

KfK 3011
August 1981

Beschreibung der Forschungsanlage zur Untersuchung nuklearer Aerosole (FAUNA)

J. Kind, W. Lindner
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik
Projekt Schneller Brüter

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik
Projekt Schneller Brüter

KfK 3011

Beschreibung der Forschungsanlage zur Untersuchung
nuklearer Aerosole (FAUNA)

J. Kind
W. Lindner

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Im Rahmen der SNR-Sicherheitsforschung ist es erforderlich, den Ablauf und die Auswirkungen großer Natriumbrände zu untersuchen. Dazu durchgeführte modelltheoretische Analysen müssen experimentell abgesichert werden. In der bei KfK/LAF konzipierten und gebauten Forschungsanlage zur Untersuchung nuklearer Aerosole (FAUNA) werden Experimente zum Natriumbrand und Aerosolverhalten durchgeführt. Durch die Größe der Anlage wird der Extrapolationsbereich zwischen Experiment und SNR-Realität wesentlich verkleinert.

Im vorliegenden Bericht wird der technische Aufbau der FAUNA beschrieben.

Description of the research facility for investigating nuclear aerosols (FAUNA)

Abstract

The development and consequences of large sodium fires have to be investigated within the framework of SNR safety research. The model theoretical analyses performed in this context must be validated by experiments. In the FAUNA research facility (Forschungsanlage zur Untersuchung nuklearer Aerosole) experiments are carried out referring to the sodium fire and aerosol behavior. Due to the size of the facility the range of extrapolation is substantially reduced between the experiment and practical SNR conditions.

The technical design of the by KfK/LAF built FAUNA facility will be described in this report.

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. FAUNA-Programm	2
3. Beschreibung der FAUNA-Anlage	3
3.1. Brandraum	4
3.2. Natriumversorgung und -aufbereitung	5
3.3. Meßraum	6
3.4. Hilfsanlagen	7
3.4.1. Abluftreinigungsanlage	7
3.4.2. Behälterkühlung	8
3.4.3. Vakuumpumpe	8
3.4.4. Entsorgungsanlage	8
3.5. Betriebseinrichtungen der FAUNA-Anlage	9
3.5.1. Hauptschaltwarte	9
3.5.2. Natriumschaltwarte	11
3.5.3. Natriumventile	13
3.5.4. Gasventile	13
3.6. Sicherheitssysteme	14
3.6.1. Heizungsregelung und Überwachung durch Scanner	14
3.6.2. Ampelanlage	14
3.6.3. Rückmeldung der Ventilstellungen	15
3.6.4. Kontrolle der Ventilstellungen	15
3.6.5. Automatische Schutzgasversorgung	15
3.6.6. Wassermelder	16
3.6.7. Überwachung der Wandtemperatur und des Druckes für den Versuchskessel	16
3.6.8. Brandüberwachung der Betriebsräume	16
3.6.9. Die Notstromversorgung	17
4. Anhang	18
Literatur	24

1. Einleitung

Bei der technischen und konstruktiven Auslegung von Containmentsystemen natriumgekühlter Brutreaktoren muß man in Betracht ziehen, daß Störfälle auftreten, die in großen Teilen des Containments zu großflächigen Natriumbränden führen können. Die Analyse dieser Störfälle ist für die Beurteilung der Sicherheit der gesamten Anlage erforderlich, im Genehmigungsverfahren für den Prototyp-Reaktor SNR-300 fest verankert und bedeutend für die Auslegung großer Brüterkraftwerke (SNR-2).

Natriumbrände im SNR-Containment stellen ein komplexes Sicherheitsproblem dar. Sie führen zu einer Temperatur- und Druckerhöhung im Containment, bilden mit Restwasser (Luftfeuchte, Betonwasser) aggressive chemische Verbindungen und erhöhen somit die korrosive Belastung für die Stahleinbauten und -werkstoffe und erzeugen schließlich Na-Aerosole (bestehend aus verschiedenen Na-Verbindungen), die wegen ihrer Radioaktivität (aktiviertes Natrium, das unter Umständen auch Spaltprodukte enthält) im Containment zurückgehalten werden müssen.

Die vollständige Beschreibung eines beliebigen, großflächigen Natriumbrandes erfordert die genaue Kenntnis einer Reihe charakteristischer Kenngrößen. Unter den hier interessierenden Gesichtspunkten sind dies im wesentlichen die Brandrate, die damit eng gekoppelte Aerosolerzeugungsrate sowie das Wärmefreisetzungsverhalten. Darüberhinaus ist das Verhalten der Na-Aerosole nach ihrer Freisetzung im Containment (Aerosolkonzentration als Funktion der Zeit, Ablagerungsverhalten) bedeutsam für die Auslegung von Containmentsystemen, Abluftanlagen und sonstigen aerosolgefährdeten Komponenten.

Bisherige Untersuchungen lassen erkennen, daß die Natriumbrandraten für größere Flächen nicht linear von der Fläche abhängen, insbesondere dann, wenn die Brandfläche größer als 1 m^2 wird und das darüberliegende Volumen relativ groß ist. Diese Resultate wurden erzielt durch Experimente in einem 4 m^3 Volumen und mit einer Brandfläche bis zu 1 m^2 (NABRAUS). Diese Dimensionen sind jedoch wesentlich kleiner als die der denkbaren Räume des SNR-300 bzw. SNR-2, in denen bei einem Störfall Natriumbrände zu erwarten sind, so daß eine Extrapolation der bisherigen Ergebnisse auf diese Verhältnisse nicht verlässlich erscheint. Insbesondere kann man davon ausgehen, daß die bei einem Flächenbrand unter einem großen Volumen auftretende Zwangskonvektion die Verhältnisse und die Resultate in einer Weise beeinflussen kann, die bei den bisherigen Experimenten nicht miterfaßt werden konnte [1] [2].

Parallel zu experimentellen Untersuchungen wurden Rechenprogramme zur Beschreibung von Natriumbränden entwickelt und angewandt [37] [47]. Zur zuverlässigen Anwendung dieser Programme auf Reaktorverhältnisse (große Volumina, große Flächen- oder Strahlbrände) ist eine Bestätigung der modelltheoretischen Annahmen durch Experimente erforderlich. Die Untersuchungen zum Aerosolverhalten nach Natriumbränden bzw. nach der Freisetzung von Brennstoff und Spaltprodukten in einem SNR-Containment wurden bisher ebenfalls nur in kleinen Volumina durchgeführt [57] [67] [77].

Folglich sind die modelltheoretischen Annahmen in den Rechenprogrammen zur Beschreibung des Aerosolverhaltens in geschlossenen Containments bisher nur mit Experimenten in Volumina von einigen m³ Größe bestätigt [87].

