

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

Dezember 1974

KFK 2093

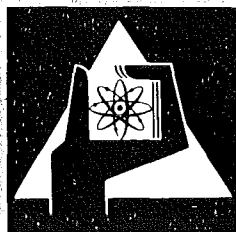
Institut für Material- und Festkörperforschung

**Mehrzweck-Natrium-Versuchskreislauf ML-1  
im Kernenergiezentrum Madrid**

E. Bojarsky  
(Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe)

F. Oltra.Oltra  
(Junta de Energia Nuclear, Madrid)

H.A. Leising  
(INTERATOM GmbH., Bensberg)



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

**KARLSRUHE**

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 2093

Institut für Material- und Festkörperforschung

Mehrzweck-Natrium-Versuchskreislauf ML-1  
im Kernenergiezentrum Madrid

von

E. Bojarsky	Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe
Dr. F. Oltra Oltra	Junta de Energia Nuclear, Madrid
H. A. Leising	Internationale Atomreaktorbau GmbH., Bensberg

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe



MEHRZWECK-NATRIUM-VERSUCHSKREISLAUF ML-1  
IM KERNENERGIEZENTRUM MADRID

Im Sommer 1973 ist im spanischen Kernenergiezentrum Madrid eine Mehrzweck-Natriumversuchsanlage in Betrieb genommen worden, die im Rahmen der deutsch-spanischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie gebaut wurde. Es wird ein Überblick gegeben über den Aufbau dieser modernen Anlage mit ihren vielseitigen Experimentiermöglichkeiten, wobei auch die verschiedenen Sicherheitsvorkehrungen dargestellt werden.

Außer einem Grund- oder Reinigungskreislauf mit 5 m<sup>3</sup>-Natrium-Ablabbehälter, Kaltfalle, Pluggingmeter usw. existieren ein Hauptkreislauf und ein Korrosionskreislauf, die unabhängig voneinander betrieben werden können. Während der Hauptkreislauf der Versorgung mehrerer verschiedenartiger Teststrecken dient, ist der Korrosionskreislauf voll ausgebaut mit Probenbehältern im Natriumstrom ansteigender und abfallender Temperaturen (max. 730 °C), mit eigener Kaltfalle, Heißfalle, elektrochemischer O<sub>2</sub>-Meßsonde, Natrium-Probenahmestation sowie einem Pluggingmeter.

---

Die Autoren sagen an dieser Stelle allen denjenigen herzlichen Dank, die zur erfolgreichen Verwirklichung dieses Projektes beigetragen haben. Es handelt sich um eine Vielzahl von unmittelbar Beteiligten, sowie von Mitwirkenden an der Peripherie, deren Anteil am Erfolg ebenfalls hoch einzuschätzen ist.

MULTI-PURPOSE SODIUM TEST LOOP ML-1  
AT THE MADRID NUCLEAR ENERGY CENTER

In summer 1973 a multi-purpose sodium test facility was commissioned on the site of the Spanish Nuclear Energy Center of Madrid, which had been built within the framework of German-Spanish cooperation in the field of peaceful use of nuclear energy. A survey is presented of the layout of this up-to-date facility with its multiple means of experimentation and the various safety precautions are also described.

In addition to a basic or purification loop with a 5 m<sup>3</sup> sodium dumping tank, a cold trap, a pluggingmeter, etc., a main loop and a corrosion loop have been provided which can be run separately from each other. While the main loop serves to supply several different test sections, the corrosion loop has been designed as a complete component containing specimen recipients in the sodium flow with rising and reducing temperatures (max. 730°C), a cold trap of its own, a hot trap, an electrochemical O<sub>2</sub>-measurement probe, a sodium sampling station, and a pluggingmeter.

## Inhaltsübersicht:

1. Einleitung
2. Aufgabenstellung
3. Allgemeine Anordnung
4. Beschreibung der Natriumanlage
5. Sicherheitsvorkehrungen
6. Experimentiermöglichkeiten

## Abbildungen:

1. Vereinfachte Darstellung der Natriumanlage M1-1  
im Gebäude
2. Blick auf den Anlagenbereich während der Montage
3. Vereinfachtes Fließschema des Natrium-Kreislauf-  
systems
4. Fließschema des Ventilationssystems

## 1. Einleitung

Eine deutsch-spanische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie besteht seit dem Jahre 1969. Sie erstreckt sich sowohl auf wissenschaftliche Forschung als auch auf technologische Entwicklung. Grundlage dafür ist ein im April 1970 unterzeichnetes deutsch-spanisches Regierungsabkommen. Ein bedeutendes Projekt in dieser Zusammenarbeit war die Errichtung eines großen, modernen Mehrzweck-Natrium-Versuchskreislaufs in Madrid, der die Kurzbezeichnung ML-1 ( Metal liquido-1 ) erhielt.

Von der deutschen Bundesregierung ist die Gesellschaft für Kernforschung mbH ( GfK ), Karlsruhe, mit der Koordinierung aller technischen und vertraglichen Fragen betraut worden. Der spanische Partner ist die Nationale Atomenergiebehörde, Junta de Energia Nuclear ( JEN ), Madrid. Das deutsche Industriekonsortium AEG-Telefunken/Interatom hat im Auftrag der GfK die Natriumanlage erstellt, deren Aufstellungsort in der Division de Ingenieria der JEN liegt, also im Kernenergiezentrum " Juan Vigon " Madrid. Die JEN hat ihrerseits für die erforderlichen Gebäude und Hilfseinrichtungen gesorgt. Von der Planung der Anlage bis zur Inbetriebnahme bestand zwischen den genannten drei Institutionen eine enge Kooperation, die sich im Streben nach dem gemeinsamen Projektziel gut bewährt hat. Im Juli 1973 konnte dann planmäßig nach erfolgreichem Abschluß der Funktions- und Abnahmeprüfungen die fertige Natrium-Versuchsanlage von deutscher Seite an die Junta de Energia Nuclear übergeben werden.

## 2. Aufgabenstellung

Zu den Hauptzielen dieses Projektes gehörten die Einführung der Natriumtechnologie im Kernenergiezentrum Madrid im Technikummaßstab sowie die Schaffung von experimentellen Möglich-



keiten zur technisch-wissenschaftlichen Bearbeitung von natriumspezifischen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben für Schnelle Brutreaktoren.

