die Schreiber und Leuchtmelder eingebaut. Die Anordnung der Geräte ist aus der Abbildung 22 zu ersehen.

Die für eine Teststrecke zugehörigen Registrier-Anzeige- und Bedienungsgeräte wurden in der Schaltwartenwand und des davor stehenden Schaltpultes der Übersicht halber untereinander angeordnet. Die Reihenfolge der Teststrecken nebeneinander von links nach rechts ist: Isotherme Teststrecken und die Teststrecken I - VI. Eine Haustelefonanlage verbindet die beiden Schaltwarten den Elektro-Verteilerraum, den Prüfstand und die Dampferzeugeranlage. Die Apparate der Schaltwarten sind mit 2 Rufnummern ausgestattet, so daß ein Gespräch einen Anruf nicht blockiert.

6.3 Montage der Geräte und elektrische Verbindungen

Die Meßumformer und Thermostate für den Kessel im Gebäude 272, sowie für den Kreislauf im Gebäude 413 sind jeweils auf einer Gebäudewand übersichtlich angeordnet montiert. Zentral an den Meßumformern und Thermostaten ist ein Unterverteiler für die elektrischen Anschlüsse angeordnet. Vom Unterverteiler 'Kreislauf' laufen Stammkabel zum Rangierverteiler im Elektro-Verteilerraum unter der Schaltwarte im Bau 413, während die Stammkabel vom Unterverteiler 'Kessel' zum Rangierverteiler in der Schaltwarte Bau 272 führen.

Der Leitstand der Schaltwarte, Bau 413, und die Leitstände und Reglerschränke der Schaltwarte in Bau 272 sind mit den zugehörigen Rangierverteilern ebenfalls verbunden. Beide Rangierverteiler sind wiederum durch Stammkabel miteinander verbunden. (Abb. 23). Mit diesem System lassen sich Querverbindungen sehr leicht schalten. Die Stammkabel sind aufgeteilt für Meßleitungen sowie Steuer- und elektrische Einspeiseleitungen. Die Stammkabel zur Übertragung der Thermospannungen sind abgeschirmt und der einzelne Leitungsquerschnitt beträgt $2,5 \text{ mm}^2$, um den Widerstand gering zu halten. Die Leisten in den Rangierverteilern für die Meßleitungen sind beidseitig gelötet, während für die übrigen Leitungen Klemm-Lötleisten verwendet worden sind.

Zur Temperaturmessung sind überwiegend Thermoelemente eingesetzt. Um schnelle Ansprechzeiten zu erreichen, sind es Mantelthermoelemente mit 3 mm Außendurchmesser. Bis vor einiger Zeit wurden diese Mantelthermoelemente direkt mit dem Medium in Verbindung gebracht. Es zeigte sich aber, daß viele Thermoelemente feine Haarrisse im Mantel haben. Dadurch dringt Feuchtigkeit in das Isoliermaterial. Das Magnesiumoxyd quillt und zerstört den Mantel und damit wird das Thermoelement unbrauchbar. Während des Betriebs läßt sich ein Austausch nicht vornehmen. Deshalb wurden Eintauchhülsen mit einem sehr dünnen, flachen Boden verwendet. Eine zylindrische Druckfeder preßt das Mantelthermoelement gegen den Boden.

Zwischen Thermoelement und Thermostat wurde eine abgeschirmte Ausgleichsleitung verlegt. Um den Leitungswiderstand gering zu halten, wurde ab den Thermostaten abgeschirmte Kupferleitung verlegt.

7. Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme der Anlage wurde in Zusammenarbeit mit den Lieferfirmen durchgeführt. Der Ablauf erfolgte in mehreren Phasen.

Überprüfung der Mess-, Registrier- und Regelgeräte sowie die Voreinstellung der Regelparameter an den Reglern. Inbetriebsetzung der Speisewasserpumpen, die zuerst gespült und dann bei geringem Gegendruck nacheinander eingefahren wurden.

Reinigung und Dichtheitsprüfung des Kessels sowie die Voreinstellung, Zündung und Optimierung der Feuerung.

Bei der Inbetriebsetzung der Dampfumgebungsleitung, der Kondensationsanlage, der Kondensatreinigungsanlage, der Vorwärmer, des Verdampfers, des Dampfüberhitzers und der Teststrecken wurden die wasserführenden Leitungen und Apparate gespült und die dampfführenden Leitungen und Apparate mit Sattdampf ausgeblasen. Nach der Reinigung wurden die Dichtheitsprüfungen der Anlageteile durchgeführt.

Vor der Abnahme der Anlage durch den Technischen Überwachungsverein wurden die Sicherheitsventile auf die erforderlichen Abblasedrücke eingestellt. Die Abnahme durch den TÜV bezog sich auf die Überprüfung der vorschriftsmässigen Auslegung der Druckbehälter sowie deren Ausrüstung mit den vorgeschriebenen Sicherheitsorganen.

Nach dem Einbau der Heizstäbe (Prüflinge) in die 6 Teststrecken konnte die elektrische Energieversorgung, einschliesslich für den Dampfüberhitzer hintereinander in Betrieb genommen werden.

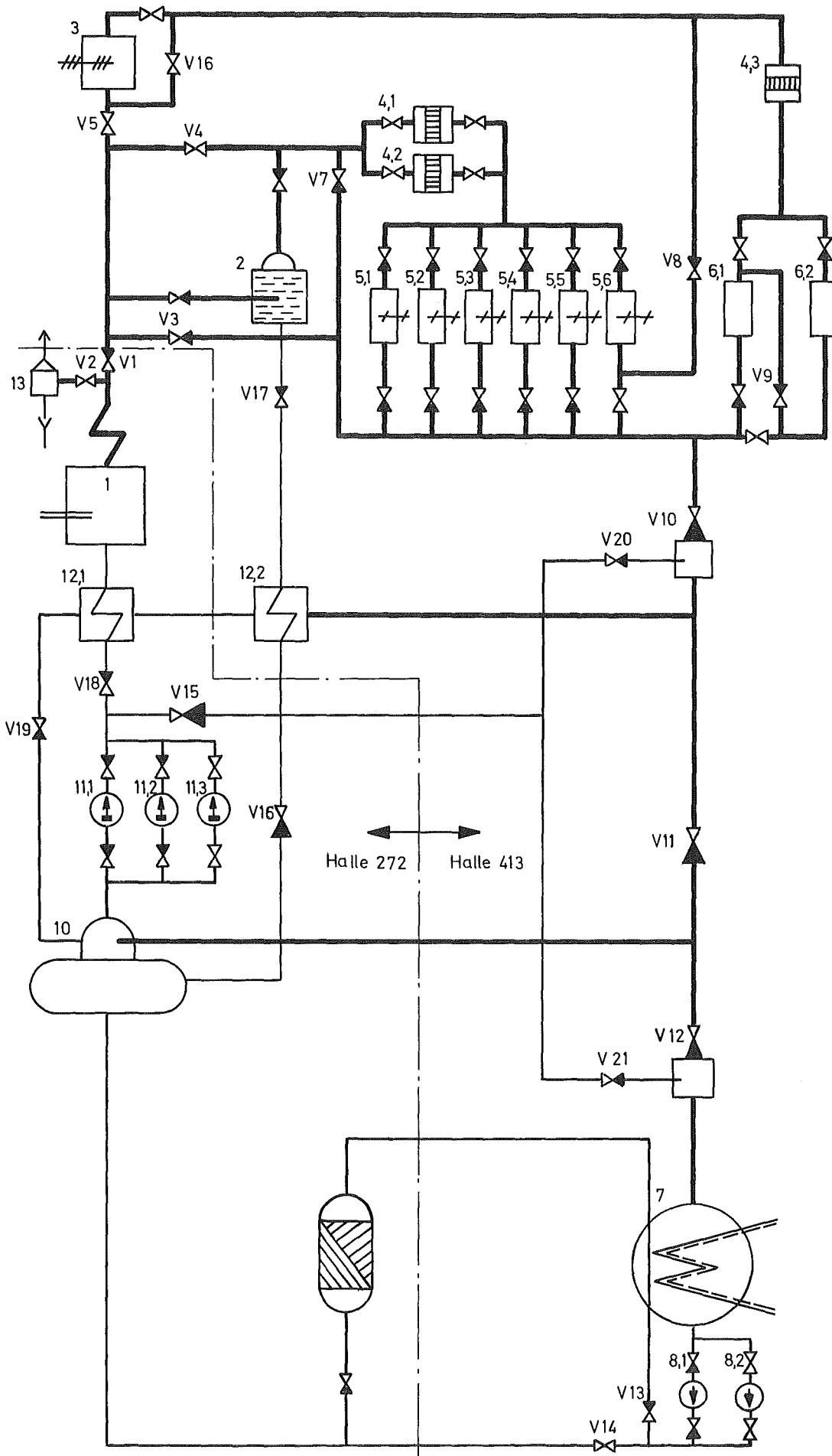
Den Abschluss der Inbetriebnahme bildete eine einwöchige Erprobung der Anlage, bei der die Regelkreise optimiert wurden.

Verzeichnis der Abbildungen:

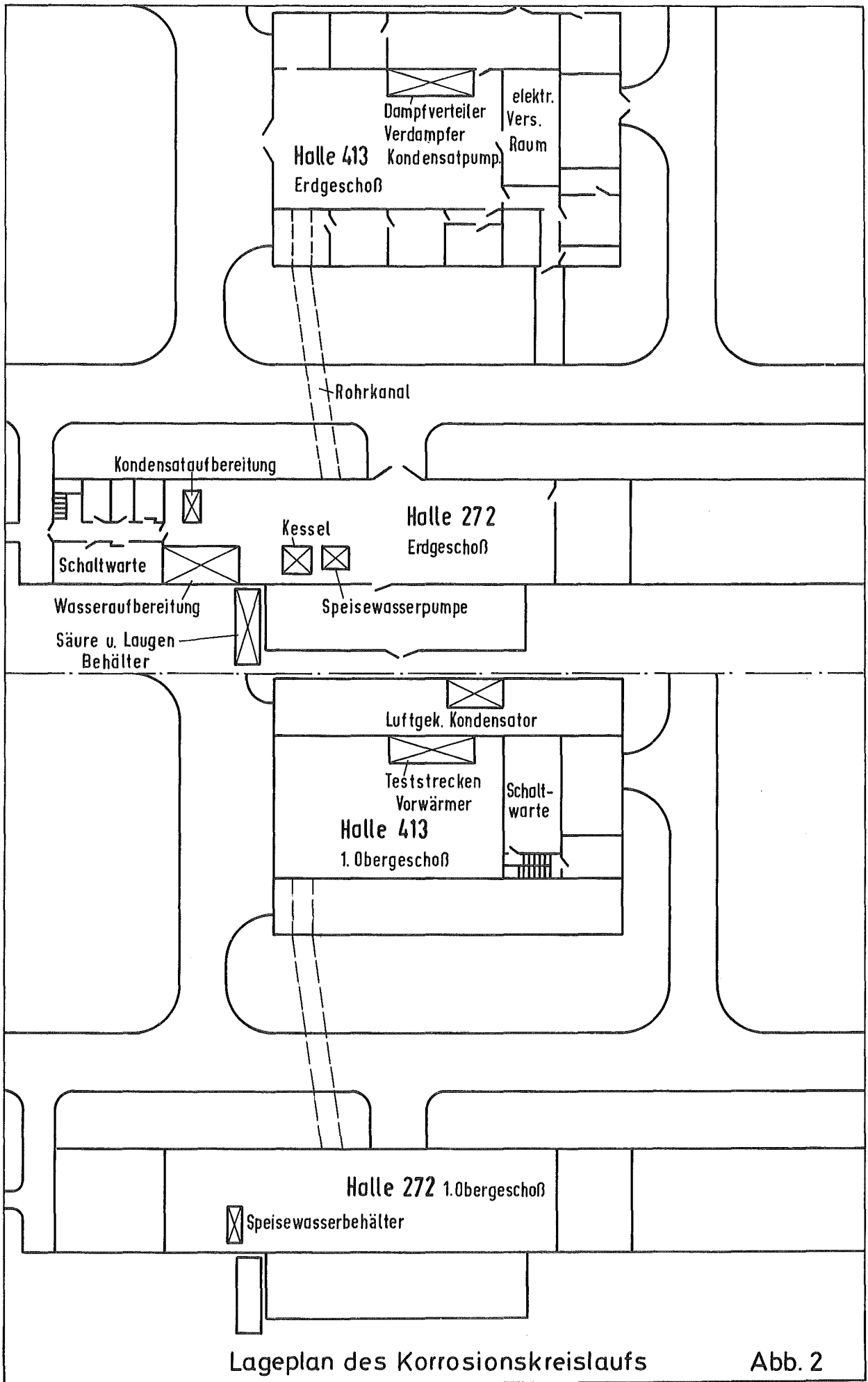
- Abb. 1 Funktionsschaltbild
- Abb. 2 Lageplan des Kreislaufs
- Abb. 3a-d Wärmeschaltbild
- Abb. 4 Einrohr-Zwangsdurchlaufkessel
- Abb. 5 Verdampfer
- Abb. 6 Elektrischer Dampfüberhitzer
- Abb. 7 Dampffilter mit 3 Filterkerzen
- Abb. 8 Dampffilter mit 1 Filterkerze
- Abb. 9 Beheizte Teststrecke mit Einzelstab
- Abb. 10 Beheizte Teststrecke mit 9 Stabbündeln
- Abb. 11 Isotherme Teststrecke
- Abb. 12 Luftgekühlter Kondensator mit Nachkühler
- Abb. 13 Speisewasserbehälter mit Entgaser
- Abb. 14 Speisewasserpumpe
- Abb. 15 HD-Vorwärmer I
- Abb. 16 HD-Vorwärmer II
- Abb. 17 Speisewasser-Aufbereitungsanlage
- Abb. 18 Kondensat - Aufbereitungsanlage
- Abb. 19 Rohrschaltplan - Korrosionskreislauf
- Abb. 20 Meß- und Regelschema - Korrosionskreislauf
- Abb. 21 Schaltwarte Bau 272
- Abb. 22 Schaltwarte Bau 413
- Abb. 23 Elektrische Verbindungen des
Korrosions-Kreislaufes
- Abb. 24 Korrosions-Kreislauf