Damit die Theorie des Natriumbrandes und des Aerosolverhaltens besser abgesichert werden kann, muß der weite Extrapolationsbereich von 2 - 4 m³ Versuchsvolumen (TUNA, NABRAUS) auf 100.000 m³ (SNR 300 Containment) verkleinert werden. Das Versuchsvolumen der Forschungsanlage zur Untersuchung nuklearer Aerosole (FAUNA) liegt im Optimum zwischen Aufwand und gewünschter Volumengröße.

2. FAUNA-Programm

Im FAUNA-Programm wird der Brandablauf, das Aerosolverhalten und die Brandauswirkungen großer Natriumbrände in geschlossenen Volumina untersucht. Das Programm gliedert sich in folgende Schwerpunkte:

- Natriumbrandexperimente in Luft.

Es werden Lachen- und Spraybrände durchgeführt.

Bei Lachenbränden ist die Brandfläche und die Lachentiefe variabel (maximal 12 m² bei 50 cm Tiefe). Bei Spraybränden beträgt die größte Natriumausflußrate 40 kg/sec. Die Natriumtemperatur beträgt für beide Brandarten maximal 550 °C.

- Natriumbrandexperimente bei verminderter Sauerstoffkonzentration.

Diese Versuche werden im Hinblick auf die Inertisierung eines Teiles des Containments beim SNR-300 durchgeführt. Es werden ebenfalls Lachen- und Spraybrände untersucht.

- Test verschiedener Abscheidertypen hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit zur Filterung von Natriumbrandaerosol. In einem an die FAUNA-Anlage angeschlossenen offenen Kreislauf werden Zyklone, Naßabscheider und Elektroabscheider getestet. Von besonderem Interesse ist dabei die Beladbarkeit, die Standzeit und der Abscheidegrad.

- Chemische Analyse des Natriumbrandaerosoles und Test von Reaktorkomponenten unter Einwirkung von Brandaerosol. Dabei wird untersucht, wie groß der Anteil der einzelnen chemischen Verbindungen (Na_2O , Na_2O_2 , Na_2CO_3 , NaHCO_3) am gesamten beim Brand freigesetzten Aerosol ist. Dies ist im Hinblick auf die Umgebungsbelastung bei Na-Bränden und auf die Auslegung von aerosolgefährdeten Komponenten der Reaktoranlage von Bedeutung. So werden u.a. Original-Komponenten von Lüftungsanlagen des SNR-300 in der FAUNA-Anlage mit Natriumbrandaerosol beaufschlagt und deren Betriebsverhalten untersucht.
- Bestimmung des Verhaltens von Na-Brandaerosol in geschlossenen Behältern. Hierbei wird der zeitliche Verlauf der Aerosolmassenkonzentration während und nach dem Brand und die Aerosolablagerung am Boden und an den Wänden des Versuchsgefäßes gemessen. Die experimentellen Ergebnisse werden mit Modellrechnungen (PARDISEKO) [9] verglichen.

3. Beschreibung der FAUNA-Anlage

Die Arbeitsschwerpunkte des Versuchsprogrammes ergeben für den konstruktiven und den technischen Aufbau der FAUNA-Anlage folgende Bedingungen:

- Brandfläche variabel, maximal 12 m²
- Durchführung von Lachen-, Spray- und Kombibränden
- Evakuierbarkeit und Überdruckfestigkeit des Brandraumes
- Anschlußmöglichkeiten für verschiedene Abscheider
- Anschluß von Gaskreisläufen für Komponententests und zur chemischen Analyse des Brandaerosols
- Einsatz umfangreicher Meßtechnik, geringe Entfernung zu den Meßräumen

Diese Auslegungskriterien ermöglichen eine Vielfalt von Experimenten, wie sie derzeit nur in der FAUNA-Anlage möglich sind. Das Gesamtkonzept ist aus den Abbildungen 1 und 2 zu ersehen.

Die Anlage hat eine Ausdehnung von etwa 12 x 6 m. Sie besteht aus einem dreigeschoßigen Gebäudeteil mit einer Grundfläche von ca. 6 x 6 m und einem zylindrischen 215 m³ großen Versuchskessel, der dicht neben der nördlichen Gebäudewand steht. Der Kessel steht auf einem ca. 6 x 6 m großen Raum, dessen Wände das Fundament für die Kesselaufgabe bilden.

Dieser Raum ist vom Gebäudeteil her zu begehen und dient zur Aufbereitung und Aufbewahrung des bereits eingeschmolzenen, unter Schutzgas befindlichen Natriums. In dem danebenliegenden Raum, dem Untergeschoß des Gebäudeteils, befinden sich die Betriebsüberwachung für die Natriumaufbereitungsanlage, die Schutzgasversorgung und die Notstromversorgung. Die Räume darüber sind überwiegend für Versuchsüberwachung (1. Geschoß) und Meßtechnik (2. Geschoß) vorgesehen. Im 1. Geschoß befindet sich abgetrennt ein kleiner Raum, der von einer Außengalerie zugänglich ist und in dem sich die Natriumeinschmelzanlage befindet. Ein Schlitz in der nördlichen Gebäudewand des 1. und 2. Geschosses erlaubt unmittelbaren Zugang zu Flanschen im Versuchskessel, für Probennahmen und elektrische Durchführungen.

Die Anlage wird wegen der besseren Übersicht in folgende Teile aufgegliedert:

1. Brandraum
2. Natriumversorgung und Aufbereitung
3. Meßraum
4. Hilfsanlagen
5. Betriebsüberwachung
6. Sicherheitssysteme

Diese werden im folgenden eingehend beschrieben.

3.1 Brandraum

Als Brandraum dient ein Stahlgefäß mit 6 m Durchmesser und 6 m zylindrischer Höhe. Der obere der beiden Klöpperböden ist zum Einbringen großer Einbauten abnehmbar. Das Gefäß ist für 3 bar inneren Überdruck und Vakuum ausgelegt und hat ein Volumen von 215 m³. Der Behälter ist über einen kreisförmigen Einstieg (d=2 m) begehbar. Die Brandpfannen sind auf einem Traggerüst mit 4 Auflagern am unteren Klöpperboden angebracht. Die Auflager der Pfannen sind mit einer elektronischen Wiegeeinrichtung versehen. In Höhe des Pfannenrandes befindet sich im Behälter ein Laufsteg. Der untere Klöpperboden ist ferner mit einem abnehmbaren Flansch versehen. Er dient als Durchführung für alle natriumführenden Leitungen und als Abfluß für Kondens- oder Reinigungswasser. Die Kesselinnenwände und alle Einbauten sind mit einem Zinkanstrich gegen Korrosion geschützt. Am zylindrischen Teil des Behälters ist eine Vielzahl von Flanschen und Durch-

führungen angebracht. Diese sind mit Versorgungsleitungen und Sonden für Meßzwecke bestückt.