Aus diesen Hauptzielen ergaben sich einige Gesichtspunkte und Aufgaben, denen die Natriumanlage gerecht werden mußte:

Es sollte keine kompakte und gar gekapselte, vollautomatisch arbeitende Anlage gebaut werden. Vielmehr sollte sie groß und übersichtlich sein mit guter Zugänglichkeit zu den einzelnen Komponenten. Automatische Steuer- und Regelfunktionen sollten nur dort vorgesehen werden, wo es der Experimentierbetrieb und die Sicherheit unbedingt erfordern, damit u. a. dem Betriebspersonal die Eigenschaften der Komponenten und Systeme sowie deren Zusammenwirken besser bewußt werden. Bezüglich der experimentellen Nutzung der Anlage wurde entschieden, auf der einen Seite sofort die Möglichkeit von Korrosions- und Massetransportversuchen nach modernen Gesichtspunkten zu verwirklichen und daneben für spätere technologische Untersuchungen an Materialien und Komponenten Anschlußmöglichkeiten zu schaffen mit großzügiger Dimensionierung und Natriumversorgung. Daraus folgend wurde eine Dreiteilung der Anlage definiert: Der Grund- oder Reinigungskreislauf mit Abfallbehälter, der Hauptkreislauf und der Korrosionskreislauf.

Das erstgenannte System bekam die Aufgabe, das Natrium der gesamten Anlage mit der Kaltfallentechnik reinigen zu können sowie das Füllen aller Teile mit Natrium und ihr Entleeren zu ermöglichen. Als eine charakterisierende Größe wurde das Volumen des Abfallbehälters mit 5.000 l festgelegt.

Der Hauptkreislauf sollte so gestaltet werden, daß mit möglichst großem vertikalen Abstand paarweise Anschlußstutzen verfügbar sind, und zwar 2 Paar NW 80, 2 Paar NW 50 und 3 Paar NW 25. Von der Natriumversorgung der Anschlüsse wurden gefordert:

Betriebstemperatur bis zu  $600^{\circ}\text{C}$ , Durchsatz max.  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  und Druckerhöhung in der Pumpe max. 5 at.

Für den Korrosionskreislauf galt folgende Zielsetzung: Schaffung einer selbständig arbeitsfähigen Versuchseinrichtung mit Kaltfalle, Heißfalle, Pluggingmeter, elektrochemischer  $\text{O}_2$ -Meßsonde und Natrium-Probeentnahmestation für Kontrollanalysen. Im eigentlichen Korrosionsloop sollten vier Probenbehälter hintereinander so angeordnet werden, daß zwei von ihnen im Anstieg der Natriumtemperatur ( upstream ) und zwei im Temperaturabfall ( downstream ) liegen. Im höchsten Probenbehälter wurde eine max. Natriumtemperatur von  $730^{\circ}\text{C}$  gefordert. Die größte Temperaturdifferenz zwischen dem obersten und untersten Probenbehälter sollte  $240^{\circ}\text{C}$  und die Strömungsgeschwindigkeit an den Proben bis zu  $10 \text{ m/s}$  betragen. Außerdem sollte es möglich sein, die oberen drei Probenbehälter auch isotherm betreiben zu können.

### 3. Allgemeine Anordnung

Die Komponenten der Kreislaufanlage ML-1 sind in zwei benachbarten Gebäuden untergebracht: in einem Haupt- und einem Nebengebäude. Während das Hauptgebäude mehreren Aufgaben und Arbeiten dient und neben anderen den Natriumkreislauf beherbergt, ist das Nebengebäude ausschließlich für das Projekt ML-1 gebaut worden.

Die Grundfläche, die der Kreislauf ML-1 im Hauptgebäude belegt, ist ein Rechteck mit etwa  $10 \times 15 \text{ m}$ , was eine nutzbare Arbeitsfläche von etwa  $120 \text{ m}^2$  ergibt.  $15 \text{ m}^2$  werden für eine externe Treppe benötigt und weitere  $15 \text{ m}^2$  sind in Form eines Montage-Einschnitts freigelassen zum Ein- und Ausbau von schweren, sperrigen Teilen mit Hilfe des  $15 \text{ to}$ -Hauptgebäudekranes. Die gesamte Arbeitsfläche beträgt etwa  $480 \text{ m}^2$ , da vier Arbeitsplattformen vorhanden sind mit den Höhen  $1,0 \text{ m}$ ,  $3,9 \text{ m}$ ,  $7,0 \text{ m}$

und 9,6 m über dem Hallenboden. Abb. 1 zeigt eine räumliche Darstellung der Arbeitsplattformen und die Anordnung der wesentlichen Anlagenteile.

Das neu errichtete Nebengebäude mit einer Grundfläche von etwa 240 m<sup>2</sup> enthält: den Natriumablaßbehälter mit seinen Hilfseinrichtungen, den Schaltanlagenraum, den Kontrollraum und die Gasversorgungsstation. Auf dem Dach des Gebäudes sind außerdem die Hilfsanlagen für die Belüftung der Arbeitsbühnen sowie für die Klimatisierung des Kontrollraumes installiert worden.

Spezielle Erwähnung verdient die Unterbringung des Ablaßbehälters in einer großen Grube mit etwa 12 x 2,7 m<sup>2</sup> Grundfläche und einer Tiefe von ca. 4 m unter dem Erdbodenniveau. Die besondere steinige Beschaffenheit des Geländes verursachte einige Probleme und führte zu einer aufwendigen Konstruktion. Mit dieser Anordnung stellt der Ablaßbehälter den tiefsten Punkt im Kreislauf dar, wodurch in jedem Falle das Entleeren des Natriumsystems durch Schwerkraft gewährleistet ist.

Die Arbeitsplattformen wie auch die Grube für den Ablaßbehälter sind von den übrigen Gebäudeteilen durch gemauerte Wände und Metalltüren isoliert, wodurch für den gesamten Arbeitsbereich eine annähernd dichte Umhüllung gebildet wird, in der aus Sicherheitsgründen ein gewisser Unterdruck herrscht. Die Außenansicht des Anlagen-Bereichs vom Hauptgebäude aus zeigt Bild 2, das während der Montage aufgenommen wurde.

#### 4. Beschreibung der Natriumanlage

Der Mehrzweck-Natrium-Versuchskreislauf ML-1 besteht aus einem Hauptkreislauf, einem Korrosions- und einem Reinigungskreislauf. Alle drei besitzen ein gemeinsames Schutzgasversorgungssystem, elektromagnetische Pumpe und Schutzgas-Druckregelsystem, so daß jeder getrennt betrieben werden kann ( s. Abb. 3 ).

Alle Rohrleitungen und Behälter sind aus rostfreiem Stahl mit der deutschen Bezeichnung X 6 Cr Ni 1811 ( Werkstoff-Nr. 1.4948 ) entsprechend der amerikanischen Bezeichnung AISI 304 hergestellt. Das Schutzgas ist Argon. Die vier Kubikmeter Natrium von Reaktorqualität, die zum Füllen der gesamten Systeme erforderlich waren, wurden per Lastwagen in einem Behälter angeliefert. Nach dem Abladen des Behälters wurde das Natrium mittels Propangasbrennern aufgeschmolzen, die am Boden des Behälters standen. Das flüssige Natrium wurde dann mittels Gasdruck gefördert.