Literaturhinweise

- 1) A. Engel, Marl
"Der Einsatz austenitischer Stähle im neuen Kraftwerk
Hüls"
VGB Heft 55, Aug. 58, Seite 27 - 36
- 2) Hans Schmidt, IRB "Zur Problematik des Begasens von
Flüssigkeiten"
(unveröffentlicht)
- 3) Hans Schmidt, IRB "Stand-Messung (Füllstandanzeige)
für Flüssigkeiten mit unbekanntem Gasanteil"
(unveröffentlicht)
- 4) H. John, IRB "Heißdampffilter - Teil 1"
KFK-1183, Mai 1970
- 5) H. John, IRB "Dampffilter für Heißdampf-Korrosions-
Kreislauf"
(unveröffentlicht)
- 6) Casal, Graf, Hartmann, IRB "Weiterentwicklung von
hochbelasteten Heizstäben"
KFK-Bericht in Vorbereitung
- 7) V. Casal, IRB "Heizstäbe mit indirekter Widerstands-
beheizung zur Simulierung von Kernbrennstäben"
KFK-894, März 1969
- 8) Just, IRB "Der Einsatz von Heizstäben als Heißdampf-
Korrosions-Prüflingen"
(unveröffentlicht)
- 9) Dr.G.Wieland "Steinmüller Taschenbuch Wasserchemie"
Vulkan-Verlag Dr.W.Classen, Essen