3.2 Natriumversorgung und -aufbereitung

Die Anlage zur Handhabung des Natriums (Abb. 3) für FAUNA-Experimente besteht im wesentlichen aus 3 Lagertanks (Abb. 4) mit Verbindungsrohren und Ventilen (Abb. 5) einer Einschmelzanlage und dem Schutzgassystem. Außer der Einschmelzanlage sind alle Komponenten in einem separaten Raum unterhalb des Versuchskessels untergebracht (Abb. 6). Der Boden dieses Raumes ist mit speziellen Auffangwannen (Abb. 7) für evtl. Na-Leckagen ausgestattet. Alle mit Natrium in Kontakt stehenden Komponenten sind aus austenitischem Stahl angefertigt und beheizbar bis auf die vorgesehene Betriebstemperatur von max. 550 °C. Das Natrium wird in Fässern zu je 200 kg angeliefert. Das Faß wird an das Rohrleitungssystem angeschlossen und in der Einschmelzanlage unter Schutzgas auf ca. 150 °C erwärmt. Das flüssige Na fließt in einen der 3 Lagertanks im Keller. Aus diesem Tank wird dann die benötigte Menge Na für die Versuche pneumatisch in die Brandpfanne gedrückt. Bei Spraybränden wird das Na direkt aus dem Tank durch entsprechende Düsenanordnungen im Brandkessel verdüst. Der zweite Na-Lagertank bleibt ständig leer, um jederzeit für einen Na-Schnellablaß (s. Kap. 3.5.2) zur Verfügung zu stehen. Der dritte Lagertank wird zur Aufbewahrung von verunreinigtem Na benutzt, welches evtl. aus der Brandpfanne zurückgefördert wird. Die Natriumanlage steht ständig unter Schutzgas (Argon). Sie wird von einer elektrisch überwachten zentralen Gasstation versorgt. Die Station besteht aus 6 Flaschen, wovon jeweils 3 parallel geschaltet sind. Bei Entleerung von 3 Flaschen ertönt ein akustisches Signal, und es erfolgt eine automatische Umschaltung auf die restlichen 3 Flaschen. Die entleerten Flaschen können ohne Abschaltung der Schutzgasversorgung erneuert werden. Die drei Na-Tanks können getrennt und mit unterschiedlichen Drücken versorgt werden; jeder Kessel hat zwei Entlüftungsventile ins Freie. Die erforderlichen Gasventile sind magnetisch angetrieben. Zur Sicherheit gegen Stromausfall ist das gesamte Schutzgasversorgungssystem parallel mit handbetriebenen Ventilen ausgestattet.

3.3 Meßraum

Der Meßraum befindet sich im Obergeschoß des FAUNA-Gebäudes. Die Gebäudewand ist über die gesamte Geschosshöhe zu öffnen, so daß der Versuchskessel direkt vom Meßraum aus erreichbar ist. Die Meßdurchführungen in den Brandkessel sind somit während der Versuche zugänglich, und es ergeben sich sehr kurze Wege zu den Meßgeräten. Dies ist besonders für alle Meßverfahren, bei denen Gas- bzw. Aerosolproben entnommen werden, von Vorteil. Der Meßraum wird durch eine separate Gasstation mit Spül- und Schutzgas versorgt. Die meßtechnische Ausrüstung wird je nach Versuchsziel variiert und ergänzt. Auf die einzelnen Meßverfahren wird in diesem Bericht nicht näher eingegangen. In [10] wird die Meßtechnik und Ergebnisse von FAUNA-Experimenten ausführlich dargestellt.

Die meßtechnische Grundausrüstung der FAUNA-Anlage besteht aus:

- a) Geräten zur Messung der Brandkinetik, Meßmethoden zur Ermittlung der Containmentbelastung
 - Temperatur
 - Druck
 - O₂-Verbrauch
 - Konvektion
 - Brandrate

- b) Geräten zur Messung der aerosolphysikalischen Größen des Brandaerosols
 - Massenkonzentration
 - Partikelgröße und -größenverteilung
 - Partikelzahl
 - Partikelform

- c) Methoden zur chemischen Analyse des Brandaerosols und der Brandrückstände und im Zusammenhang damit
 - CO₂-Konzentration und Verbrauch
 - Relative Feuchte
 - O₂-Konzentration und Verbrauch.

Für diese Messungen ist an den FAUNA Brandkessel eine Gasversorgungsstation angeschlossen. Damit kann der Brandablauf und der Ablauf der chemischen Reaktionen des Brandaerosols beeinflußt und quantitativ erfaßt werden. Der Brandablauf wird durch die O₂-Konzentration im Kessel und die Nachspeisung von verbrauchtem Sauerstoff beeinflußt. An einem Steuerpult wird

dazu die gewünschte O_2 -Konzentration eingestellt. Dieser eingestellte Sollwert wird automatisch konstant gehalten, die verbrauchte O_2 -Menge wird gemessen und registriert. In der O_2 -Zuleitung ist aus Sicherheitsgründen ein Schnellschlußventil installiert. Damit wird im Falle der Überschreitung von zulässigen Werten für Kesseldruck und Kesseltemperatur die O_2 -Zufuhr unterbrochen. Dadurch wird die Brandintensität vermindert bzw. der Brand ganz gestoppt.

Der Ablauf der chemischen Reaktionen des Na-Brandaerosols ist u.a. von der CO_2 -Konzentration in der Umgebungsluft des Brandes abhängig. Bei ausreichendem CO_2 -Angebot entsteht als Reaktionsendprodukt ungefährliches Natriumkarbonat. Die automatische Gasversorgungsstation gestattet die Einstellung und Konstanthaltung verschiedener CO_2 -Konzentrationen, der CO_2 -Verbrauch wird registriert. Damit sind Aussagen über den chemischen Reaktionsablauf des Brandaerosols möglich. Das variable CO_2 -Angebot erlaubt weiterhin die Herstellung von Na-Brandaerosol bestimmter chemischer Zusammensetzung. Dies ist für Komponententests unter Einwirkung von Brandaerosol von Bedeutung.

3.4 Hilfsanlagen

Die FAUNA-Anlage ist mit einer Reihe von Hilfsanlagen ausgestattet, die einen sicheren und störungsfreien Betrieb bzw. nach den Experimenten eine sichere Entsorgung gewährleisten. Die wichtigsten Hilfsanlagen sind die Abluftreinigungsanlage, die Behälterkühlung, eine Vakuumpumpe und die Entsorgungsanlage.