Der Hauptkreislauf wurde aus Rohr NW 80 gebaut und besitzt sieben Paar Anschlußstutzen für den Einbau verschiedener Versuchseinrichtungen. Die wesentlichen Bauteile dieses Kreislaufs sind eine elektromagnetische Pumpe, ein Heizer, ein Kühler, ein  $0,4 \text{ m}^3$  - Ausdehnungsgefäß, einen kleinen Entgasungsbehälter und zwei Drosselventile. Der Hauptkreislauf ist ausgelegt, um bis zu  $650^\circ\text{C}$  und 10 atm betrieben werden zu können.

Die Pumpe ist eine lineare Drehstrom-Induktionspumpe mit einem kreisförmigen Förderspalt. Die Induktionswicklungen sind sternförmig auf dem Umfang des Pumpenrohres angeordnet. Zur Pumpe gehört weiter ein Gebläse zur Kühlung der Wicklungen, ein Induktionsregler zur kontinuierlichen, stufenlosen Durchflußregelung und ein Kondensator zur Verbesserung des Leistungsfaktors. Bei einem Durchsatz von  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  und einer angelegten Spannung von 700 V bringt die Pumpe eine Förderhöhe von 6 atm bei  $600^\circ\text{C}$  Kühlmitteltemperatur.

Beim gleichen Durchsatz kann der elektrische Heizer, der eine nominelle Leistung von 100 kW hat, die Kühlmitteltemperatur um  $7^\circ\text{C}$  erhöhen. Der Heizer besitzt 30 Heizstäbe, die senkrecht in einen zylindrischen Behälter eingeschweißt sind. Jeder dieser Heizstäbe hat eine Leistung von 3.670 W, was einer spezifischen Heizflächenbelastung von  $9,5 \text{ W}/\text{cm}^2$  entspricht. Ausgerüstet sind sie mit langen Kaltenden, die über die Isolierung ragen.

Dadurch wird sichergestellt, daß im Falle eines Lecks Natrium einfriert, bevor es nach draußen dringen kann. Ein Strömungsgitter im Behälter umgibt jeden Heizstab und sorgt so für eine gleichmäßige Durchflußverteilung.

Der Kühler besteht aus 13 haarnadelförmigen glatten Rohren, die in zwei Sammler einmünden und von einem Blechmantel umgeben sind. Ein Ventilator ist unter dem Kühler angeordnet, der in der Lage ist, eine Kühlleistung von 86.000 kcal/h abzuführen durch Ansaugen von Luft, die in einen Abluftkamin geblasen wird.

Der Korrosionskreislauf besteht im wesentlichen aus einer elektromagnetischen Pumpe, zwei Rekuperativ-Wärmetauscher, vier Probenbehältern, einem elektrischen Heizer, einem Kühler und einem 0,2 m<sup>3</sup> Ausdehnungsgefäß. Die Hauptschleife besteht aus Rohr mit NW 50. Der ganze Kreislauf kann bis 650°C betrieben werden und die heiße Schleife hinter dem Heizer sogar bis maximal 750°C.

Die Anordnung der Probenbehälter sowohl im temperaturmäßig ansteigenden als auch im abfallenden Teil des Korrosionskreislaufs ermöglicht es, die " up stream " und die " down stream " Effekte bei Korrosionsvorgängen zu untersuchen. Heizer und Kühler sind die gleichen wie im Hauptkreislauf. Die Rekuperativ-Wärmetauscher sind für eine Auf- oder Abwärmspanne von etwa 120°C ausgelegt.

Die Pumpe ist ebenfalls eine lineare elektromagnetische Induktionspumpe mit rechteckigem Pumpenrohr. Sie wird ebenfalls mit 50 Hz Drehstrom betrieben aber über einen Spannungsbereich von 0 bis 380 V. Ein fest eingebautes Natriumprobenentnahmefäß enthält fünf Nickeltiegel und gestattet unter Luftabschluß Kühlmittelproben zu entnehmen und diese in einen Laboratoriums-Handschuhkasten zu transportieren.

Der Korrosionskreislauf besitzt eine besondere Reinigungsanlage, bestehend aus einer Kaltfalle mit Rekuperativ-Wärmetauscher, einer Heißfalle, einem Pluggingmeter und einer " in line " Meßstelle mit elektrochemischer Sauerstoffsonde. Die Kaltfalle ist nicht nur in der Lage, Verunreinigungen zu entfernen, sondern mit ihr läßt sich auch für Versuchszwecke ein bestimmter Verunreinigungsgrad aufrechterhalten. Dies wird erreicht durch eine besondere Kühlluftführung, die ein isothermes Fahren des unteren Kaltfallendrittels ermöglicht. Das Natrium durchströmt senkrecht einen mit Pall-Ringen gefüllten Korb, der an der Außenfläche mit Luft gekühlt wird. Es strömt dann durch ein in der Mitte befindliches Steigrohr. Die Heißfalle ist mit etwa 2 kg Zirkon-Spänen gefüllt, die von Sieben auf einem Stützlochblech gehalten werden. Die Heißfallentemperatur kann bis auf  $750^{\circ}\text{C}$  angehoben werden.

Das Reinigen des Natriums im Abblastank und im Hauptkreislauf wird durch einen kleinen Nebenkreislauf ausgeführt, der eine Kaltfalle mit Rekuperativ-Wärmetauscher, eine elektromagnetische Pumpe und ein Pluggingmeter umfaßt.

Der Reinigungskreislauf ist wie die beiden anderen Kreisläufe für Betrieb bei  $650^{\circ}\text{C}$ , 10 atm ausgelegt, für ihn werden aber kleinere Rohre NW 25 benutzt. Der Nenndurchfluß durch die Kaltfalle ist  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ , und die Pumpe ist eine Konduktionspumpe mit flachem rechteckigem Pumpenrohr, die mit 220 V Wechselstrom 50 Hz betrieben wird.

Für Druckmessungen in natriumführenden Rohrleitungen und Behältern werden Drucktransmitter mit NaK-Vorlage und Trennmembran benutzt. Durchflußmessungen werden mit elektromagnetischen Durchflußmessern gemacht. Deren wichtigste Bauteile sind: ein Permanent-Magnet, zwei an ein austenitisches Rohr geschweißte Elektroden und ein Meßverstärker mit Anzeigengerät.