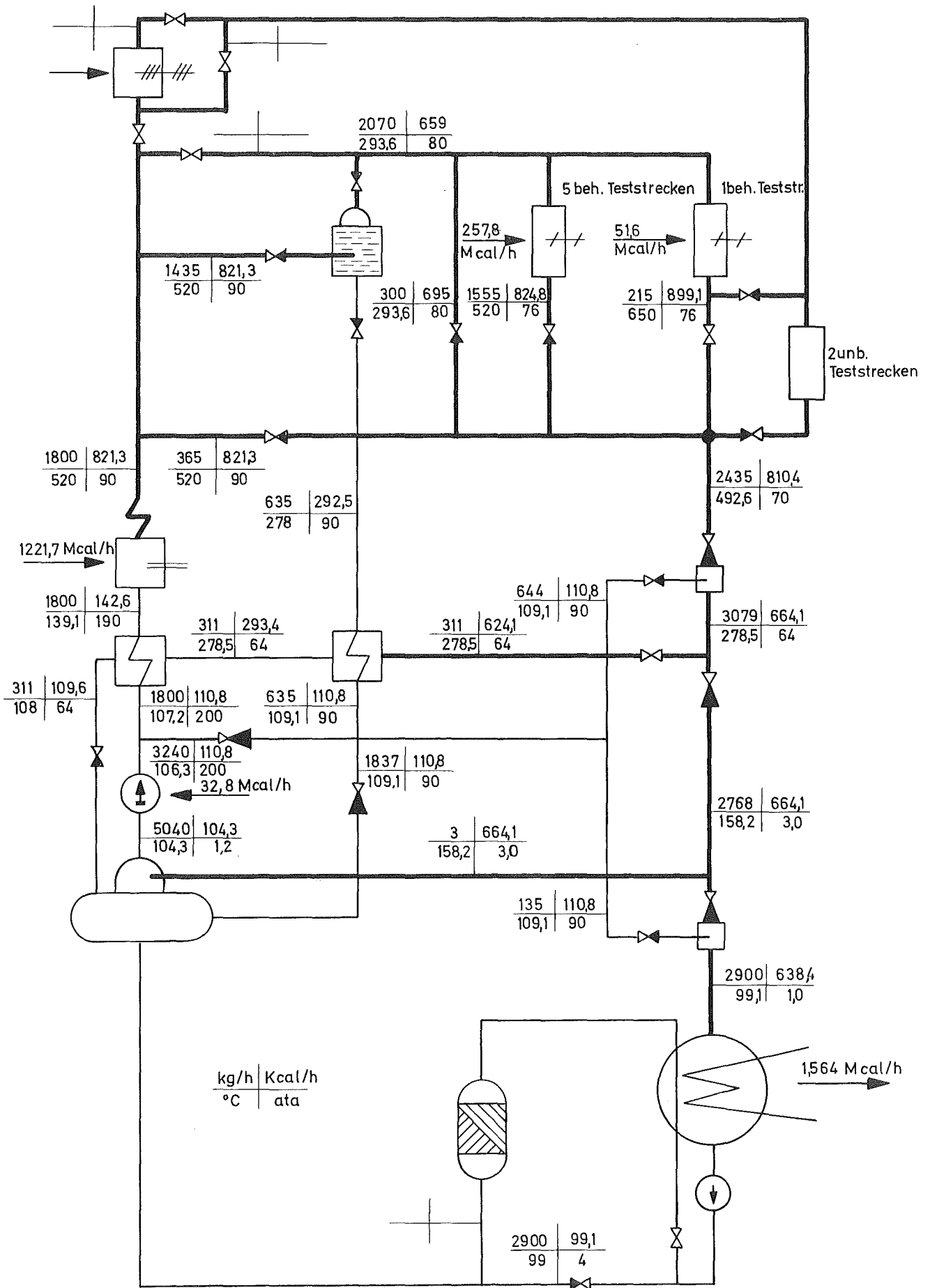


Funktionsschaltbild „Heißdampf-Korrosions-Kreislauf“ Abb.1



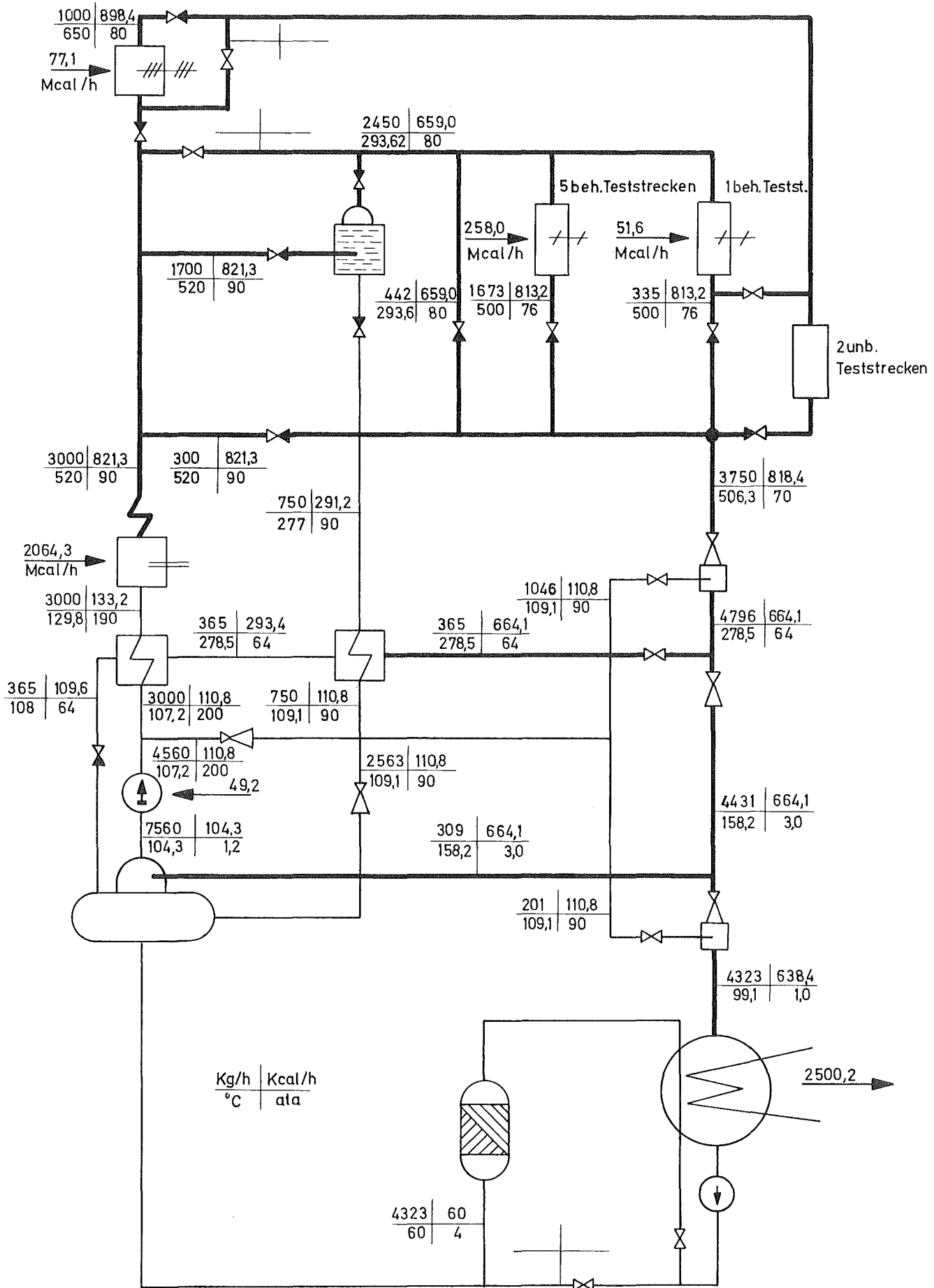
Lageplan des Korrosionskreislaufs

Abb. 2



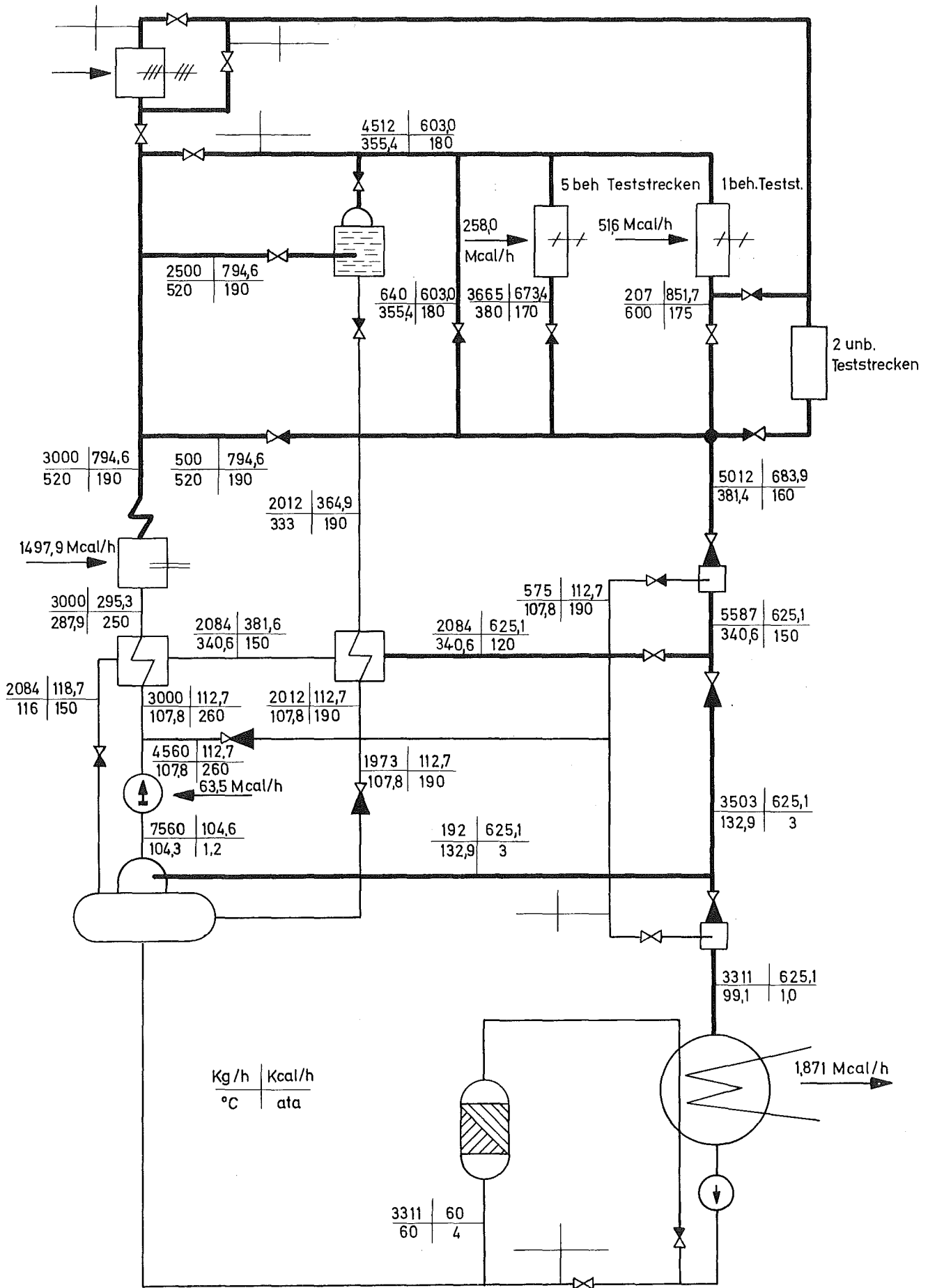
Wärmeschaltbild

Abb.3a



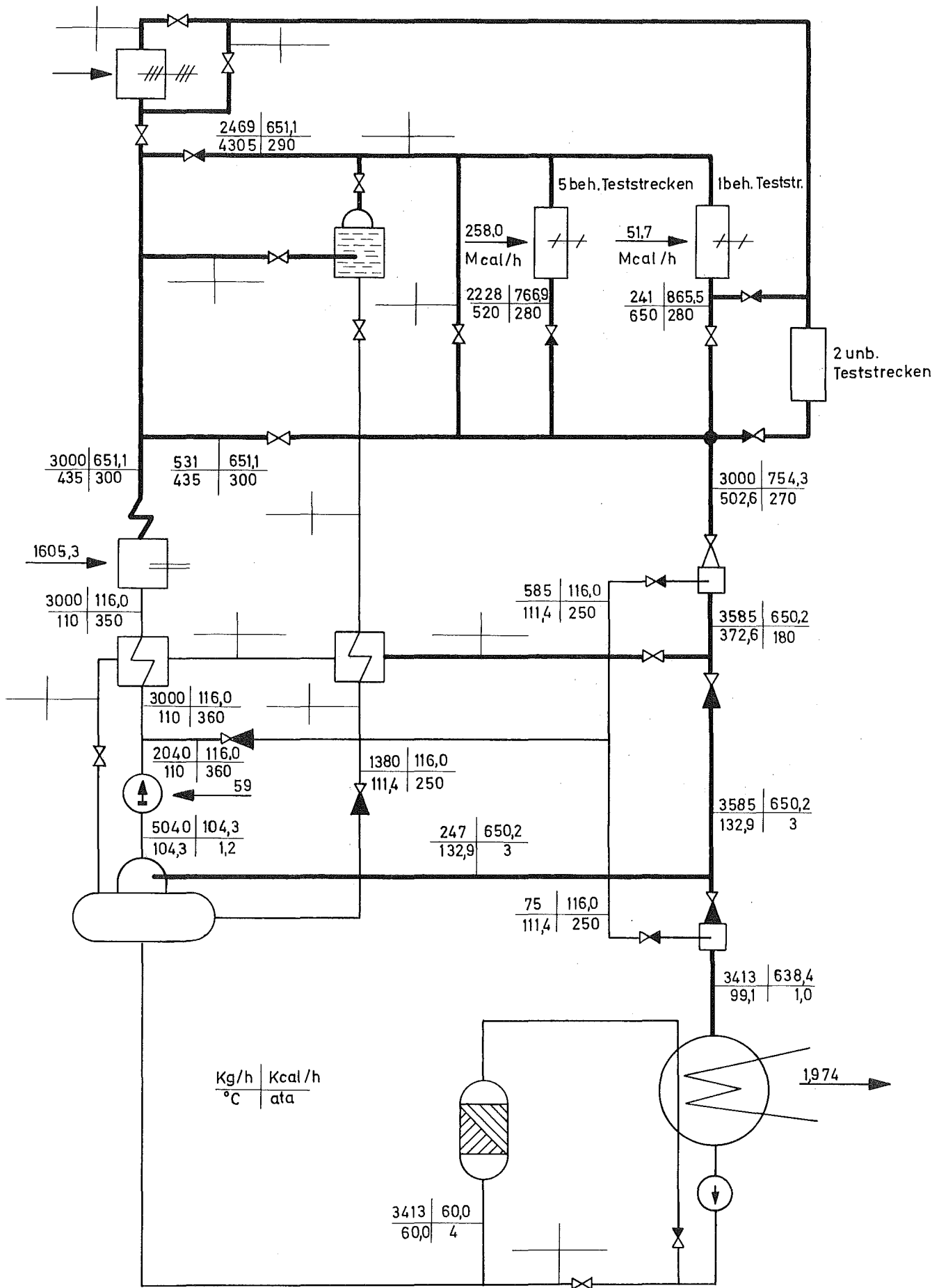
Wärmeschaltbild

Abb. 3b



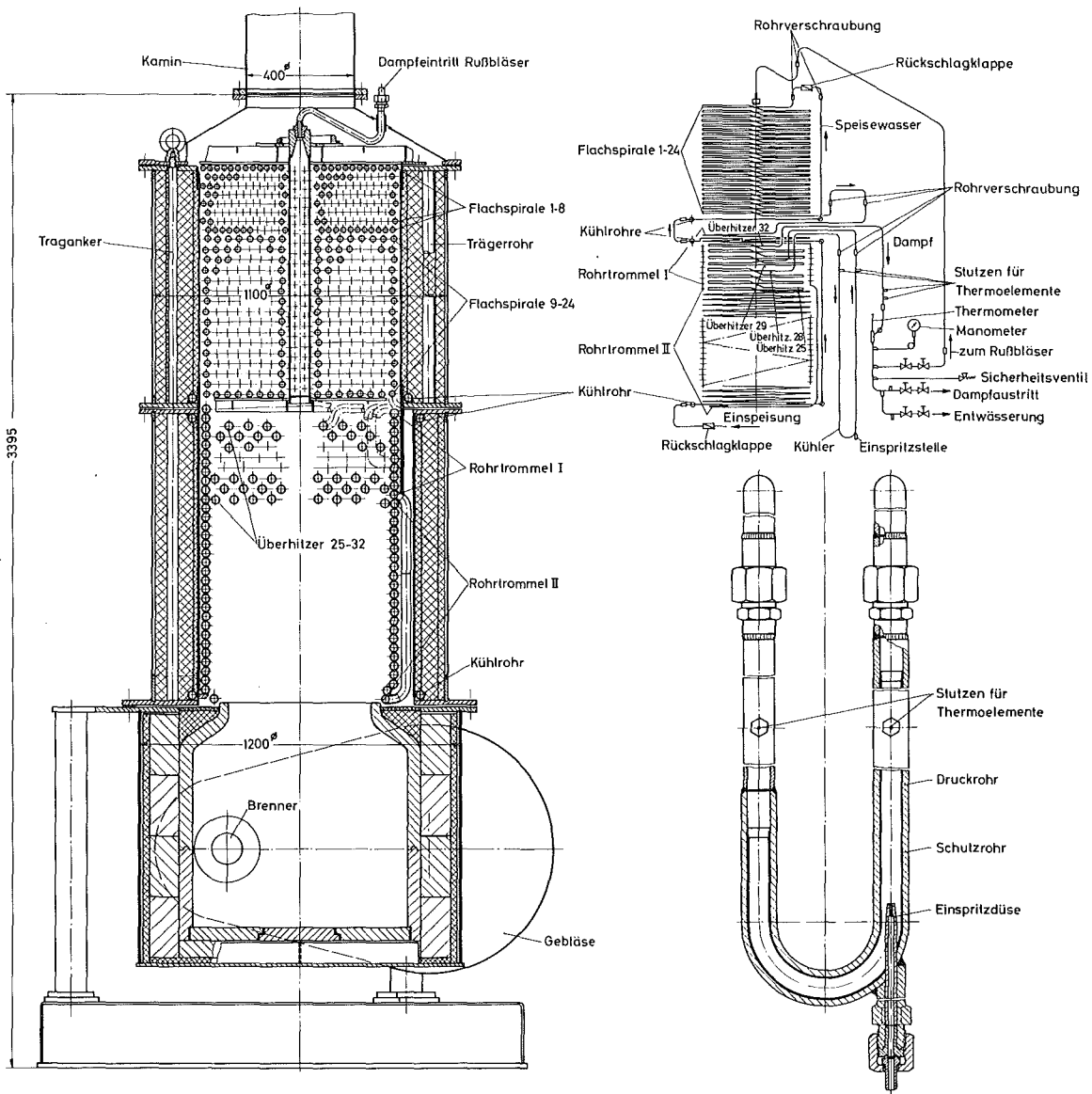
Wärmeschaltbild

Abb. 3c