3.4.1 Abluftreinigungsanlage

Bei FAUNA-Experimenten werden große Mengen luftgetragener Partikeln freigesetzt. Die TA-Luft schreibt für diese Aerosole eine maximale Emission von 120 mg Aerosol pro Kubikmeter freigesetztem Gas vor. Da die Aerosolmassenkonzentration im ungereinigten Abgas der FAUNA-Anlage einige Gramm pro Kubikmeter betragen kann, mußte eine Abgasreinigungsanlage installiert werden. Daneben wird diese Anlage zur Kesselbelüftung bei der Entsorgung benutzt. Sie wurde nach folgenden Gesichtspunkten ausgelegt:

- Na-Brandfläche 12 m² (Maximalwert)
- Na-Brandrate 40 kg/m²·h (Maximalwert aus früheren Messungen)
- O_2 -Konzentration im Brandraum konstant
- Abscheidegrad 90% (Angabe der Lieferfirma: 99%)

Die Abgasreinigung erfolgt in einem zweistufigen Rotationsnaßwäscher mit 2 in Reihe geschalteten Zerstäuberturbinen. Die Anlage fördert 3.000 m³ Gas pro Stunde. Sie ist über 2 Rohrstützen NW 100 und zusätzlich über ein Sicherheitsventil mit dem Versuchskessel verbunden. Das Sicherheitsventil ist auf 2,5 bar Überdruck eingestellt, so daß eine Druckentlastung des Versuchskessels immer über die Reinigungsanlage erfolgt. Da in diesem Falle die abgegebene Gasmenge vom Kesseldruck und der Gastemperatur abhängt, wird dem Abgas Frischluft beigemischt. So wird eine Verdünnung und Abkühlung des Abgases erreicht. Das Reinigungswasser wird im Kreislauf in der Waschanlage umgepumpt und nach Bedarf in das Chemieabwasser abgegeben.

3.4.2 Die Behälterkühlung

Bei FAUNA-Versuchen mit 12 m² Brandfläche wird eine Wärmemenge von ca. 10⁶ kcal/h freigesetzt. Die Maximaltemperatur an der Außenwand des Versuchsbehälters wurde mit 80 °C festgesetzt. Dies wird durch eine Wasserkühlung gewährleistet. Am oberen Klöpperboden und am Behälterumfang ist eine Vielzahl von Düsen angebracht, durch die der gesamte Behälter gleichmäßig berieselt werden kann. Bei maximalen Versuchsbedingungen wird eine Frischwassermenge von 70 m³/h benötigt. Durch Beimischung von Frischwasser wird gewährleistet, daß das Abwasser vor Abgabe in die Kanalisation auf 30 °C abgekühlt wird.

3.4.3 Vakuumpumpe

Der FAUNA-Versuchskessel ist mit einem Vakuumpumpstand versehen, welcher zwei Aufgaben zu erfüllen hat: vor Experimenten mit O₂-Konzentrationen kleiner 21% wird der Kessel evakuiert, danach die gewünschte O₂-Konzentration eingestellt. Die Vakuumpumpe erfüllt zweitens eine Sicherheitsfunktion, denn im Falle eines unkontrollierten Na-Brandes im Kessel kann dieser schnell evakuiert und mit Stickstoff geflutet werden. Der Pumpstand besteht aus einer Wälzkolbenpumpe und einer Drehschieberpumpe und hat ein Saugvermögen von 2.000 m³/h bei 0,1 Torr.

3.4.4 Entsorgungsanlage

Nach FAUNA-Versuchen müssen der Versuchskessel, die Brandpfanne und evtl.

andere Kesseleinbauten von den Brandrückständen gereinigt werden. Diese Arbeiten beinhalten ein Sicherheitsrisiko, da unter Umständen große Mengen metallischen Natriums und konzentrierter Natronlauge entsorgt werden müssen. Im Regelfall geschieht dies mit Wasser. Wegen der Gefahr von Knallgasreaktionen werden diese Arbeiten in einer Entsorgungskammer durchgeführt. Die Kammer ist an den Seiten mit Blech verkleidet und nach oben wegen eines eventuellen Reaktionsdruckes lediglich mit Maschendraht abgedeckt. Der Boden besteht aus einem betonierten Auffangbecken. Die Arbeiten werden von außen durch Schlitze in der Blechwand durchgeführt. Die zu reinigenden Teile werden auf Gitterroste gelegt, damit das Reinigungswasser sofort ablaufen kann. Das Auffangbecken hat ein Fassungsvermögen von 5 m³ und wird nach Bedarf durch Tankwagen entleert.

3.5 Betriebseinrichtungen der FAUNA-Anlage

Zum Betrieb der Anlage sind zwei Schaltwarten erforderlich (s. Abb. 8), eine Hauptschaltwarte (im Mittelgeschoß befindlich), hier werden die Gesamtfunktionen der Anlage überwacht, und eine Natriumschaltwarte (im Kellergeschoß), mit der die Handhabung des Natriums erfolgt. Zur Dosierung der Gase O₂, N₂ und CO₂ für den Versuchsbetrieb steht ein Kontrollpult zur Verfügung. Die Schaltwarten übernehmen außer den betrieblichen Funktionen auch einen großen Teil der Sicherheitsvorkehrungen. Eine selbstlaufende Notstromanlage hält bei Stromausfall alle wichtigen Steuer- und Kontrollfunktionen aufrecht.

3.5.1 Hauptschaltwarte

Zur besseren Übersicht ist die Zeichnung der Hauptschaltwarte (Abb. 9) in einzelne Abschnitte (A bis F) eingeteilt.

Abschnitt A: In allen Räumen der FAUNA-Anlage befinden sich Rauchmelder. Die einzelnen Meldeleuchten sind über Relais an die Rauchmelder gekoppelt, eine Brandgefahr kann damit sofort lokalisiert werden.