Höhenstandsmessungen im Abblaßtank und in beiden Ausgleichsbehältern werden mittels kontinuierlich anzeigenden Höhenstandssonden gemacht, die nach dem Prinzip der gegenseitigen Induktion arbeiten.

Während des Jahres 1970 wurden alle technischen Grundlagen ausgearbeitet, und am 18. Dezember 1970 konnte die GfK dem Industriekonsortium AEG-INTERATOM \*) einen Auftrag erteilen auf die endgültige Auslegung, die Lieferung, Herstellung, Montage und Inbetriebnahme der gesamten Anlage. Danach folgte die detaillierte Konstruktionsarbeit und die Fertigung aller Bauteile. Infolge der langen Lieferzeit für den austenitischen Stahl begann die Arbeit auf der Baustelle im April 1972 und war in einem Jahr abgeschlossen. Am 3. April 1973, etwa 27 Monate nach Auftragserteilung, waren alle Abnahmeversuche beendet.

##### 5. Sicherheitsvorkehrungen

Da das spanische Nuklearzentrum " Juan Vigon " mitten im Madrider Universitätsgebiet liegt, umgeben von einer ziemlich bevölkerten Gegend, sind spezielle Vorkehrungen getroffen worden, um einen hinreichenden und angemessenen Schutz der Umgebung bei einem etwaigen Natriumbrand zu gewährleisten.

Die erste Maßnahme war eine sehr konservative Auslegung der Natriumanlage, bei der alle möglichen Ursachen für übermäßige Materialbeanspruchungen infolge Wärmedehnungen vermieden wurden. Das ganze Rohrleistungssystem hängt an Federelementen

---

\*) Nach Auftragserteilung wurden später die Natriumaktivitäten der AEG und INTERATOM übergeführt in die Kraftwerksunion ( KWU ).

und kann sich nach allen Seiten frei ausdehnen mit Fixpunkten nur an den Pumpen, Kühlern, Heizern, großen Behältern und ähnlich umfangreichen Komponenten. Dann folgte eine sehr sorgfältige Bauausführung, bei der alle Schweißnähte 100%-ig geröntgt und Helium-Lecktests durchgeführt wurden. Die Röntgenaufnahmen wurden nach sehr scharfen Kriterien beurteilt, wobei auch einzelne Poren nicht zugelassen wurden. Die He-Leckraten der einzelnen Komponenten lagen unter  $10^{-6}$  Torr. l/s, und die Gesamtleckrate der Anlage war etwa  $2 \cdot 10^{-2}$  Torr. l/s, überwiegend bedingt durch Flanschverbindungen und mechanische Dichtungen im Schutzgassystem.

Für den Fall einer Natriumleckage mit Rauchentwicklung gibt es zwei parallele Detektionssysteme: ein direktes Sicht-Überwachungssystem mit einer Fernseheinrichtung für Plattform 1 und 3 sowie Sichtüberwachung durch ein Sicherheitsglasfenster der Plattform 2 vom Kontrollraum aus. Daneben entdeckt ein besonderes System mit 12 Fühlern Natriumoxidrauch an ausgewählten Stellen und löst im Kontrollraum ein Alarmsignal aus. Die Rauchdetektoren arbeiten auf der Basis der Ionisation. Sie werden in regelmäßiger Folge automatisch auf einwandfreie Funktion überprüft.

Eine recht kostspielige und außergewöhnliche Sicherheitseinrichtung stellen die Umschließungswände der Anlage in Verbindung mit einem umfangreichen Ventilationssystem dar, so daß bei einem Natriumleck der größte Teil der Natriumoxidaerosole nicht über die Umgebung verbreitet werden kann. Die zweite Aufgabe der Ventilation ist die Wärmeabfuhr aus den Bereichen der verschieden aufgeheizten Komponenten, um sicherzustellen, daß besonders im Sommer zwischen den Plattformen keine so hohen Temperaturen erreicht werden, die elektrische und elektronische Anlagenteile schädigen könnten. Abb. 4 zeigt das Fließschema des Ventilationssystems, das folgende Abschnitte umfaßt:



- Eine Luftzuführung, durch die Frischluft angesaugt und auf die Arbeitsbühnen verteilt wird.
- Eine Luftabsaugung mit getrennten Leitungen in jeder Bühne, zusammengeführt zu einer Sammelleitung, die die Luft zum Filterraum leitet. Die einzelnen Absaugungen können unabhängig voneinander reguliert werden, so daß der Luftstrom proportional zur verschiedenen Wärmebelastung der Arbeitsbühnen aufgeteilt werden kann. Der Anschluß der Sammelleitung an den Filterraum geschieht durch ein fernbedienbares Regelventil ( in Form einer Jalousie ).
- Eine unabhängige Absaugleitung, die normalerweise geschlossen ist, über der 4. Bühne, die gegen den Rest des Gebäudes offen ist. Diese Leitung ist ebenfalls über ein Motorventil mit dem Filterraum verbunden. Sie hat die Aufgabe, diejenigen Aerosole zu entfernen, die bei einem Natriumbrnad in das Gebäude dringen kann.
- Ein weiteres getrenntes System, das die Spülluft durch die große Grube mit dem Abblatank und durch den Schaltanlagenraum abführt.

Der Filterraum mit  $4,5 \times 5 \text{ m}^2$  Grundfläche und  $3,2 \text{ m}$  Höhe ist durch eine Wand quergeteilt, in der 18 Filtereinheiten mit einer Gesamtoberfläche von  $6,5 \text{ m}^2$  eingebaut sind. Auf der einen Seite strömt die Luft aus den Absaugekanälen im Winkel von  $90^\circ$  zur Trennwand zu, auf der anderen Seite saugen Ventilatoren die saubere Luft an und fördern sie durch einen Abluftkamin ins Freie.

Es sind zwei Ventilatoren parallel aufgestellt mit je  $23.000 \text{ m}^3/\text{h}$  Durchsatz. Bei gleichzeitigem Betrieb beträgt der Gesamtdurchsatz  $33.000 \text{ m}^3/\text{h}$ , wodurch ein 30-facher Luftwechsel je Stunde auf den normalen Arbeitsbühnen möglich ist. Bei dieser Spülleistung sind innerhalb der Kreislaufzone Maximaltemperaturen von etwa  $40^\circ\text{C}$  gemessen worden, obwohl die vom Kreislauf an die Umgebungsluft übertragene Wärmeleistung etwa  $175 \text{ kW}$  betrug.

Neben dieser Luftkühlung existiert eine gesonderte Luftkühlung für verschiedene Komponenten, wie elektromagnetische Pumpen, Natriumkühler usw. Dafür werden Einzelgebläse verwendet, welche die Kühlluft über einen gemeinsamen Kamin ohne Filterung ins Freie fördern. Einer der 12 Natriumoxid-Rauchgasfühler ist in diesem Kamin angeordnet.