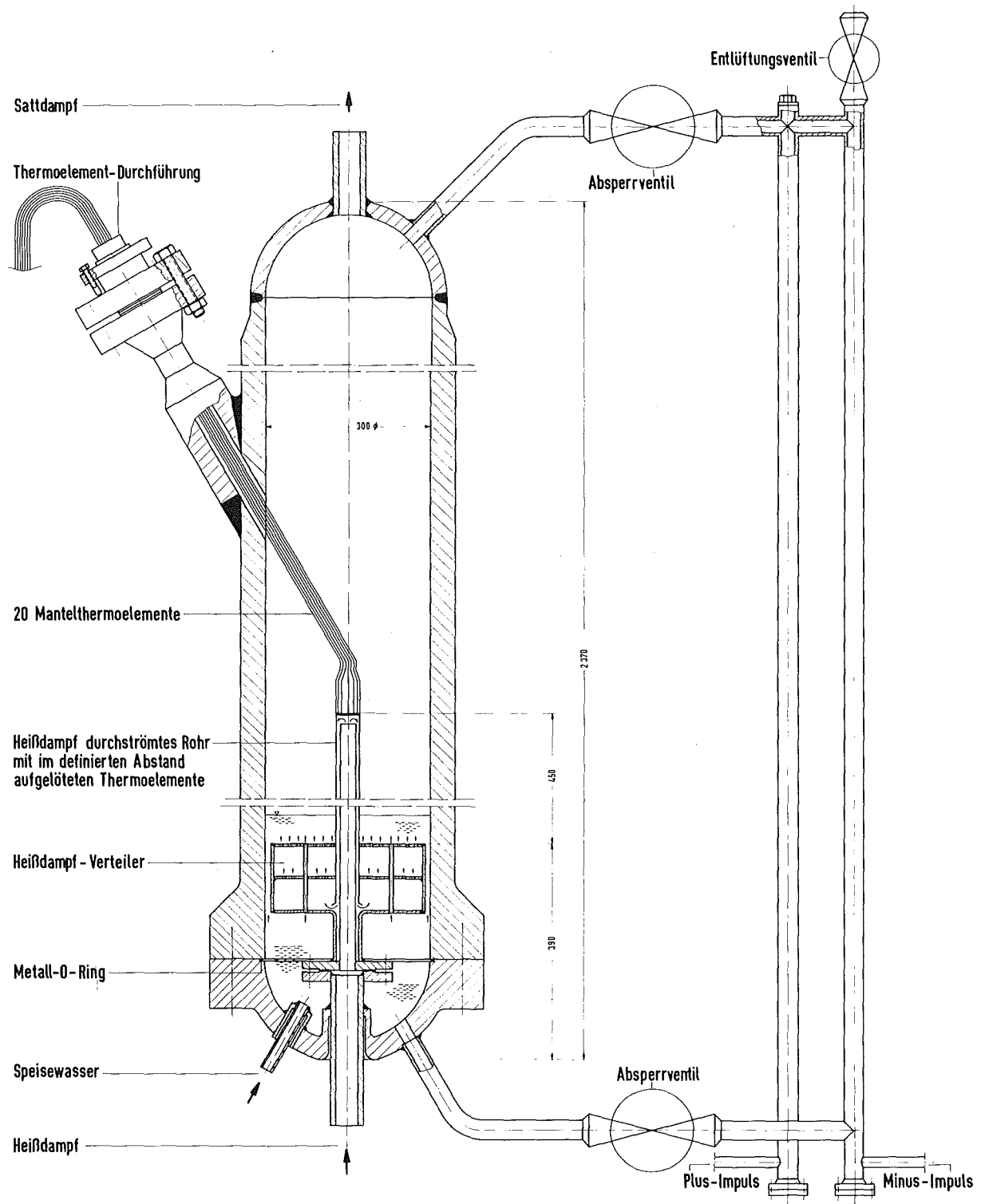
Wärmeschaltbild

Abb. 3 d



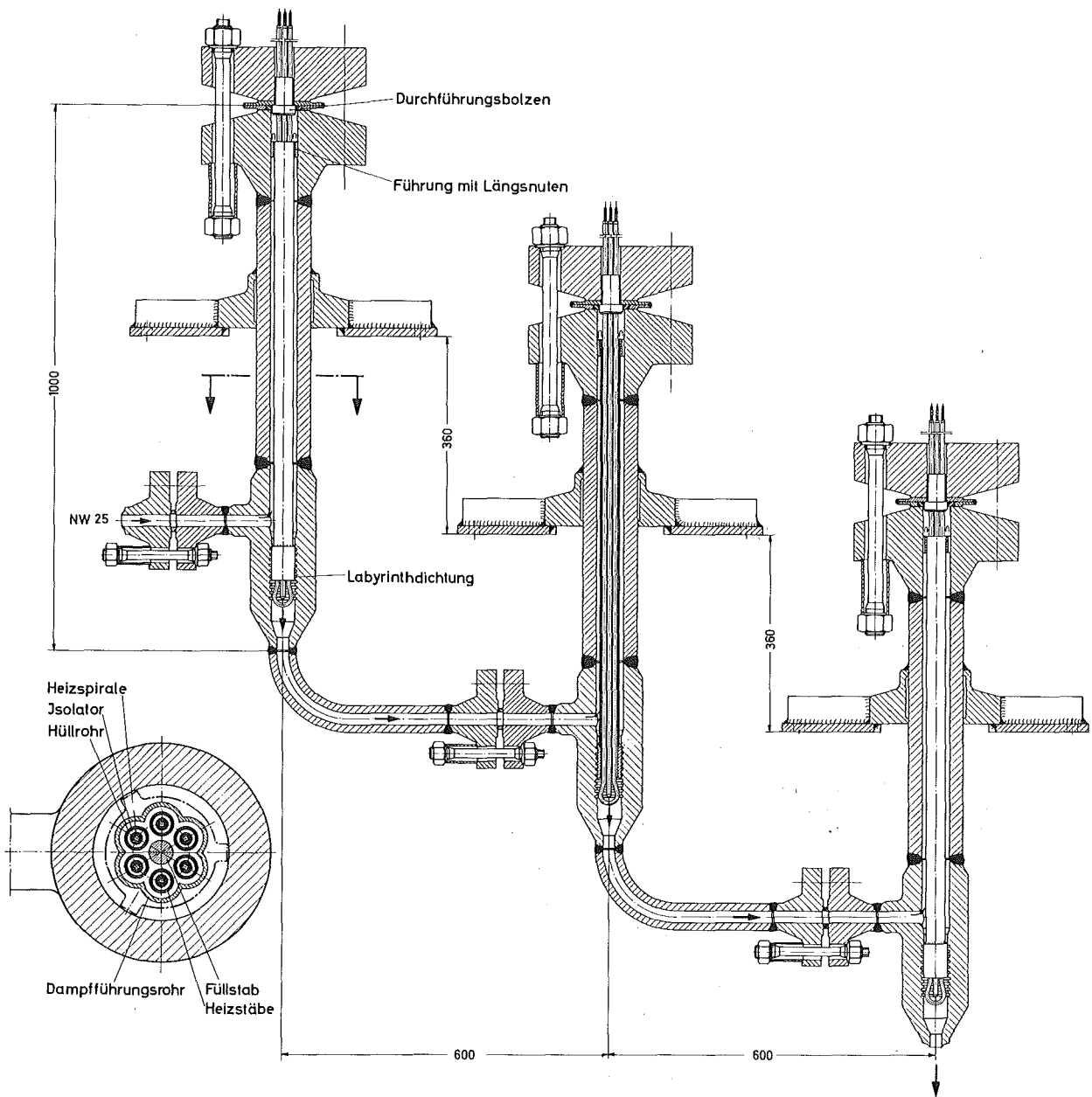
Einrohr - Zwangsdurchlauf - Kessel

Abb. 4



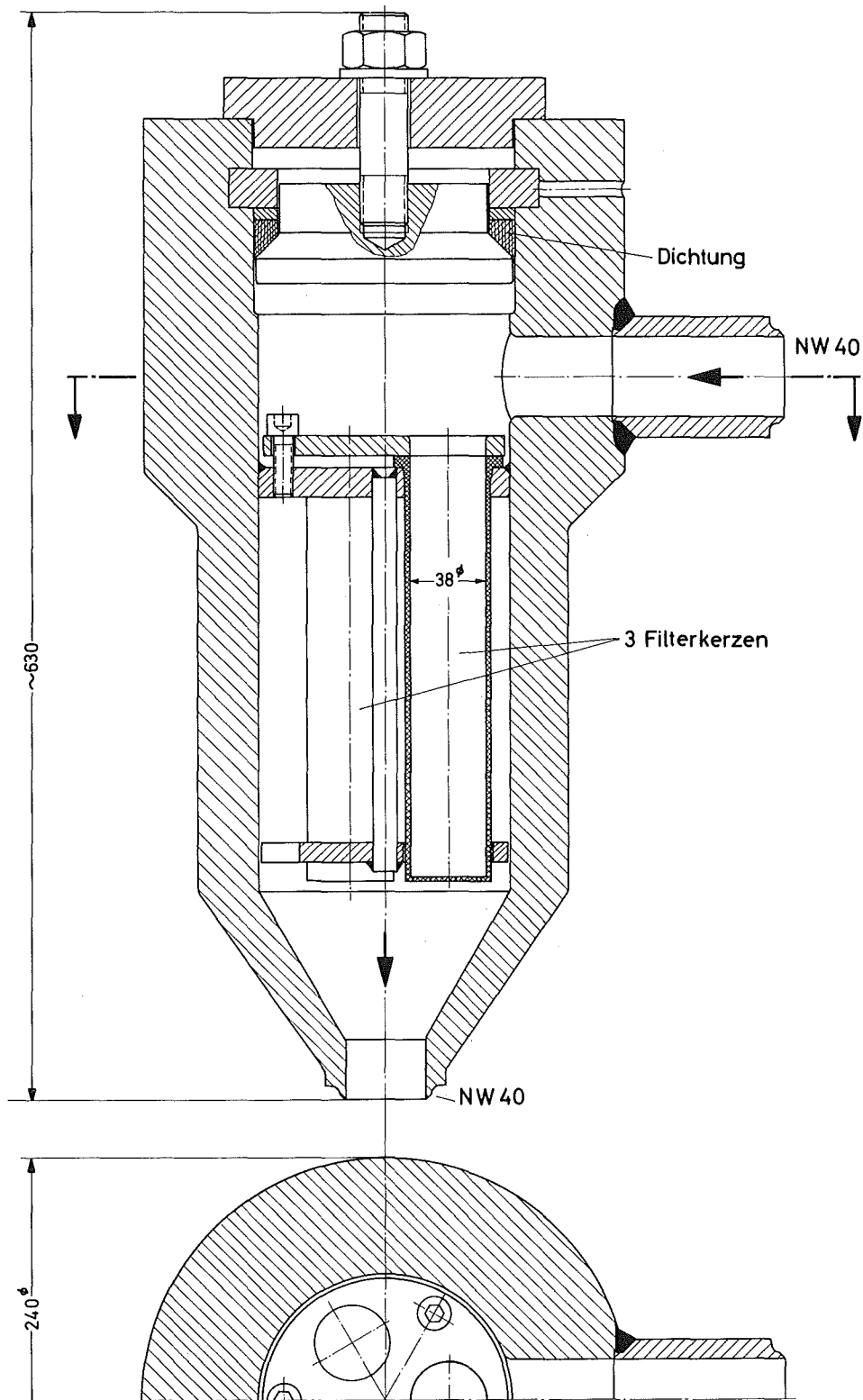
Verdampfer

Abb. 5



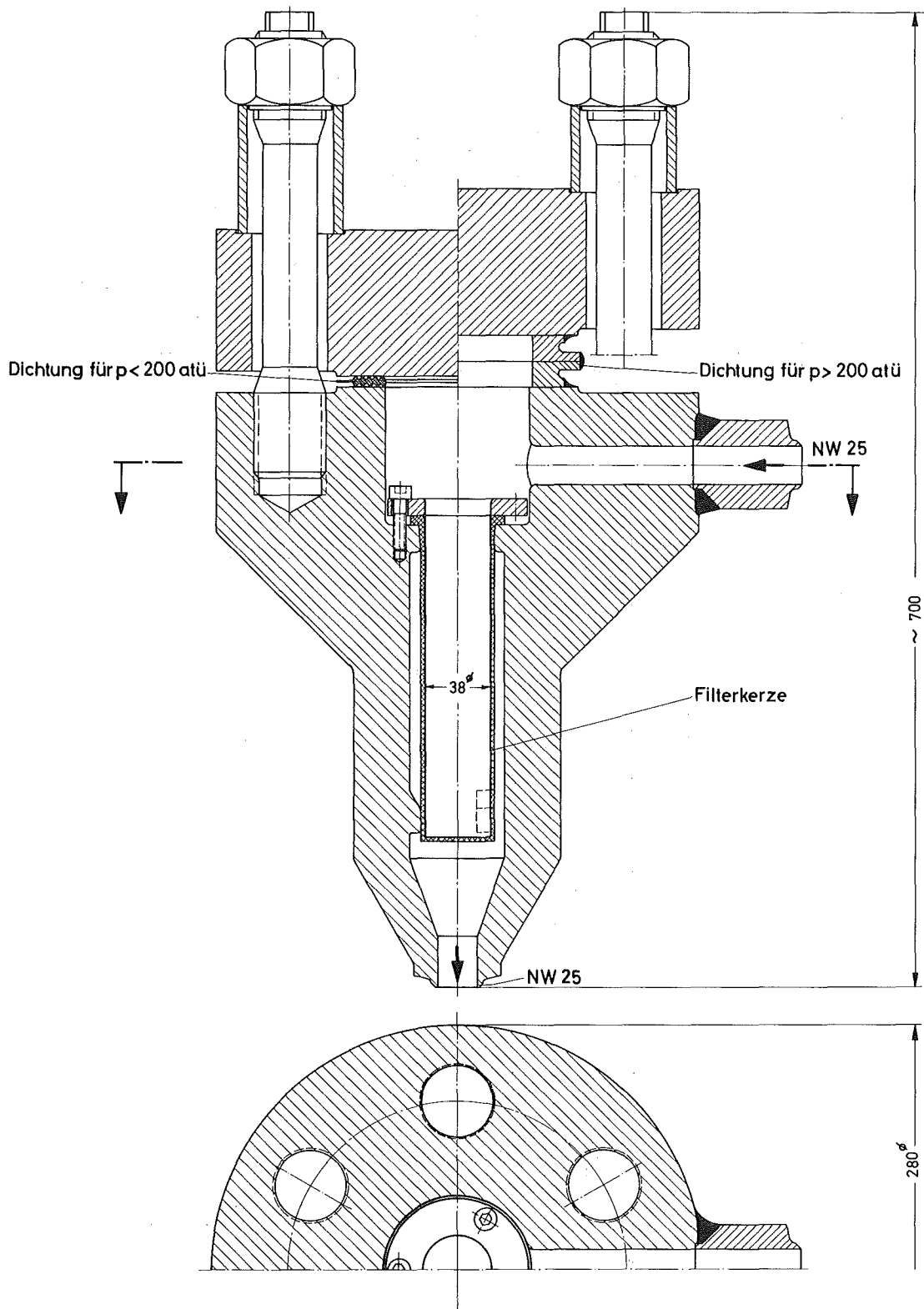
Elektrischer Dampfüberhitzer

Abb. 6



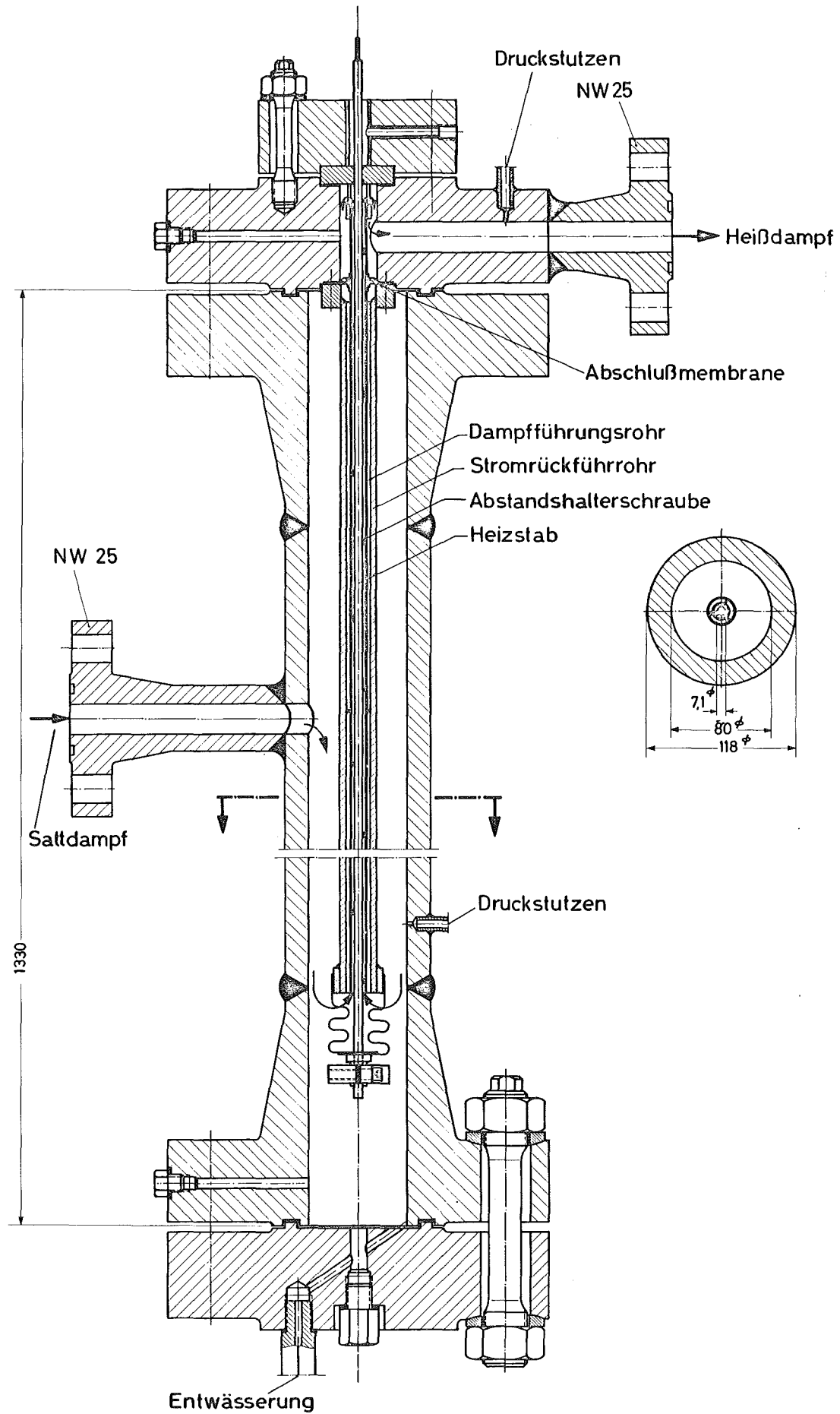
Dampffilter mit 3 Filterkerzen

Abb. 7