Abschnitt B: Am tiefsten Punkt des Brandkessels ist ein elektrischer Fühler angebracht, der bei vorhandenem Wasser ein Blinksignal und eine Hupe auslöst. Die Warnhupe kann durch die Quittiertaste (e) außer Betrieb gesetzt werden, während die Blinkleuchte weiter in Tätigkeit bleibt, bis das anstehende Wasser beseitigt ist. Die Leuchtanzeige (b)

für die Kühlung leuchtet zur Kontrolle auf, wenn die Wassersprühanlage zur Kühlung des Versuchskessels in Betrieb ist. Zur Kontrolle der Wandtemperaturen innerhalb des Versuchskessels ist im unteren, mittleren und oberen Teil des Versuchskessels je ein Thermoelement um 120° versetzt angebracht. Die Wandtemperaturen sind an drei Anzeigeinstrumenten (c) ablesbar, ein eingebauter Grenzwertschalter gibt bei Überschreiten der maximal zulässigen Wandtemperatur Alarm und schaltet auch die Sauerstoffzufuhr zum Versuchskessel automatisch ab, dies ist auch bei Überschreiten des max. Kesseldruckes am Anzeigeinstrument (d) der Fall. Der Kontrollschalter (f) ermöglicht es, die Ventilstellungen der Anlage zu kontrollieren, ohne die Schaltwarte in Betrieb zu setzen.

Abschnitt C: Hier befinden sich neben den Hauptschaltern für die einzelnen Heizungssysteme ein Schalter für ein O_2 -Schnellschlußventil, das bei einem Gefahrenzustand auch manuell ausgelöst werden kann. Der Schalter für den Naßwäscher und der Hauptschalter (Schlüsselschalter) für die Schaltwarte befinden sich ebenfalls im Abschnitt (c) sowie eine Kontroll-Leuchte für den Lukenverschluß des Versuchskessels.

Abschnitt D: Hier befindet sich das Anzeigegerät (i) für die Wägung, das Füllgewicht der Na-Brandpfanne mit Natrium kann hier vor Versuchsbeginn abgelesen werden. Diese Wägung erfolgt über drei parallel geschaltete Meßdosen mittels Dehnungsmeßstreifen. Der ermittelte Meßwert wird einer Brückenschaltung zugeführt und über Meßverstärker zur Anzeige gebracht. In der Mitte befindet sich der Regler (j) für die Heizung der Na-Brandpfanne, die Pfannentemperatur kann außerdem über ein gesondert angebrachtes Thermoelement (Ni-Cr-Ni) am Anzeigeinstrument (k) abgelesen werden.

Abschnitt E: Die Füllstände der drei Na-Vorratskessel werden an den Instrumenten (l bis n) abgelesen. Die Messung der Füllstände erfolgt im Differenzdruckverfahren. Am unteren und oberen Teil eines jeden Na-Vorratskessels ist ein Meßfühler (Barton-Zelle) angebracht. Der füllstandsabhängige Differenzdruck wird über mit NaK gefüllte Metallzuleitungen einem Druckaufnehmer mit nachfolgender Brückenschaltung und angeschlossenen Meßverstärker zugeführt. Zum Messen der Füllstände müssen die Na-Kessel aufgeheizt sein und das Natrium muß sich im flüssigen Zustand befinden.

Einige Betriebsdaten für die Meßfühler:

Medium:	Natrium
Druck:	bis 3 bar
Temperatur:	500 °C
Umgebungstemperatur:	40 °C
Füllflüssigkeit:	NaK

Abschnitt F: Hier befindet sich die Gegensprechanlage (p), diese ist mit der Na-Schaltwarte verbunden und ist aus Sicherheitsgründen so geschaltet, daß Vorgänge im Natriumraum immer abgehört werden, bei Befehlsgabe von der Hauptschaltwarte muß die Sprechaste (q) gedrückt werden. Ein 12-Punktschreiber (o) registriert laufend folgende Werte: Wandtemperatur des Versuchskessels, Kesseldruck, Temperatur der Na-Brandpfanne, Wägung, O₂-Gehalt, O₂-Durchfluß.

3.5.2 Natriumschaltwarte

Die Natriumschaltwarte (Abb. 10) enthält im wesentlichen die Regler für die Heizung der Natriumvorratskessel und der Rohrleitungssysteme sowie die Schalter zur Steuerung der Ventile. Die Vorratskessel werden jeder über drei getrennte Heizsysteme beheizt (Unter-Mittel- und Oberteil des Kessels), wobei jedes Heizsystem nochmals auf drei Phasen (R, S, T) aufgeteilt ist, so kann bei Ausfall einer Phase der Betrieb aufrecht erhalten werden. Bei den Rohrleitungen verlaufen die Heizstränge getrennt beiderseits der Rohre und sind auch getrennt abgesichert. Bei Ausfall eines Heizungsstranges ist so der andere in der Lage, die erforderliche Temperatur weiter aufrecht zu erhalten, siehe Abb. 11. Alle Na-Ventile werden gesondert beheizt. Außer den erforderlichen Thermoelementen für die Regelung sind zusätzliche Thermoelemente an allen Heizungssystemen angebracht, die eine Temperaturrückmeldung der wichtigsten Heizabschnitte ermöglichen. Diese Temperaturen werden einzelnen Kanälen eines Scanners zugeordnet und können abgelesen und ausgedruckt werden.

Das Schutzgassystem hat die Aufgabe, die Na-Vorratskessel und die entsprechenden Leitungen mit Schutzgas zu versorgen und durch entsprechenden Förderdruck das Natrium aus den Vorratskesseln in die Na-Brandpfanne zu befördern. Als Schutzgas wird Argon verwendet. Das auf der Na-Schaltwarte befindliche Fließ-Schema zeigt alle Funktionsbereiche der Regler und Schalter.

Natriumhandhabung:

Die Handhabung des Natriums geht aus dem Fließschema (Abb. 3) hervor.

a) Beschickung der Na-Brandpfanne mit Natrium:

Das Natrium wird pneumatisch in die Na-Brandpfanne befördert. Dazu wird zunächst der Schutzgasdruck für den entsprechenden Na-Vorratskessel (für hiesiges Beispiel Kessel 1) von etwa 100 mb auf den erforderlichen Förderbereich von 1,5 - 2 bar erhöht. Die Ventile G7 und G2 werden hierfür geöffnet. Nach Erreichen des Förderdruckes werden die Na-Ventile N1, N4 und N5 geöffnet. Das Natrium fließt jetzt in die Na-Brandpfanne. Die Natriummenge kann durch die Kesselfüllstandsanzeige an der Schaltwarte ermittelt werden, eine weitere Füllstandsanzeige befindet sich an der Hauptschaltwarte. Mit der Wägeeinrichtung kann außerdem das Gewicht der Na-Füllung der Brandpfanne festgestellt werden. Ist die Na-Brandpfanne mit der erforderlichen Natriummenge gefüllt, werden zunächst die Na-Ventile N5, N4 und N1 geschlossen, dann werden die Gasventile G7 und G2 geschlossen. Das Ventil G1 wird zur Druckentlastung geöffnet, bis der Schutzgasdruck von 0,1 bar wieder hergestellt ist.