Die zunächst eingebauten Filter haben theoretisch einen Abscheidegrad von 96% für 5 µm-Partikel entsprechend der AFI-Norm. Ihre Wirksamkeit wurde im Betrieb überprüft durch Rauchtests auf den Arbeitsbühnen und auch durch Abbrennen von Natrium an verschiedenen Stellen. Wenn die Filter auch große Rauchmengen zurückhielten, so ging doch ein beträchtlicher Anteil hindurch. Deshalb läuft zur Zeit ein Programm zur Wirkungsgradverbesserung dieses Systems, wodurch die ML-1 Anlage in dieser Hinsicht ziemlich einzigartig zu werden verspricht.

Elektrisch wird die ganze Anlage über eigenen 600 kVA-Transformator versorgt. Trotzdem existiert ein Notversorgungssystem, das mit unabhängigen Energiequellen arbeitet. Die Hauptkomponenten sind:

- Eine 24 V-Batterie, die die Steuerorgane der Hauptablaßventile sowie die Relais für die Alarmhupe, die Heizer, die wichtigsten automatischen Ventile und den Hauptschalter speist. Die Kapazität dieser Batterie reicht für 4 Stunden, so daß nach Stromausfall über den Haupttransformator genügend Zeit für die erforderlichen Maßnahmen vorhanden ist.
- Eine 48 V-Batterie ausschließlich für die Rauchgasüberwachungsanlage mit einer Kapazität für etwa 100 Betriebsstunden.
- Eine Notbeleuchtung mit 17 Lampen, die bei Stromausfall automatisch zu glühen beginnen, und deren eigene Energiequelle für etwa 1 Stunde ausreicht.
- Die Normalbeleuchtung und die Ventilationsgebläse werden von zwei unabhängigen Transformatoren gespeist, so daß beide

Einrichtungen auch unter ungünstigen Umständen noch eine hohe Betriebswahrscheinlichkeit haben.

Ein anderer wichtiger Punkt, der im Rahmen der Sicherheitsvorkehrungen in Betracht gezogen wurde, war die erforderliche Abblaßzeit des Natriums aus dem ganzen Kreislauf in den Auffangtank. Diese Zeit wurde unter normalen Betriebsbedingungen zu 6,5 Minuten gemessen. Sie würde jedoch nur bei einem Leck am tiefsten Punkt des Kreislaufs als Ausströmzeit für Natrium in Betracht kommen. Unter Annahme dieser und anderer ungünstiger Bedingungen wurde eine Unfallanalyse erarbeitet, um die möglichen Auswirkungen verschiedener Natriumbrände abschätzen zu können. Die Ergebnisse zeigen, daß in jedem Falle solche Brände für das Bedienungspersonal und für Personen in unmittelbarer Umgebung eine ernste Gefahr darstellen.

Die Anlage ist mit folgenden Geräten zur Feuerbekämpfung ausgerüstet:

- Tragbare Feuerlöscher sowohl mit Speziallöschpulver als auch mit trockenem Sand, die auf allen Arbeitsbühnen stationiert sind.
- Ein Wagen mit 200 kg Löschpulver, verbunden mit einem 40 m langen Schlauch. Er steht im südlichen Gebäudeteil und ermöglicht jederzeit, große Mengen Löschpulver bis in entfernte Bereiche der Anlage zu transportieren.
- 2 lederne Feuerschutzanzüge mit autonomen Atemgeräten sowie ein normaler Vorrat an Gasmasken, Lederhandschuhen, Asbestdecken usw.

Der Zugang zu bzw. die Flucht vor Natriumbränden ist auf jeder Arbeitsbühne durch zwei Türen möglich. Eine davon führt zur Haupttreppe, und die andere ist möglichst gegenüberliegend angeordnet. Dadurch haben Bedienungsmannschaft und Feuerwehr eine

große Bewegungsfreiheit. Es läuft ein regelmäßiges Übungsprogramm, um das Personal mit der richtigen Handhabung der Geräte vertraut zu machen.

Schließlich sind an der Haupttreppe unmittelbar neben den Türen zu den Arbeitsbühnen Erste-Hilfe-Versorgungsschränke angebracht.

## 6. Experimentiermöglichkeiten

Die ML-1 Anlage, die nach dem neuesten Stand der Wissenschaft und Technik ausgelegt und errichtet wurde, enthält eine Reihe von Charakteristiken und Besonderheiten, die sie zu einer vielseitigen Testeinrichtung machen. Die hervorstechendsten Merkmale sind:

- Die Möglichkeit, im Korrosionskreislauf Natriumtemperaturen bis  $730^{\circ}\text{C}$  sicher fahren zu können. Damit sind Hüllrohrmaterialien für Schnellbrüter-Brennstäbe bei betriebsgerechten Strömungsgeschwindigkeiten zu untersuchen.
- Das Einstellen und Konstanthalten von spezifizierten Arbeitsparametern im Korrosionskreislauf unabhängig von den Bedingungen in den übrigen Anlageabschnitten.
- Eine Heißfalle, mit der nötigenfalls der Sauerstoffgehalt des Natriums unter 1 ppm abgesenkt werden kann.
- Eine elektrochemische Mesondeneinrichtung zur kontinuierlichen Anzeige des Sauerstoffgehaltes im Natrium.
- Eine Probenahmeeinrichtung, mit der jeweils 5 Natriumproben sowohl vom heißen als auch vom kalten Teil des Korrosionskreislaufs entnommen werden könnten. Damit ist die Möglichkeit gegeben, u. a. mit Hilfe einer absoluten analytischen Methode die indirekten Meßmethoden über Pluggingmeter und elektrochemische Sonde zu eichen.

Alle diese Möglichkeiten außer der Heißfalle wurden und werden laufend benutzt zur Durchführung eines Korrosionsprogramms, das

die JEN zusammen mit der GfK aufgenommen hat. Der erste Teil dieses Programms besteht aus einem 3.000 Stunden-Test, wovon etwa 2.500 Stunden z. Zt. durchgeführt sind. Die Probenahmeeinrichtung in Verbindung mit einer nahe der ML-1 Anlage aufgestellten Handschuhbox sowie ein Analytikprogramm, das parallel zum Korrosionsprogramm läuft, liefern ermutigende Ergebnisse, die die Pluggingmeter-Anzeigen bestätigen und zum Studium des Verhaltens der elektrochemischen Sonde dienen.