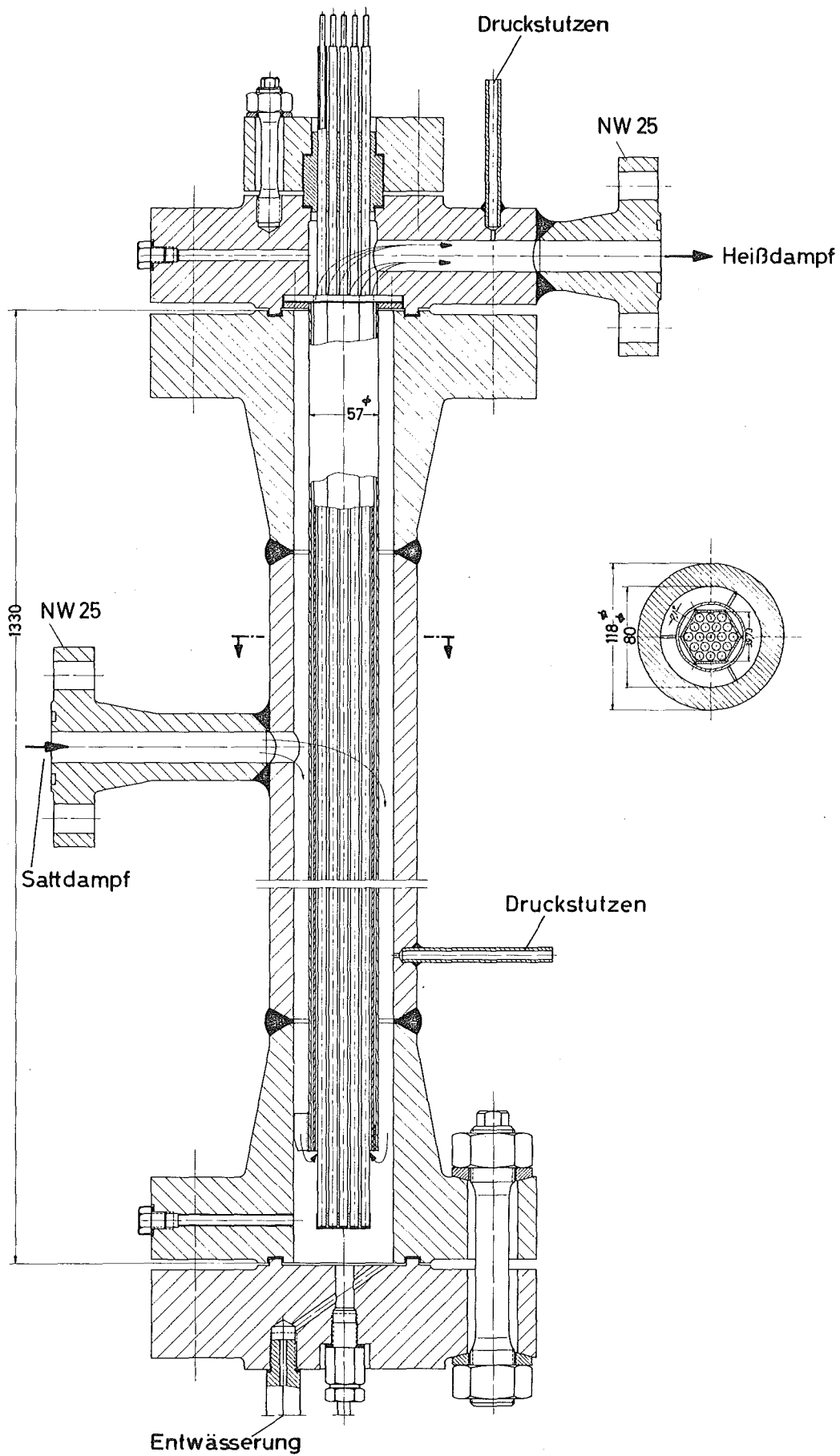
Dampffilter mit 1 Filterkerze

Abb. 8



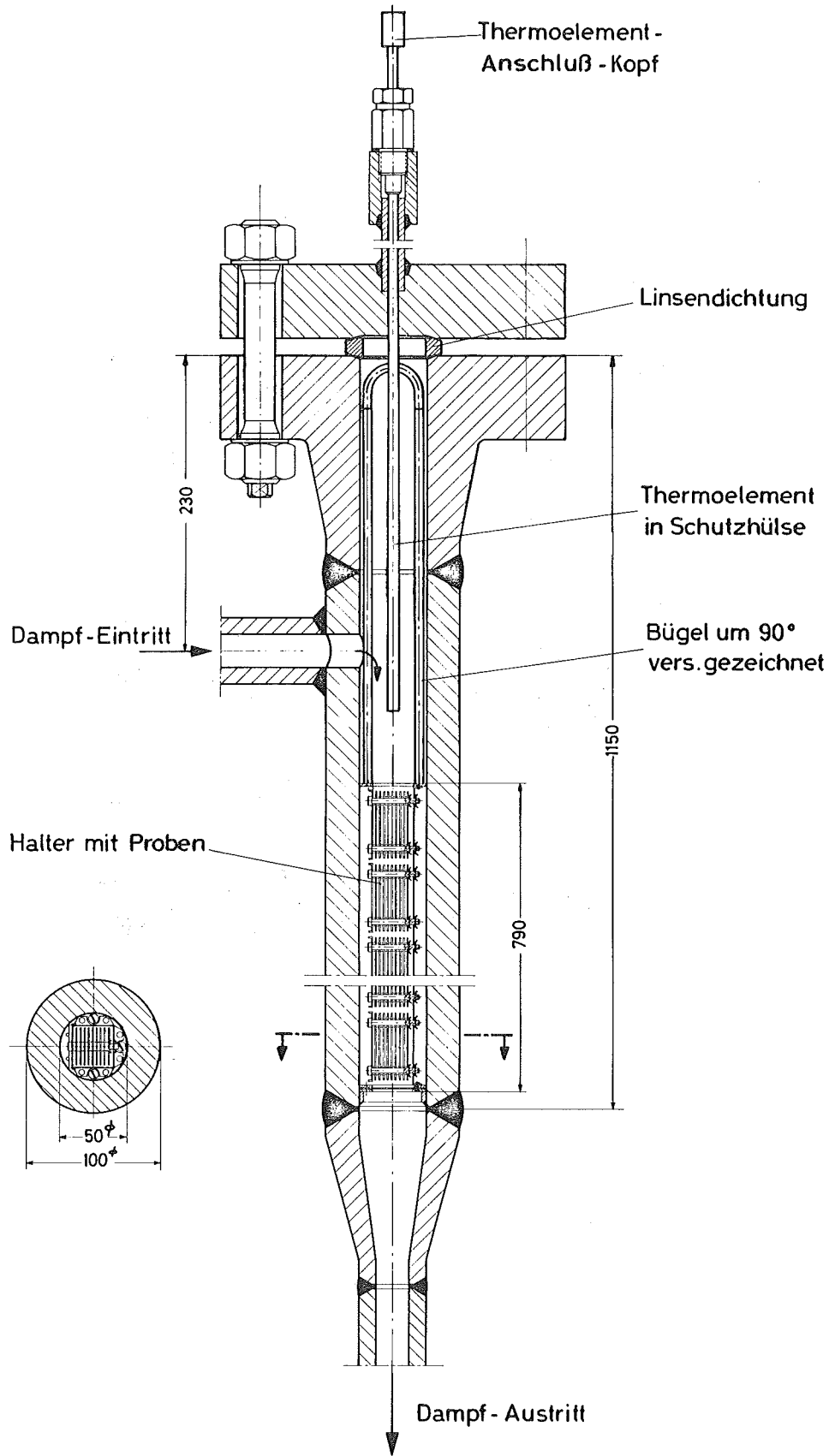
Beheizte Teststrecke mit Einzelstab

Abb. 9



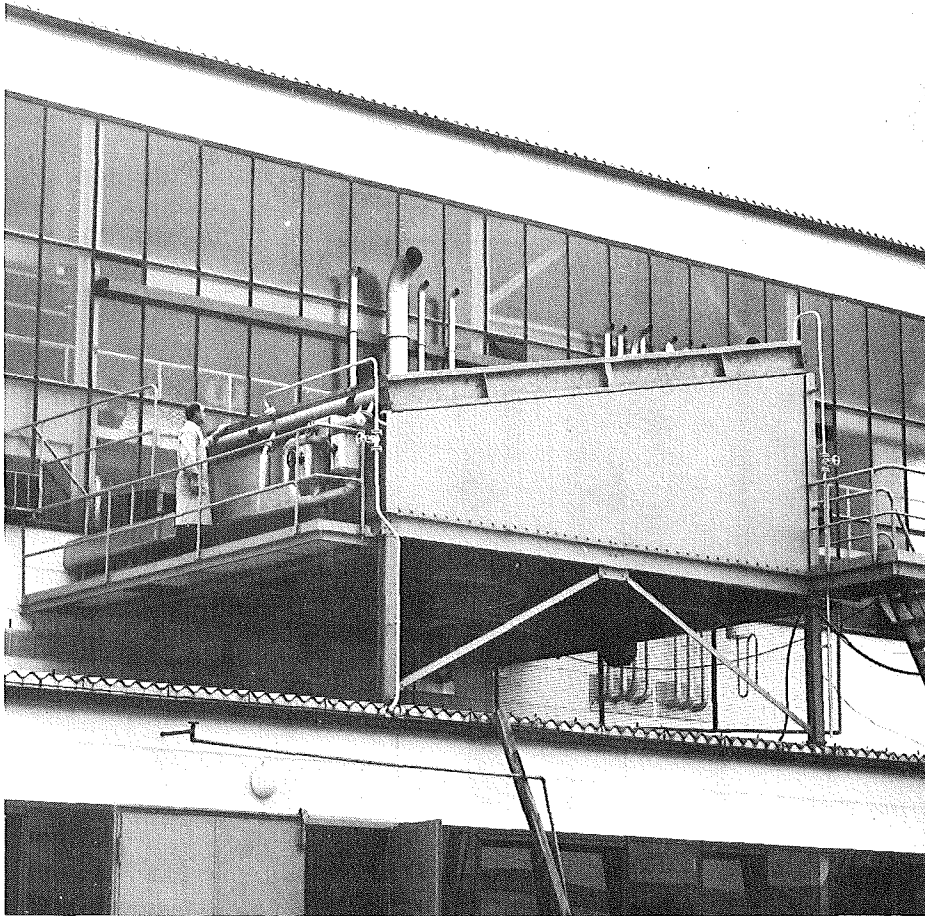
Beheizte Teststrecke mit 19- Stabbündel

Abb 10



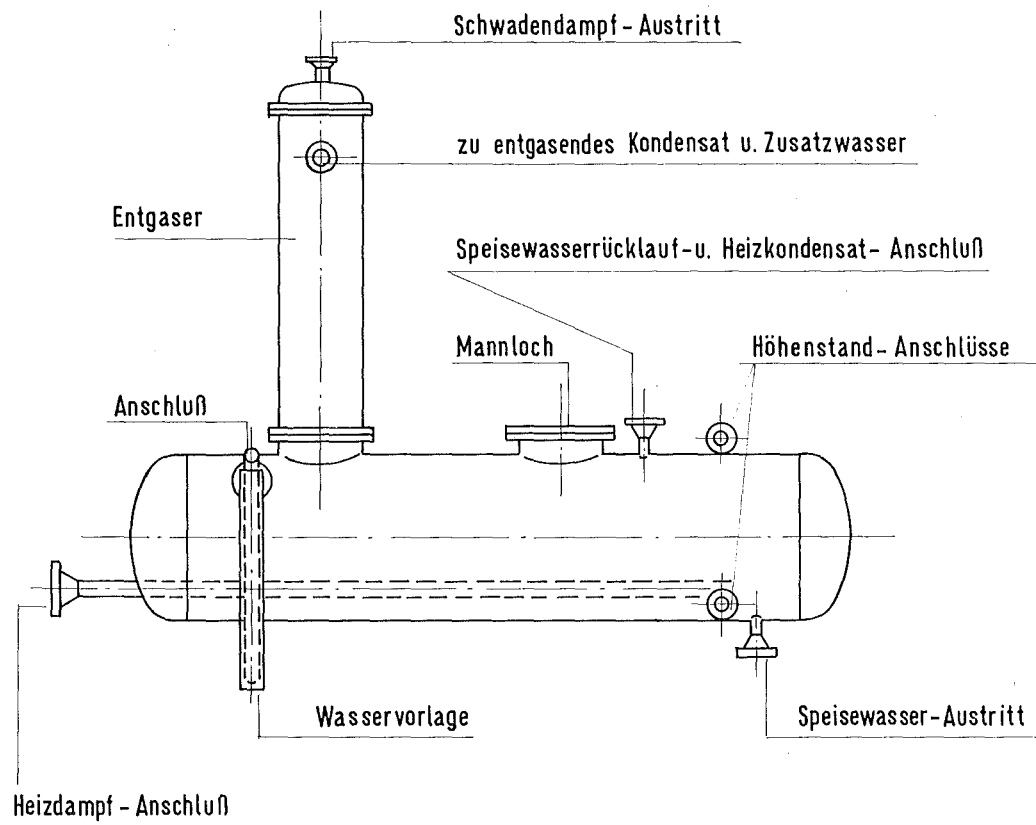
Isotherme Teststrecke

Abb. 11

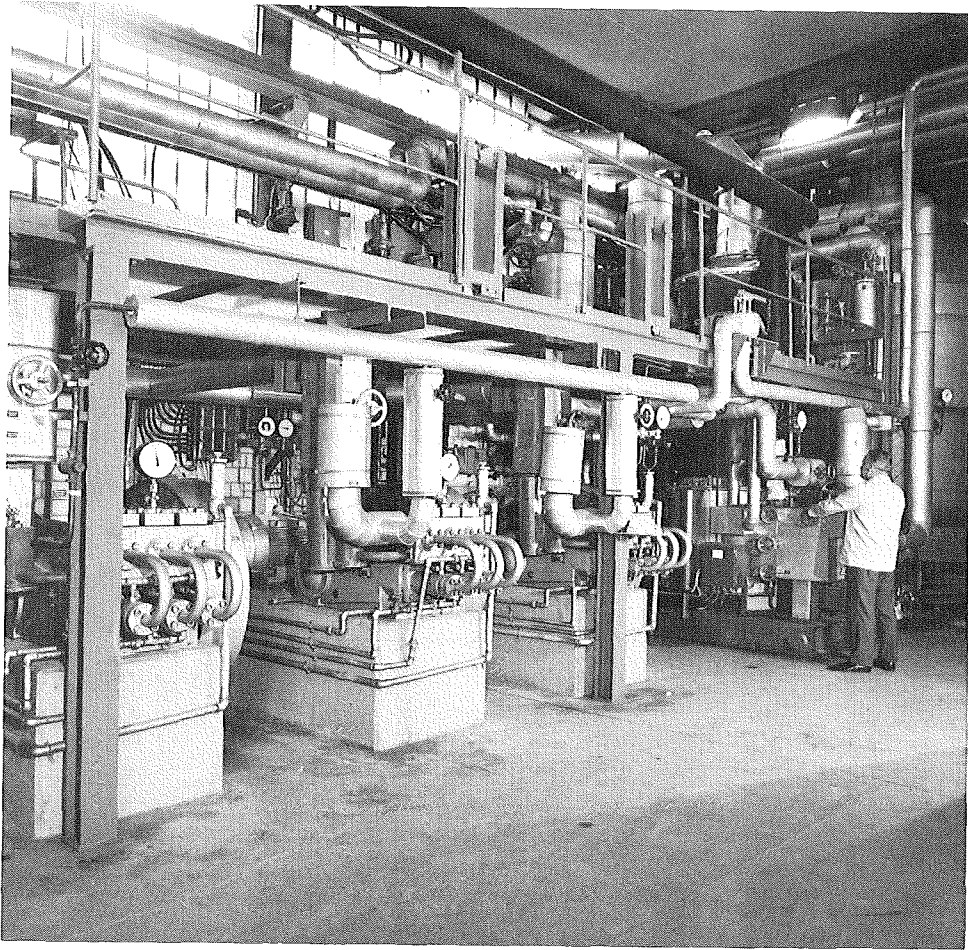


Luftgekühlter Kondensator mit Nachkühler