b) Entleerung der Na-Brandpfanne:

Zur Aufnahme von Natrium aus der Brandpfanne ist der Na-Vorratskessel Nr. 2 vorgesehen. Zuerst wird das Gasventil G3 geöffnet, um vorhandenen Schutzgasdruck abzulassen. Dann wird das Ventil G8 geöffnet und die Vakuumpumpe eingeschaltet. Ist der Na-Vorratskessel 2 drucklos, wird das Ventil G4 geöffnet und das Ventil G3 geschlossen. Jetzt entsteht im Na-Vorratskessel ein Unterdruck. Die Na-Ventile N2, N4 und N5 werden geöffnet, durch die Heberwirkung wird jetzt das Natrium aus der Na-Brandpfanne abgelassen; danach werden die Na-Ventile N2, N4 und N5 wieder geschlossen. Das Gasventil G8 wird geschlossen, die Vakuumpumpe wird abgeschaltet. Ventil G7 wird geöffnet bis der Kessel 2 wieder mit Schutzgas versorgt ist.

c) Na-Schnellablaß:

In einer Gefahrensituation kann es erforderlich werden, das in der Na-Brandpfanne befindliche Natrium schnell abzulassen. Zu diesem Zweck ist die Anlage mit einer Schaltlogik ausgestattet. Durch Betätigung der an der Hauptschaltwarte befindlichen Taste für den Na-Schnellablaß wird zunächst die Sauerstoffzufuhr zum Brandkessel

unterbrochen, dann laufen alle Vorgänge wie unter Abschnitt b beschrieben automatisch ab. Während des gesamten Schnellablassens leuchtet die Kontroll-Lampe, ein Erlöschen der Kontroll-Lampe zeigt das Ende des Na-Schnellablasses an.

3.5.3 Die Natriumventile

Die Natriumventile sind Spezialventile mit Faltenbälgen. Angetrieben werden diese Ventile mit einem 3-Phasen Elektromotor, entsprechende Grenzberreichsschalter und Drehmomentschalter sind bereits im Antrieb eingebaut. Diese Ventile können durch eine mechanische Auskupplung auch manuell betätigt werden. Eine eingebaute mechanische Anzeige zeigt die jeweilige Stellung des Ventils an. Elektrisch werden diese Ventile an der Na-Schaltwarte betätigt. Im Fließ-Schema der Natriumschaltwarte (Abb. 10) sind die Schalter jeweils vor den betreffenden Ventilen eingezeichnet. In diese Schalter sind Leuchtanzeigen integriert. Diese Leuchtanzeigen werden von den Endschaltern der Na-Ventile gesteuert, so daß eine echte Rückmeldung gegeben ist. Ein rotes Licht bedeutet geschlossenes Ventil, ein grünes Licht zeigt an, daß das Ventil völlig offen ist. Da bei kalten Ventilen die Faltenbälge der Na-Ventile leicht beschädigt werden können, ist durch eine vorgeschaltete Logikanordnung dafür gesorgt, daß die Ventile nur im beheizten Zustand betrieben werden können.

3.5.4 Die Gasventile

Die verwendeten Gasventile sind elektromagnetisch angetrieben. Durch vorgeschaltete Logikanordnung (s. Anhang) wird neben anderen sicherheitstechnischen Erfordernissen auch eine Rückmeldung zu den Leuchtanzeigen der Betriebsschalter erreicht. Zur weiteren Sicherheit der Anlage befinden sich in einem Bypass manuell betriebene Ventile, welche im Falle einer Verstopfung oder sonstigen Störung die Funktion der elektromagnetischen Ventile ersetzen können. Ist die Hauptschaltwarte abgeschaltet (Ruhebetrieb), so werden automatisch mittels Logikanordnung die entsprechenden Ventile zur Versorgung mit Schutzgas (Argon) geöffnet, bei eingeschalteter Hauptschaltwarte schließen diese Ventile wieder.

3.6 Sicherheitssysteme

Die Sicherheit der FAUNA-Anlage wird teilweise durch in die Betriebstechnik integrierte Sicherheitssysteme erreicht, hierbei wurden die entsprechenden Anlagenteile durch Logikschaltungen verknüpft. Die Logik der einzelnen Systeme wird im Anhang beschrieben. Neben diesen Sicherheitssystemen gibt es außerdem autarke Anlagenteile, die der Sicherheit dienen.

Zu den Sicherheitssystemen gehören:

1. Heizungsregelung und Überwachung durch Scanner
2. Ampelanlage
3. Rückmeldung der Ventilstellungen
4. Kontrolle der Ventilstellungen
5. Automatische Schutzgasversorgung
6. Wassermelder
7. Überwachung der Wandtemperatur des Versuchskessels und des Kesseldrucks
8. Brandüberwachung der Betriebsräume
9. Notstromversorgung

3.6.1 Heizungsregelung und Überwachung durch Scanner

Alle Heizungssysteme sind elektronisch regelbar. Als Fühler sind Thermoelemente paarweise an den einzelnen Heizungsgruppen angebracht; ein Thermoelement ist jeweils mit dem zugehörigen Regler verbunden, das andere dient als Rückmeldung und ist mit einem Scanner-Kanal verbunden.

Die einzelnen Kanäle des Scanners und die gemessenen Temperaturen werden angezeigt und können auch ausgedruckt werden. Am Scanner können ein oberer und ein unterer Grenzwert eingestellt werden. Bei Erreichen eines Grenzwertes wird Alarm ausgelöst. Mit der zusätzlichen Thermoelemente-Bruchüberwachung ist der Scanner ein sehr wichtiger Teil für die Betriebssicherheit.

3.6.2 Ampelanlage

Vor dem Eingang des Versuchskessels befindet sich eine Ampelanlage mit einem zusätzlichen Rundumblinklicht. Bei grünem Licht sind alle Stromzuführungen innerhalb des Versuchskessels stromlos, der Kessel kann dann gefahrlos betreten werden. Ist der Strom eingeschaltet, brennt das rote

Ampellicht und zusätzlich das Rundumblinklicht, der Versuchskessel darf dann nicht betreten werden. Ein gelbes Ampellicht bedeutet, im Versuchskessel befindet sich Natrium, Betreten des Versuchskessels ist dann nur mit Genehmigung des Versuchsleiters erlaubt. Bedient wird die Ampel mit einem abschließbaren Schalter. Die Ampelanlage ist mit den Kesselstromzuführungen durch Schaltschütze verriegelt. Zur Kontrolle befindet sich eine zweite Ampel im Betriebsraum.