Diese elektrochemische Sonde stellt die Basis eines gemeinsamen Untersuchungsprogramms der JEN und der GfK dar. Es soll versucht werden, diesen Instrumententyp weiter zu entwickeln, der zwar schon kommerziell verfügbar ist, aber trotzdem ein Entwicklungsobjekt bleibt, wichtig z. B. für den Einsatz in künftigen Schnellen Reaktoren.

Im Hauptkreislauf werden verschiedene Experimente durchgeführt oder befinden sich in der Planung. Jedes Experiment ist an einem der 7 Rohrstützenpaare angeschlossen, deren Abmessungen von NW 80 ( 2 Paare ) über NW 50 ( 2 Paare ) bis NW 25 ( 3 Paare ) reichen. Es ist also eine gute Auswahlmöglichkeit bezüglich des Natriumdurchsatzes und auch der Strömungsrichtung gegeben. Insgesamt stehen etwa 90 m<sup>2</sup> Grundfläche hauptsächlich auf Bühne 2 und 3 zum Aufstellen der Versuchseinrichtungen zur Verfügung.

Das erste Experiment ist an NW 80-Rohrstützen angeschlossen mit aufwärts gerichteter Natriumströmung. Es besteht aus zwei parallelen Teststrecken. Jede kann durch ein Ventilpaar abgeschlossen werden, so daß ein Alternativbetrieb möglich ist. Die Teststrecken werden im wesentlichen aus NW 25-Rohren gebildet mit speziell ausgelegten Serien von elektrischen Heizern, die in der Rohrwand eingebettet sind. Damit kann entweder eine allgemeine Aufheizung des Natriumstromes oder eine beliebige Serie von Heißimpulsen vorgenommen werden. Thermoelemente, die ent-

lang der Testrohre installiert sind und senkrecht zur Rohrachse verschoben werden können, nehmen das Temperaturprofil im Natrium auf und liefern zugleich Informationen über die Bewegung von Energiewirbeln, die von den geheizten Wänden ausgehen. Durch Verarbeitung dieser Meßdaten mit einer Kreuzkorrelationsmethode kann die Strömungsgeschwindigkeit ohne größere Störung des Durchflusses bestimmt werden. Diese Methode könnte für die Messung lokaler Natriumströme im Core von Schnellen Reaktoren erhebliche Bedeutung erlangen. Die Arbeiten werden von der JEN und der Technischen Universität Hannover gemeinsam durchgeführt.

Ein anderes Experiment, das sich z. Zt. im fortgeschrittenen Baustadium befindet, ist auf die Entwicklung von Natriumventilen gerichtet. Obwohl viele Ventiltypen kommerziell angeboten werden, zeigt die Erfahrung, daß bei ihnen mit einer hohen Rate von Fehlfunktionen zu rechnen ist, besonders wenn viele thermische und/oder mechanische Belastungszyklen auftreten. Deshalb wird ein Versuchsstand zwischen NW 50-Anschlußstutzen aufgebaut, in dem 4 Ventile bis zu NW 80 gleichzeitig getestet werden können. Es sind hauptsächlich Dauertests unter mechanischen und thermischen Belastungszyklen vorgesehen mit der Möglichkeit zur Messung der Leckraten im Ventilsitz und nach außen in bestimmten Intervallen des Versuchsprogramms. Diese Arbeit wurde von der JEN und einem spanischen Ventilhersteller gemeinsam aufgenommen.

Neben diesen beiden gleichzeitig laufenden Experimenten besitzt der Hauptkreislauf noch Kapazität für weitere Versuche. Überlegungen werden angestellt zur experimentellen Weiterentwicklung einiger Instrumente, die sich als wenig zuverlässig erwiesen haben, wie z. B. Natriumniveau-Meßgeräte. Es sind auch besondere mechanische Materialuntersuchungen ins Auge gefaßt, wie Low Cycle Fatigue-Experimente unter strömendem Natrium, die für die Auslegung und Sicherheit von Reaktorkomponenten große Bedeutung haben.

Was hier dargestellt wurde, ist nur ein Überblick über die Vielseitigkeit und Leistungsfähigkeit der ML-1 Anlage als Versuchseinrichtung in der Natriumtechnologie, womit seine Schlüsselstellung in dem Entwicklungsprogramm aufgezeigt werden sollte, das Spanien auf dem Gebiet der Schnellbrüter-Technologie aufgenommen hat.