Abb.12

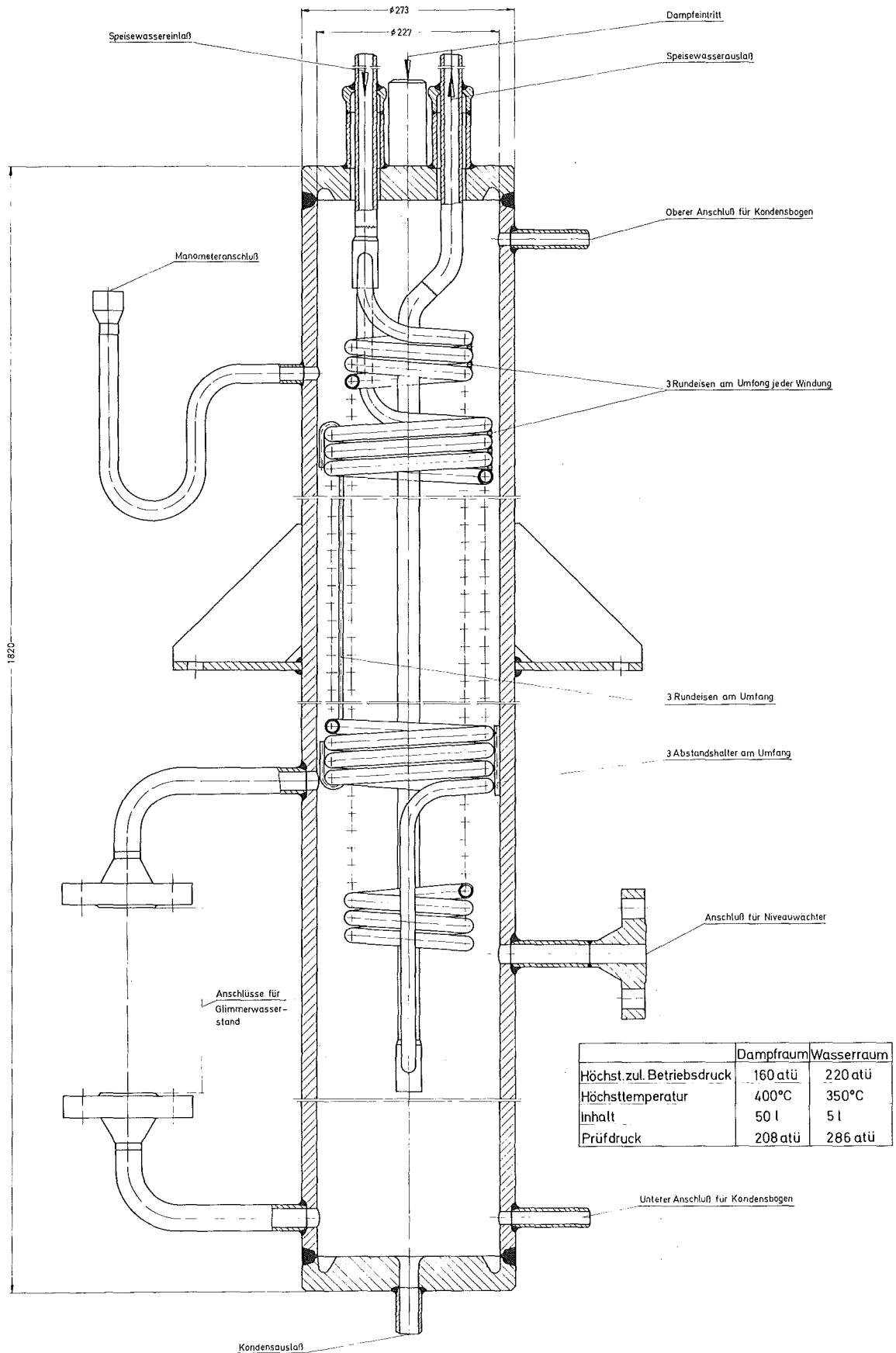


Speisewasserbehälter mit Entgaser



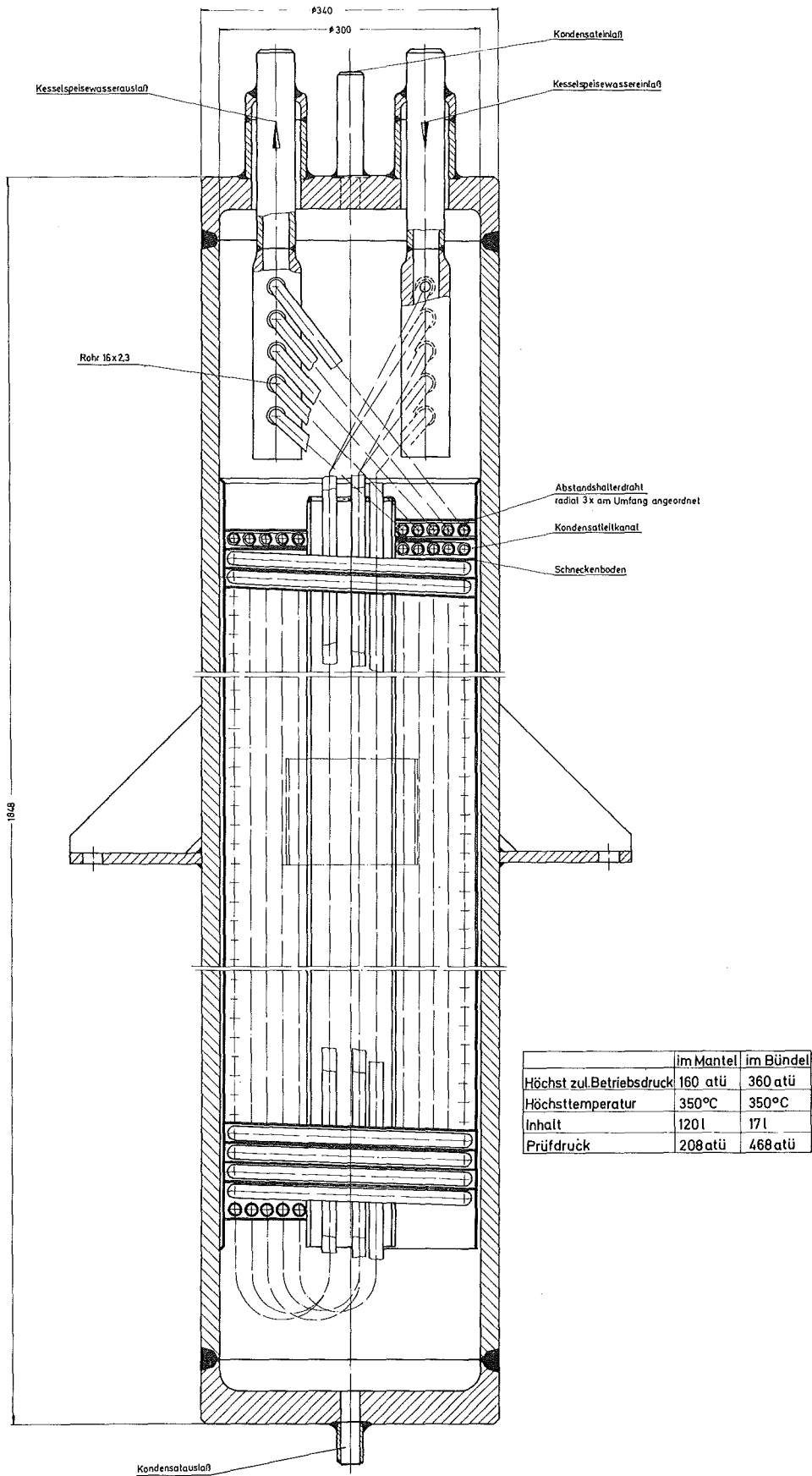
Speisewasserpumpe

Abb. 14



HD - Vorwärmer I Austauschfläche 2m^2

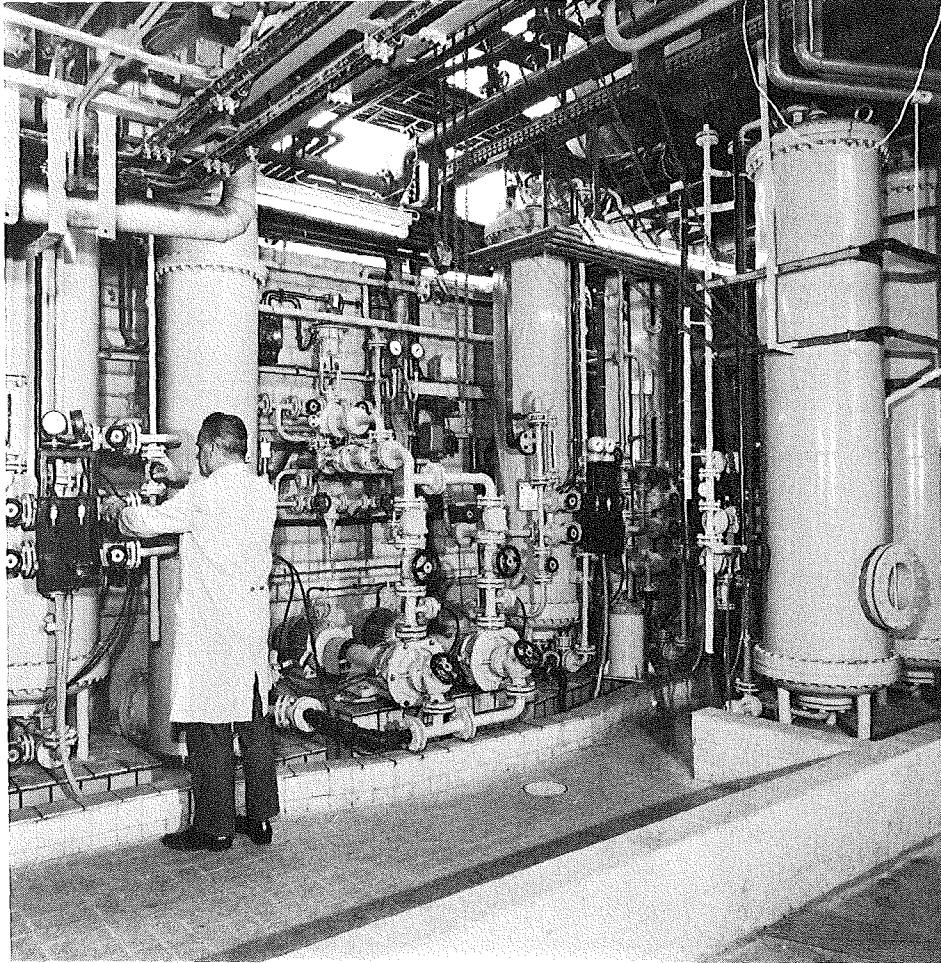
Abb. 15



	im Mantel	im Bündel
Höchst zul. Betriebsdruck	160 atü	360 atü
Höchsttemperatur	350°C	350°C
Inhalt	120 l	17 l
Prüfdruck	208 atü	468 atü