3.6.3 Rückmeldung der Ventilstellungen

Die Natriumventile sind mit Endschaltern versehen, diese geben eine echte Rückmeldung über die Anzeigeleuchten vom Ventilschalter, wenn ein Na-Ventil völlig geöffnet bzw. ganz geschlossen ist. Siehe hierzu Abb. 12.

Die Gasventile werden elektromagnetisch betrieben. Da an den Magnetventilen keine Endschalter zur Rückmeldung vorhanden sind, muß die Rückmeldung durch Stromfluß durch die Magnetspule des Ventils erfolgen. Zu diesem Zweck ist in Serie mit der Magnetspule ein kleiner Widerstand geschaltet, der bei Stromfluß entstehende Spannungsabfall am Widerstand wird einem Verstärker mit nachgeschaltetem Relais zugeführt. Dieses Relais schaltet dann die Lämpchen für die Rückmeldung.

3.6.4 Kontrolle der Ventilstellungen

Vor Inbetriebsetzung der Hauptschaltwarte ist es möglich, die Stellung aller Natriumventile durch Betätigung der Kontrolltaste zu kontrollieren. Stimmt eine Ventilstellung nicht mit der Schalterstellung überein, so wird das durch Blinken am entsprechenden Ventilschalter angezeigt.

3.6.5 Automatische Schutzgasversorgung

Auch bei abgeschalteter Schaltwarte müssen alle drei Natrium-Vorratskessel mit Schutzgas versorgt werden. Wird die Schaltwarte abgeschaltet, so werden durch die Schutzgasautomatik die Ventile G7, G2, G4 und G6 geöffnet, siehe Abb. 3. Über einen Feinregler, der auf 100 mbar eingestellt wird, erfolgt dann die Versorgung mit Schutzgas. Die Schutzgasautomatik ist Teil der Logik für die Sicherheitssysteme. Mit einem Schlüsselschalter ist es möglich, die Schutzgasautomatik abzuschalten.

3.6.6 Wassermelder

Eine Ansammlung von Wasser im Versuchsbehälter muß unbedingt vermieden werden, da eine Wasser-Natriumverbindung eine Knallgasbildung zur Folge hat. Aus diesem Grunde ist ein Wassermelder installiert, der bei Wasseransammlung sofort Alarm auslöst und auch die Sauerstoffzufuhr unterbindet. Der Fühler besteht aus wechselseitig verbundenen Stiften und ist an der tiefsten Stelle des Versuchskessels installiert. Zum Ablassen von vorhandenem Wasser kann dieser leicht herausgeschraubt werden. Wasser verkleinert den elektrischen Widerstand des Fühlers, ein nachgeschalteter temperaturstabiler Gleichstromverstärker wird dann in die Sättigung getrieben und löst Alarm aus.

3.6.7 Überwachung der Wandtemperatur und des Druckes für den Versuchskessel

Bei Brandversuchen mit großen Natriummengen ist eine Kühlung des Versuchskessels erforderlich. Zur Überwachung der Wandtemperatur innerhalb des Versuchskessels ist im unteren, mittleren und oberen Teil des Versuchskessels jeweils ein Thermoelement um 120° versetzt angebracht. Die Signale werden Meßverstärkern zugeführt, die Temperaturen können an Instrumenten mit Grenzwertkontakten an der Hauptschaltwarte abgelesen werden. Wird ein Grenzwert überschritten, erfolgt Alarm.

Ein am Kesselflansch angebrachter Druckaufnehmer mit nachfolgendem Verstärker gibt sein Signal an ein Anzeigeelement mit Grenzwertkontakt. Wird der Grenzwert überschritten, erfolgt Alarm. Das Alarmsystem ist logisch mit dem Gesamtsystem der Anlage verknüpft. Bei Alarmauslösung wird automatisch die Sauerstoffzufuhr zum Versuchskessel mit einem Schnellschlußventil unterbunden.

3.6.8 Brandüberwachung der Betriebsräume

Die in den Betriebsräumen der FAUNA-Anlage installierten Rauchmelder sind über eine Zentrale an das Alarmnetz des Kernforschungszentrums angeschlossen. Über Relais sind dann die einzelnen Meldeleuchten in der Hauptschaltwarte angekoppelt. Eine Brandmeldung kann auf diese Weise sofort lokalisiert werden.

3.6.9 Die Notstromversorgung

Der Generator der Notstromanlage ist eine Drehstrommaschine mit einer maximalen Leistung von 5 KVA. Durch den dreiphasigen Abgang können auch die Drehstrommotoren der Na-Ventile angetrieben werden. Die Notstromanlage versorgt folgende Anlagenteile: Schaltwarten, Na- und Gasventile, Rauchmelder, Notbeleuchtung und Notstromsteckdosen. Diese Steckdosen sind durch rote Abdeckungen gekennzeichnet. Der Generator wird durch einen 2-Takt-Motor angetrieben. Bei Ausfall des Stromnetzes oder einer Phase startet die Anlage selbsttätig. Die hierfür erforderliche Zusatzeinrichtung ist auf Abb. 13 ersichtlich. Eine separate Leitung zum Betriebsschalter der Hauptschaltwarte sperrt den selbsttätigen Anlauf der Notstromanlage, wenn die Hauptschaltwarte außer Betrieb ist.

Funktionsbeschreibung der Notstromanlage:

Die Relais (Re 1 bis Re 3) sind Teil des Phasenausfallschutzes. Die zugehörigen Relaischalter fallen ab, wenn eine Phase oder das gesamte Versorgungsnetz ausfallen; die gespeicherte Ladung am Kondensator (C1) wird dann kurzgeschlossen, Transistor (T1) sperrt und die Relais (Re 4 und Re 5) fallen ab. Über Relaischalter (Re 5a) fällt der Schütz (S1) ab und trennt das Versorgungsnetz vom Verbraucher. Die Hilfskontakte an den Schützen (S1 und S2) sorgen für eine sichere Verriegelung. Relaischalter (Re 5b) trennt die Batterie vom Ladegerät und schaltet die Zündung ein und versorgt außerdem die Elektronik für den Anlasser mit Strom. Transistor (T2) schließt das Relais (Re 6). Über Relaischalter (Re 6b) wird der Anlasser betätigt. Ist der Motor des Stromerzeugers angesprungen und der Generator liefert eine Spannung von etwa 200 V, schaltet der Transistor (T2) wieder ab; Relaischalter (Re 6b) schaltet den Starter ab, Relaischalter (Re 6a) schaltet über Relaischalter (Re 5c) den Schütz (S2) und damit den Verbraucher an die Notstromversorgung.