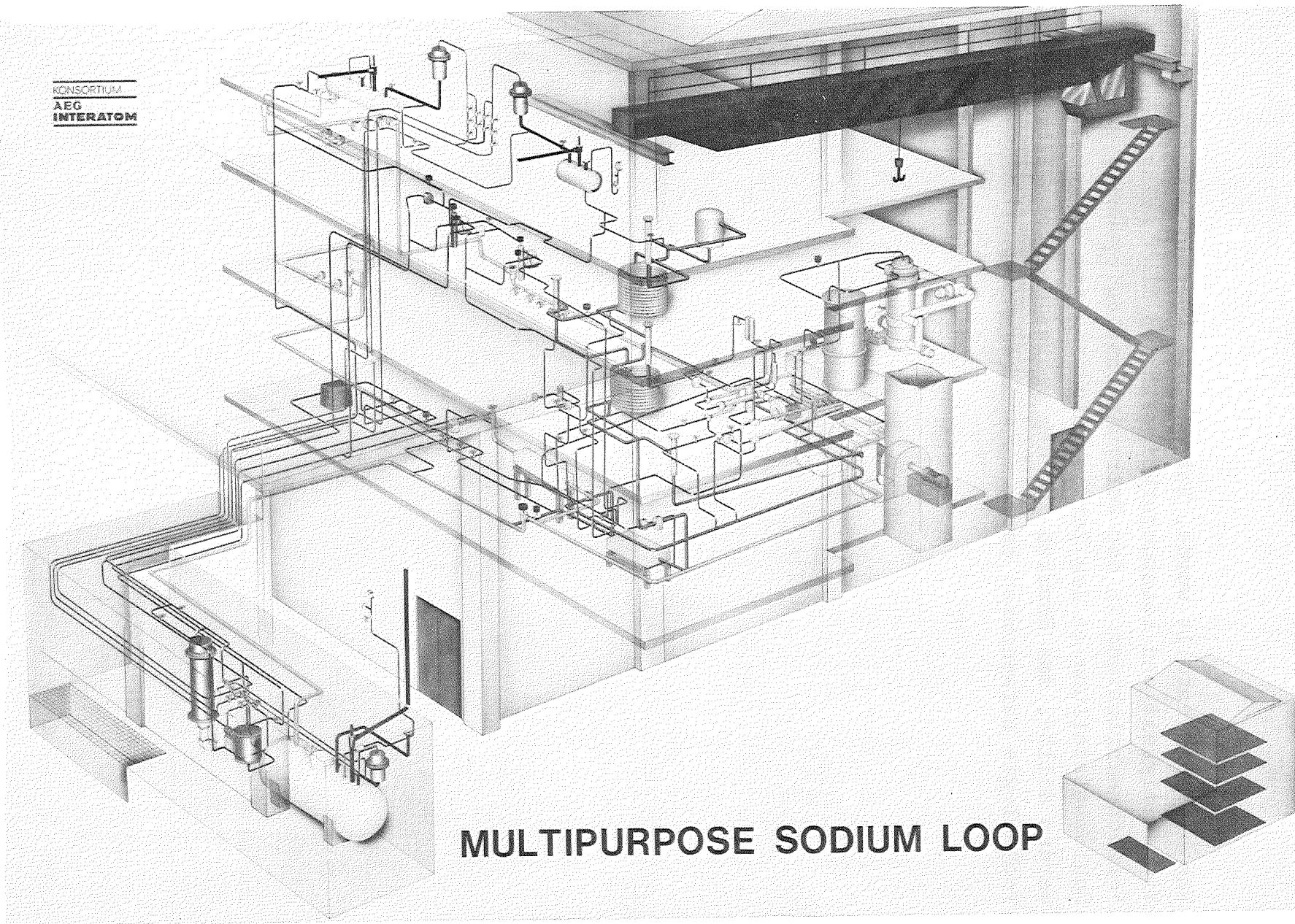


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung der Natriumanlage ML-1 im Gebäude