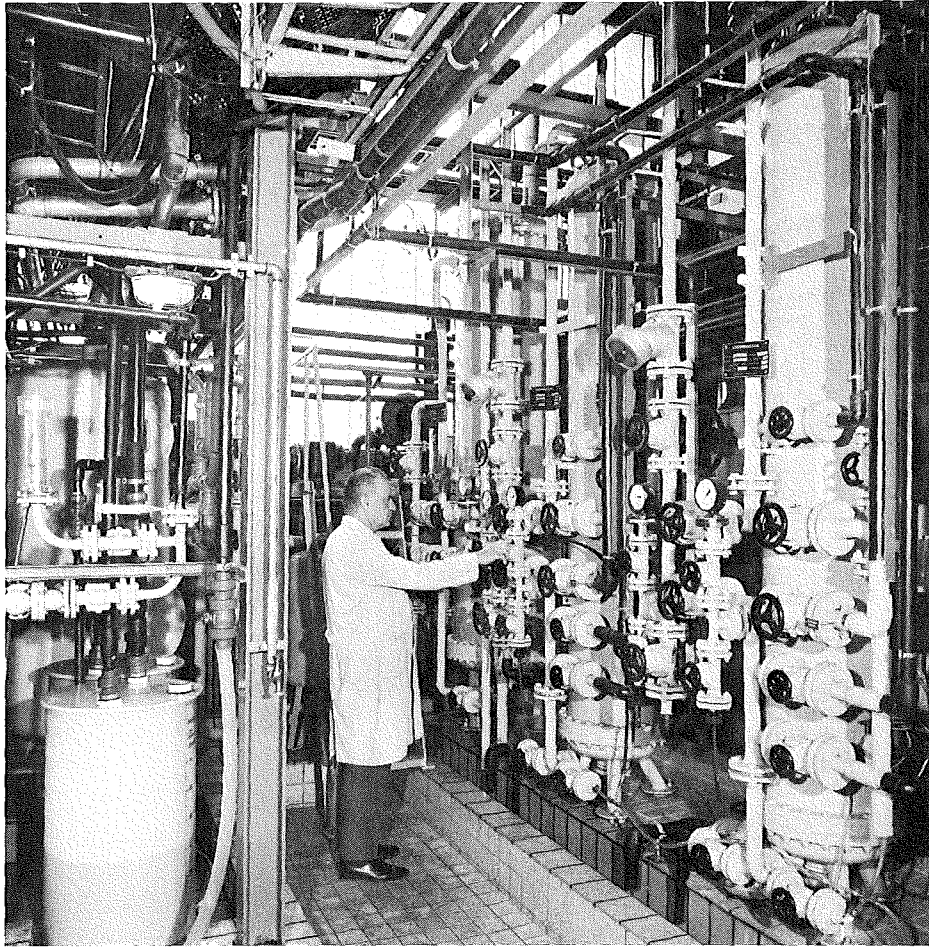
HD - Vorwärmer II Austauschfläche 7m²

Abb. 16



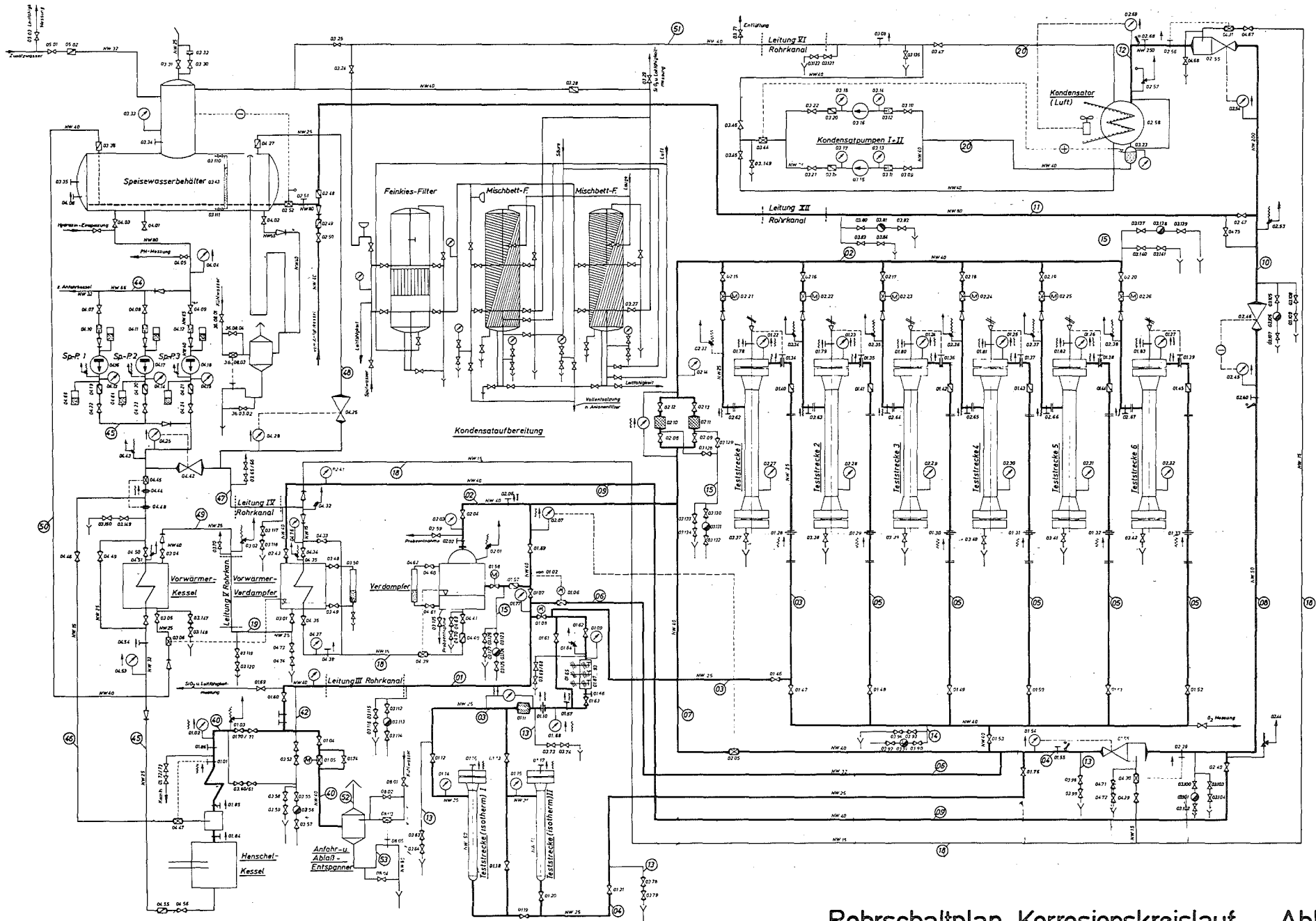
Speisewasser - Aufbereitungsanlage

Abb. 17

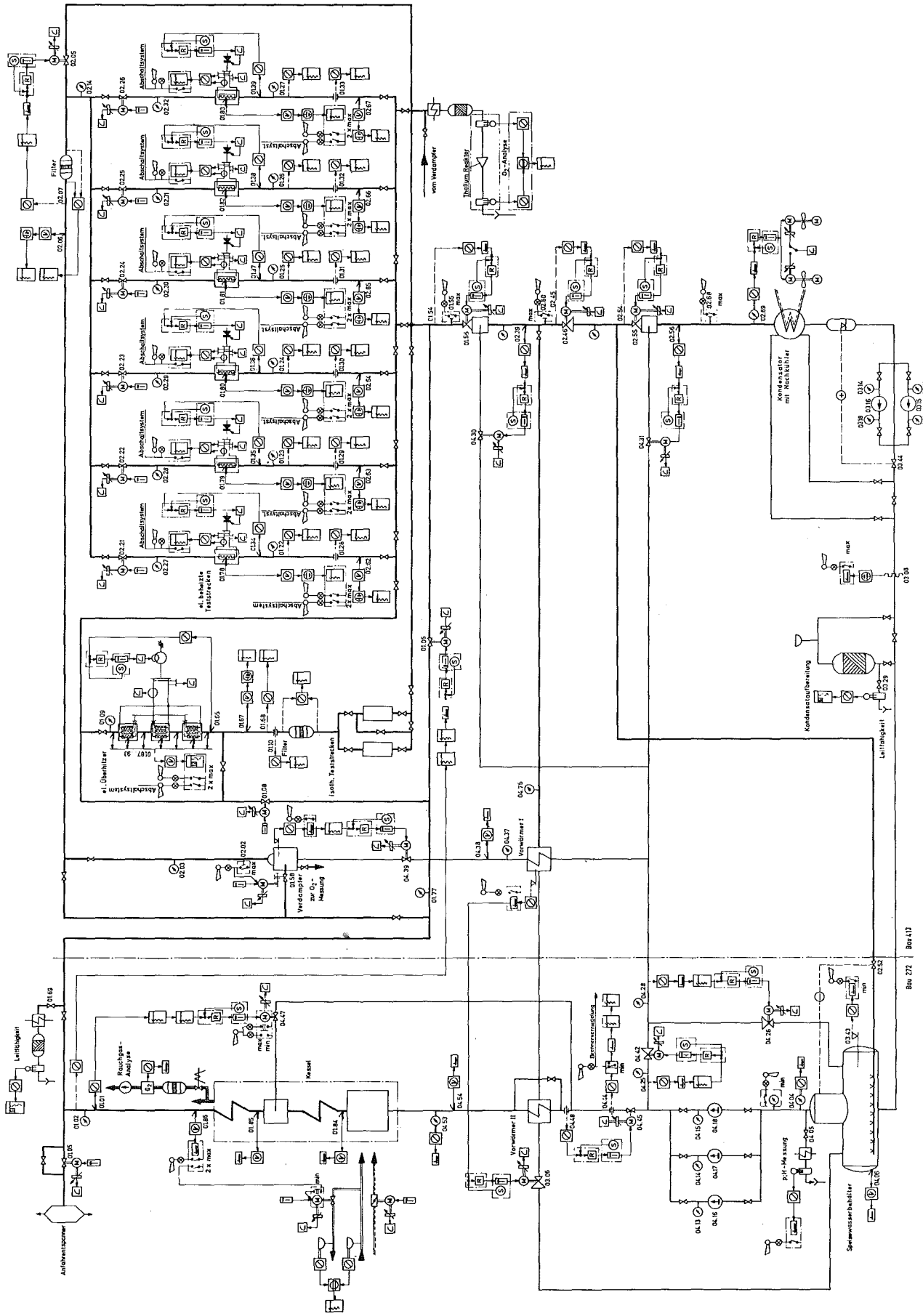


Kondensat - Aufbereitungsanlage

Abb.18

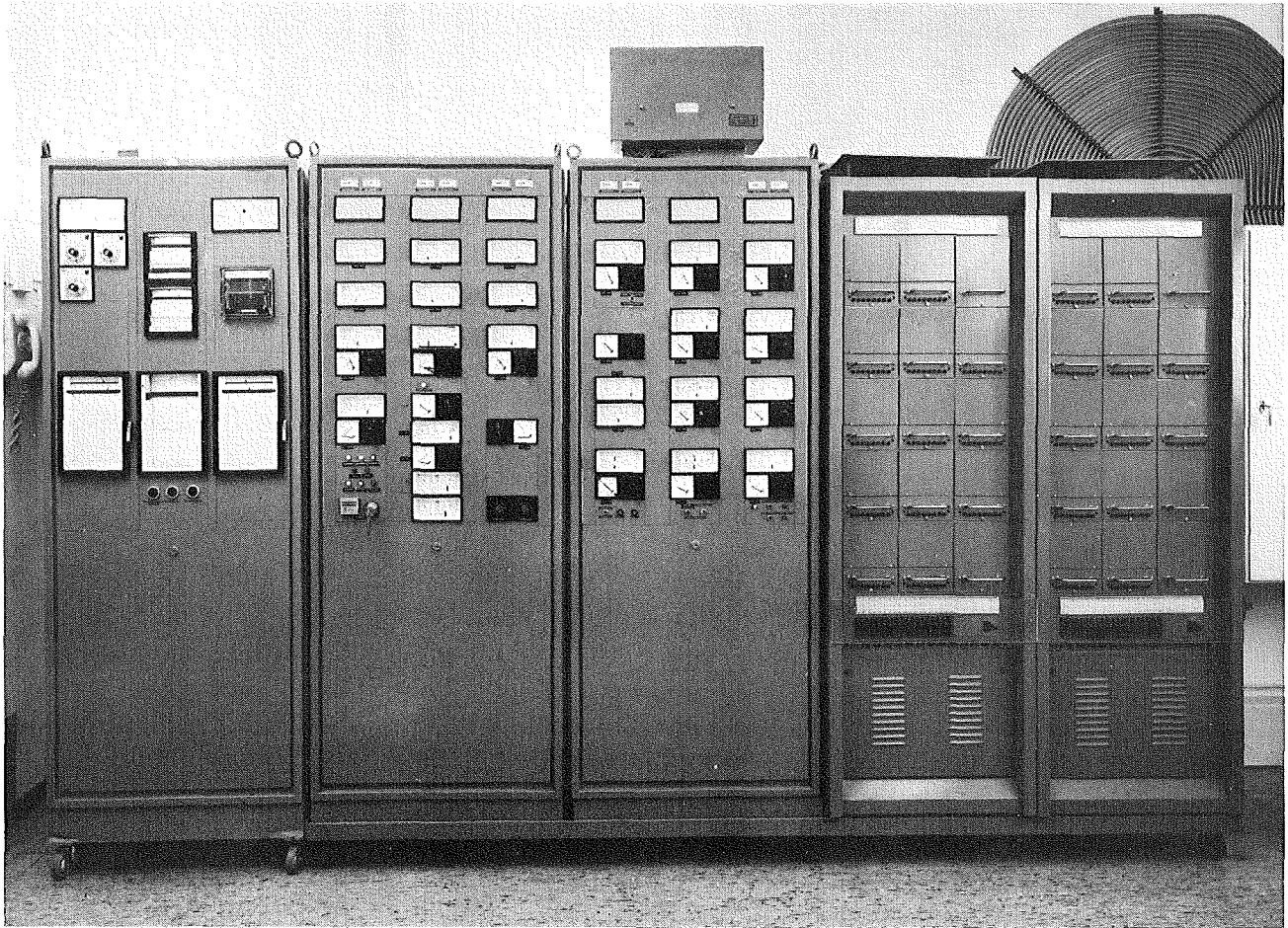


Rohrschaltplan-Korrosionskreislauf Abb.19