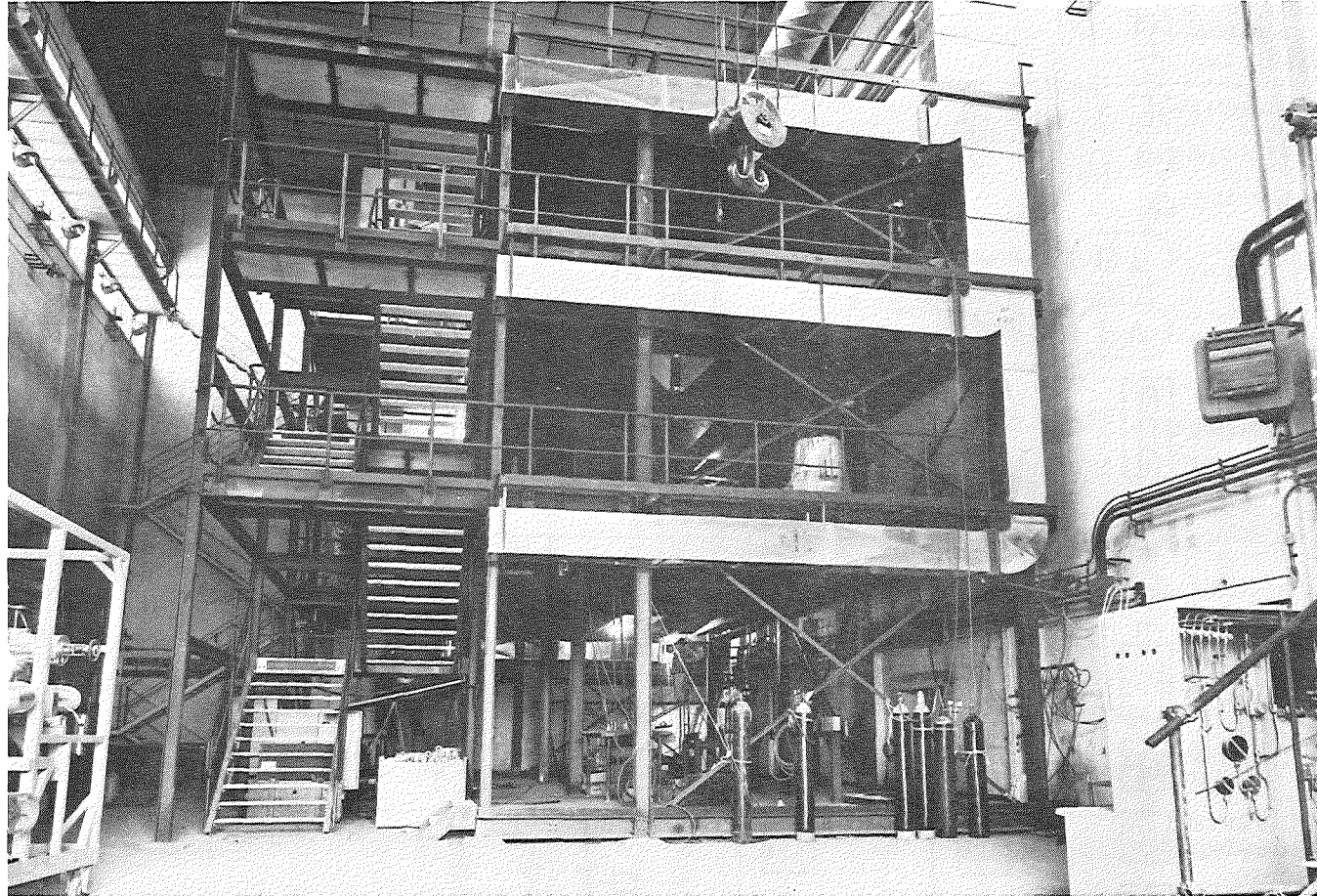


Abb. 2: Blick auf den Anlagenbereich während der Montage

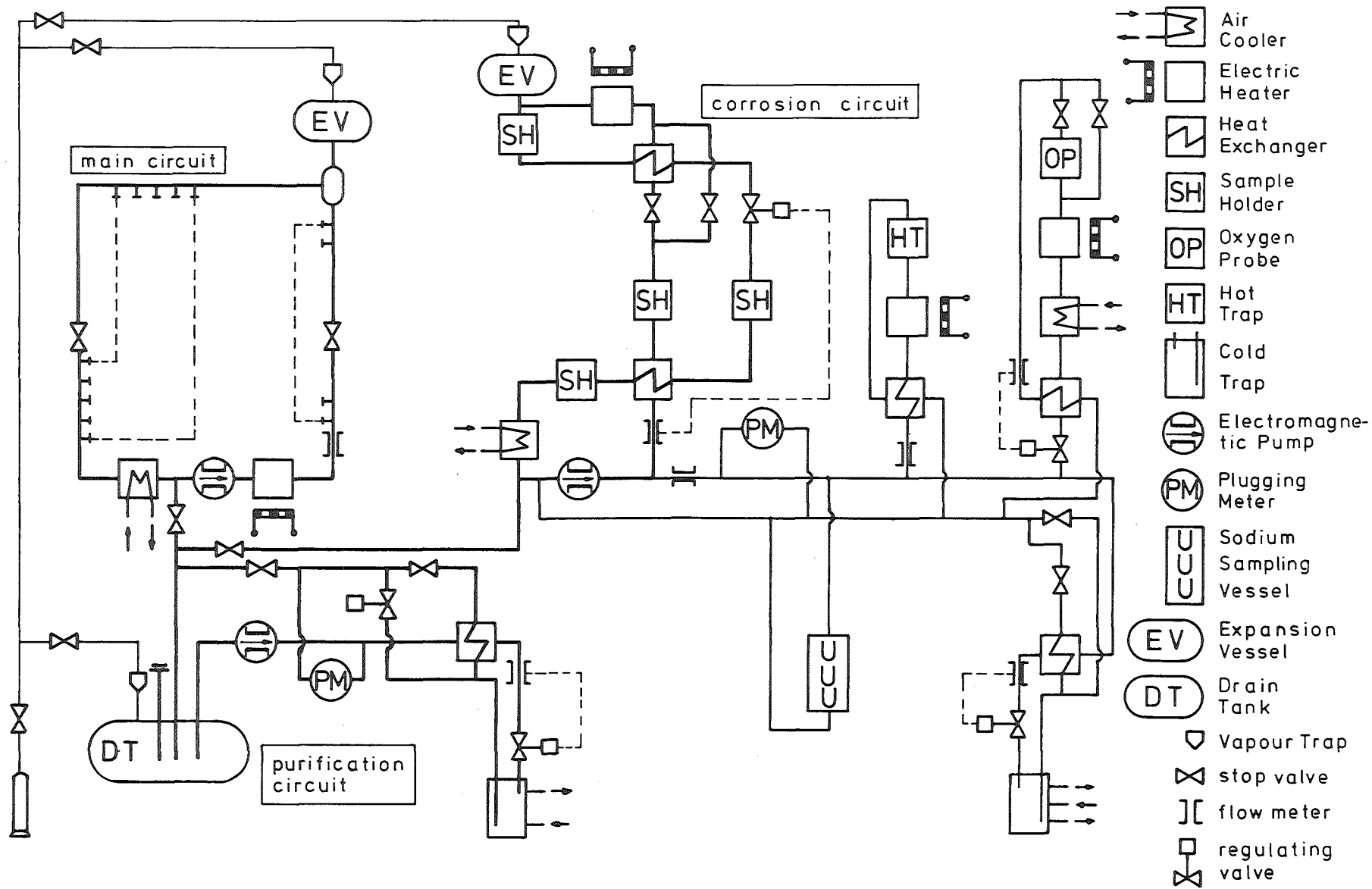


Abb. 3: Vereinfachtes Fließschema des Natrium-Kreislaufsystems

simplified flow scheme

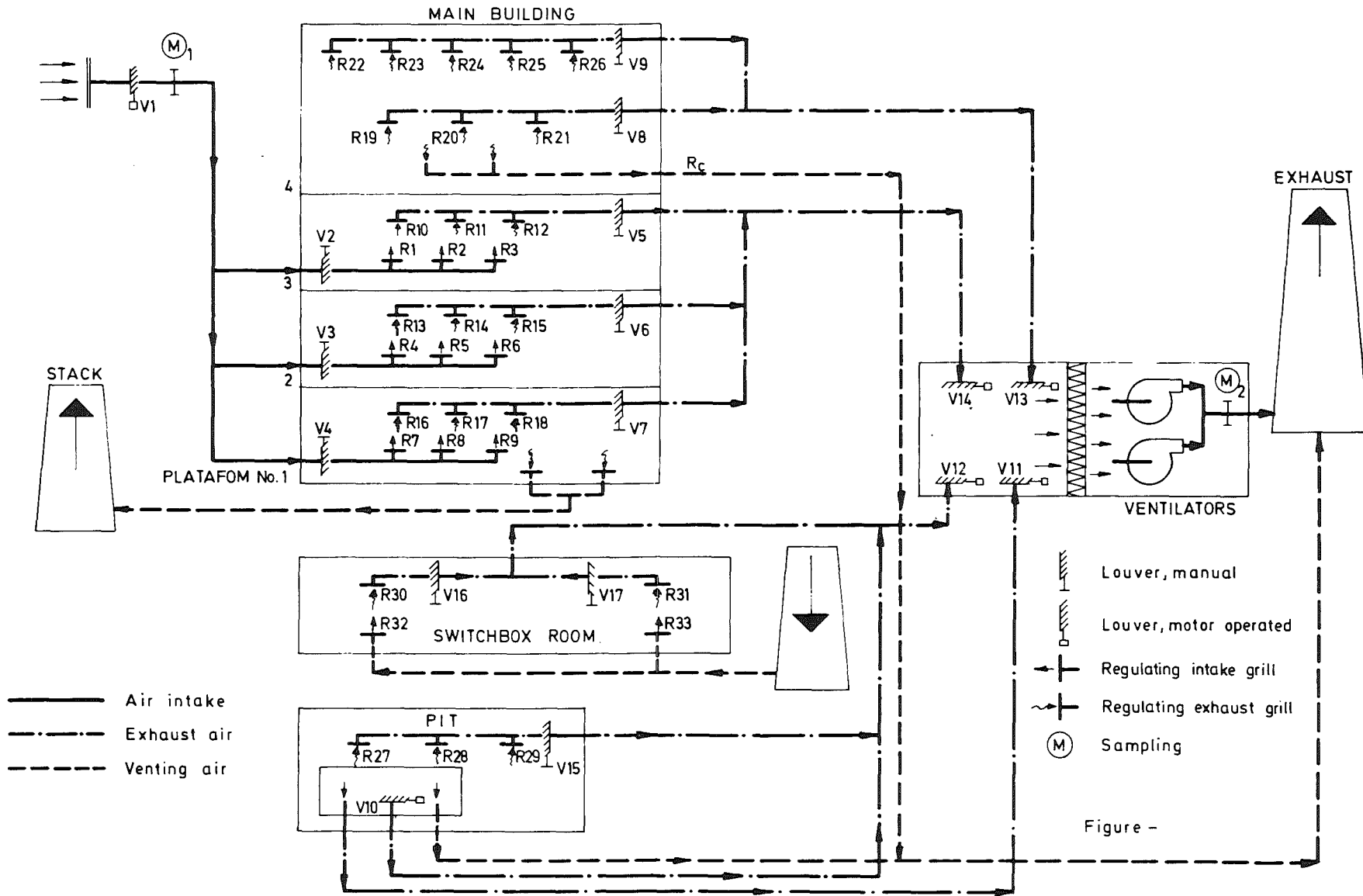


Figure -

Abb. 4: Fließschema des Ventilationssystems