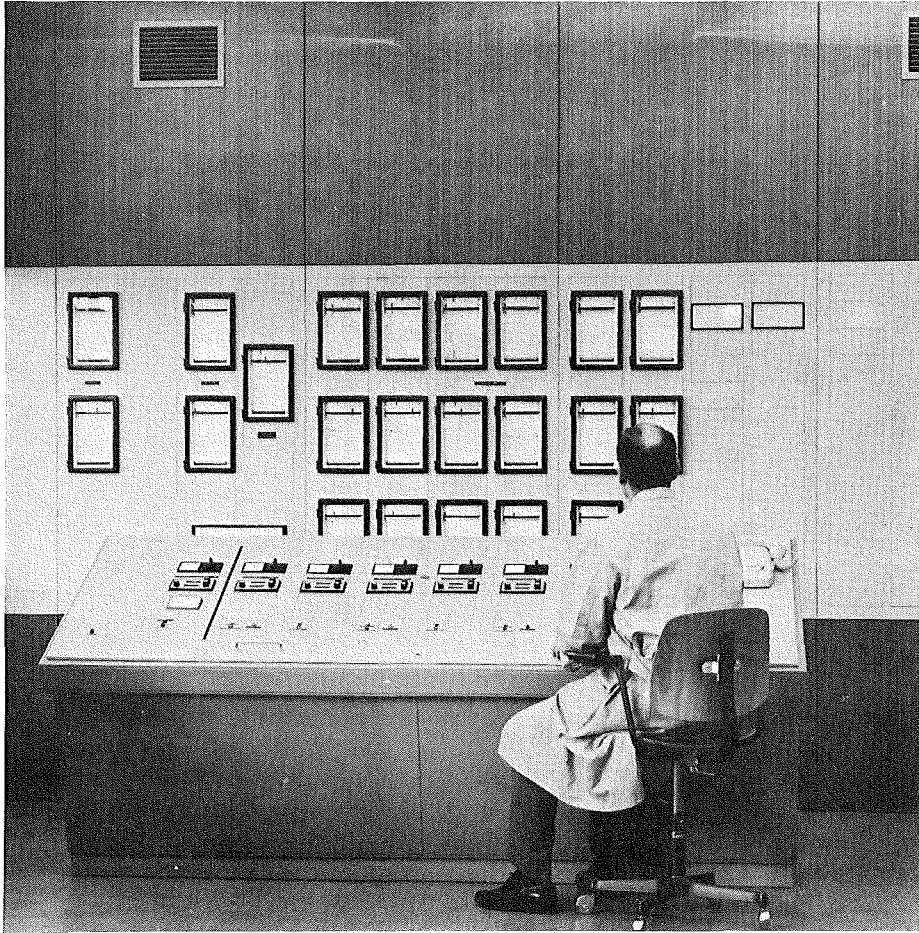
Bau 772 | Bau-113

Meß- u. Regelschema Korrosionsloop Abb. 20



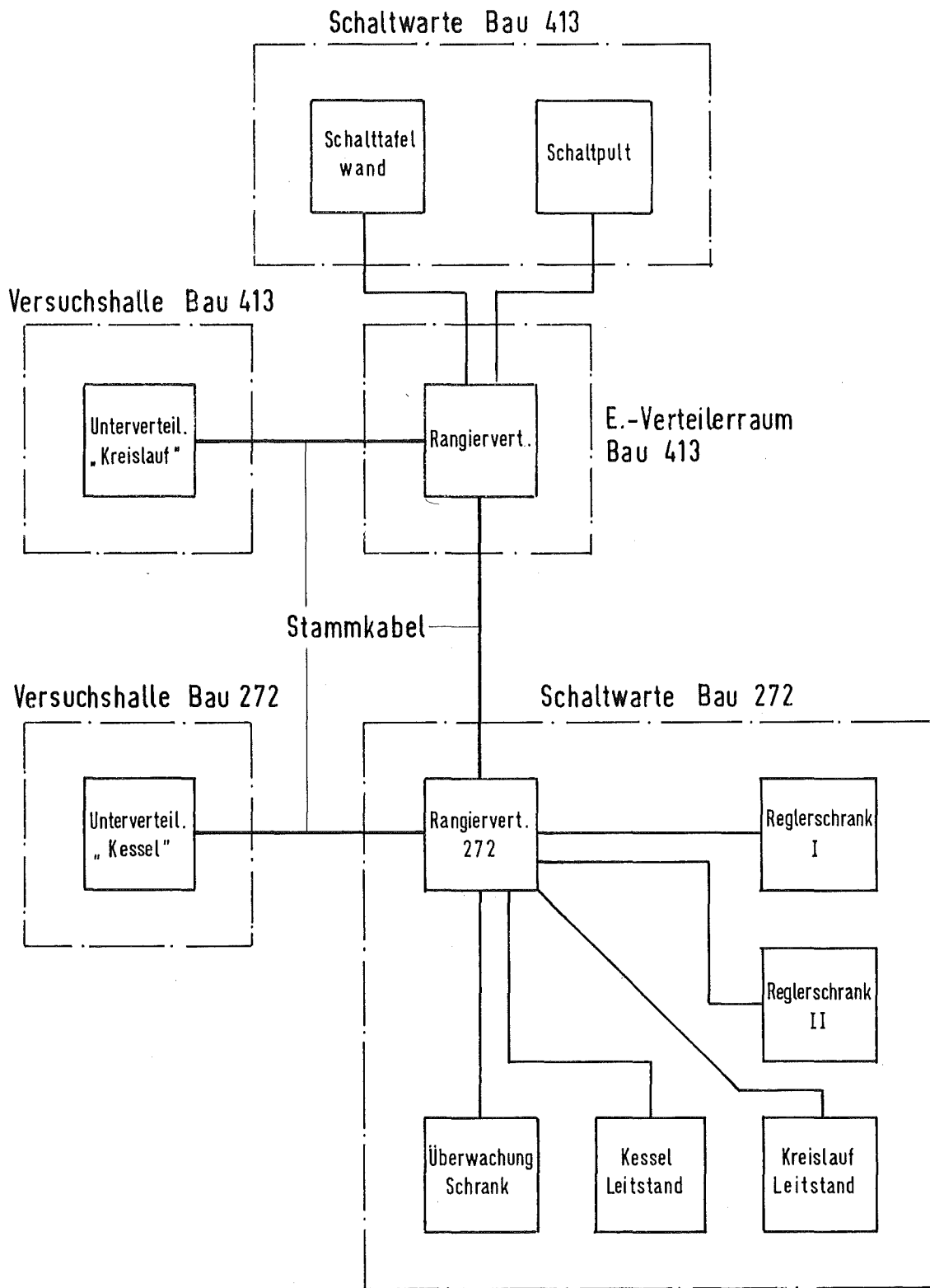
Schaltwarte Bau 272

Abb. 21



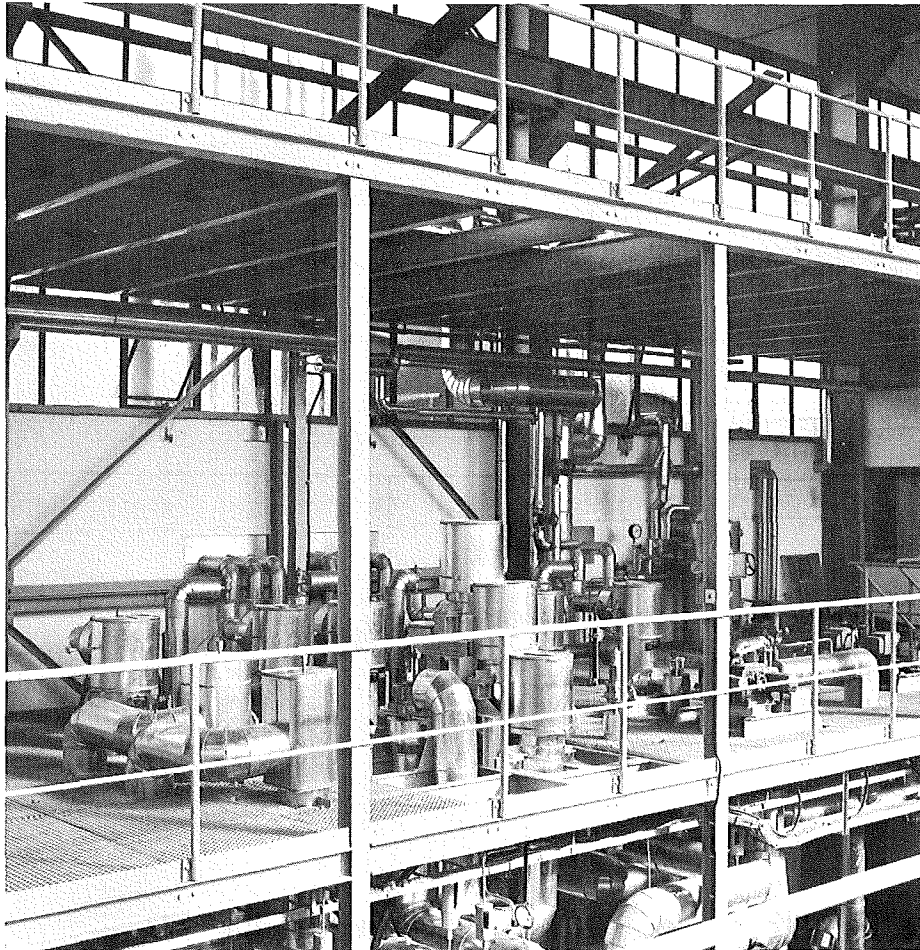
Schaltwarte Bau 413

Abb.22

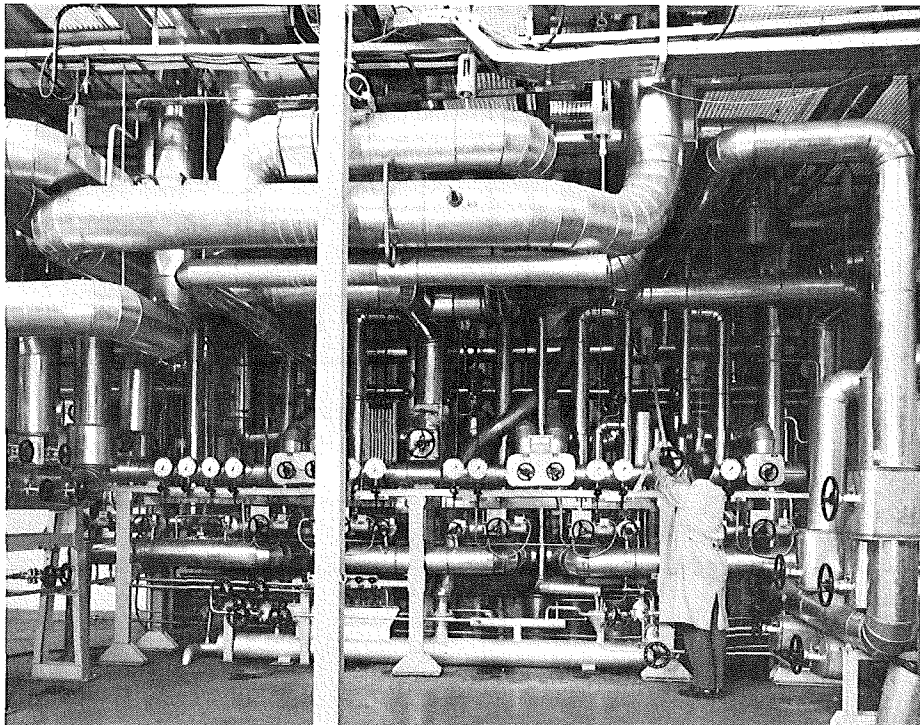


Elektr. Verbindungen des Korrosions - Kreislauf

Abb.23



oben



unten