Ist das Versorgungsnetz wieder betriebsbereit, schaltet der Transistor (T1) nach Ablauf der Zeitkonstante ($R = 500 \text{ k-Ohm}$ und $C = 47 \text{ Mikrofarad}$) die Relais (Re 4 und Re 5) durch. Über Relaischalter (Re 5c) wird über Schütz (S2) der Verbraucher von der Notstromanlage getrennt. Relaischalter (Re 5b) schaltet die Zündung der Antriebsmaschine aus und auch die Stromversorgung für die Elektronik des Anlassers; die Batterie wird wieder an das Ladegerät geschaltet. Relaischalter (Re 5b) schaltet den Schütz (S1); dieser schaltet den Verbraucher wieder an das Versorgungsnetz.

Übersicht:

- A 1. Anordnung der Logik
- A 1.1. Steuerung der Na-Ventile
- A 1.2. Kontrolle der Ventilstellungen
- A 1.3. Steuerung der Gasventile
- A 1.4. Rückmeldung der Ventilstellung für Gasventile
- A 1.5. Schutzgasversorgung
- A 1.6. Die Hauptsteuerkarte
- A 1.7. Der Alarmgeber
- A 1.8. Der Wassermelder

A 1. Anordnung der Logik

Die Logik für die FAUNA-Anlage ist mit LSL-Bausteinen (Low-Speed-Logik) der Firma Siemens ausgestattet. Diese Bauserie ist gegen Funkenstörungen, hervorgerufen durch Schaltschütze usw. weitgehend immun und gewährleistet dadurch erhöhte Betriebssicherheit. Trotz der verschiedenen Funktionen der einzelnen Natriumventile sind die zu jedem der Ventile gehörenden Logikkarten identisch. Durch unterschiedliches Belegen der Anschlußpunkte können somit leicht spezifische Funktionsmerkmale erreicht werden. Die zentrale Steuereinheit ist die Hauptsteuerkarte. Nachfolgend werden die Logikkarten und deren Funktionen genau beschrieben.

A 1.1. Steuerung der Natriumventile

Abb. 1 a zeigt die Steuerung eines Natrium-Ventils mit dazu angeordneter Logik-Karte. Das NAND-Gatter (1a) schaltet das Relais (Re1) nur dann ein, wenn alle Eingänge auf "H" liegen. Das ist der Fall, wenn an Pkt. 2 die minimale Betriebstemperatur zum Betrieb der Na-Ventile erreicht ist. Diese Meldung wird vom Scanner gegeben. Ist der Hauptschalter der Hauptschaltwarte eingeschaltet, liegt dieses Signal an Pkt. 3 an. Ein Schnellablass des Natriums aus der Na-Brandpfanne muß vor allen anderen Funktionen stets Vorrang haben. Einige Ventile müssen dabei geschlossen bleiben oder schließen, andere Ventile müssen offen bleiben bzw. öffnen, deshalb ist für den Schnellablass auf der Logik-Karte jeweils ein vorrangiger Anschluß zum schließen (Pkt. 5) und zum öffnen (Pkt. 6) angebracht.

Fall 1: Das Na-Ventil ist geschlossen und muß durch Na-Schnellablass geöffnet werden: Eing. Pkt. 9 "H" — Gatter 2c, "L" — Gatter 2b, "H" — Gatter 2a, "L" — Gatter 1a, das Na-Ventil ist durch den Ventilschalter geschlossen. Der Na-Schnellablass bewirkt Eing. 6 "L" — Gatter 2a, "H" — Gatter 1a, das Na-Ventil öffnet obwohl der Ventilschalter ausgeschaltet ist.

Fall 2: Das Na-Ventil ist offen und muß durch den Na-Schnellablass geschlossen werden: Eing. 5 "L" — Gatter 1a, "H" — Relais (Re1) Ventil schließt immer, unabhängig von anderen Logik-Zuständen. Das Relais (Re1) schaltet die Schütze (r und l) für Rechts- und Linkslauf des Antriebsmotores. Die Verriegelung über die Hilfsschalter gewährleistet immer nur eine Antriebsrichtung.

A 1.2. Kontrolle der Ventilstellungen

Durch den Kontrollschalter (f) an der Hauptschaltwarte kann die Ventilstellung

kontrolliert werden, ohne die Hauptschaltwarte einzuschalten. Ist bei ausgeschalteter Schaltwarte ein Ventilschalter gedrückt worden und das Ventil ist geschlossen, so wird dieses als ein Fehlerzustand durch Blinken der Leuchten am Ventilschalter gemeldet. Die Logik für diesen Vorgang ist auf der rechten Seite auf Abb. 8 ersichtlich. Die Impulse vom Blinkgeber (Eing. 11) ziehen das Relais (Re 2) nur dann an, wenn der Ausgang des Gatters (1b) nach "L" geht. Das ist nur dann der Fall, wenn die Stellung des Ventilschalters und die Stellung des Ventilendschalters nicht übereinstimmen.

A 1.3. Steuerung der Gasventile

Auch hier ist, wie bei den Natriumventilen die Logik so aufgebaut, daß der Natriumschnellablass stets Priorität vor allen anderen Ansteuerungen hat. Abb. 2a zeigt die Steuerung der Gasventile. Durch Betätigung des Tasters (T) wird über das als Schalt-Flip-Flop geschaltete Gatter (3c, 3d) der FF 1 gekippt, "H x H" am Eingang von Gatter 2b, "L" — Gatter 2a, "H" — Gatter 1a, "L" — Gatter 2d, "H" — Gatter 1b, "L" — Transistor (T1), Relais (Re 1) zieht an und aktiviert das Magnetventil. Liegt bei Natriumschnellablass der Eingang (5) auf "L", so ist die UND-Bedingung am Gatter 1a nicht mehr erfüllt, der Ausgang von Gatter 1b ist auf "H", das Relais (Re 1) fällt ab, damit schließt das Magnetventil. Ist ein zeitweise offenes Gasventil beim Natriumschnellablass erforderlich, so liegt dann "L" am Eingang (6), von Gatter 2a "H" — Gatter 1a, die UND-Funktion am Gatter 1a ist erfüllt, das Ventil öffnet. Die Steuerung des Natriumschnellablasses erfolgt von der Hauptsteuerkarte. Der Flip-Flop (FF 1) wird auch von dieser über die Gatter 4a und 4b zurückgesetzt. Eine automatische Rücksetzung des Flip-Flops (FF 1) erfolgt auch immer beim Einschalten der Hauptschaltwarte, so ist sichergestellt, daß alle Gasventile nach dem Einschaltvorgang der Hauptschaltwarte geschlossen sind.

A 1.4. Rückmeldung der Ventilstellung für Gasventile

Da an den Magnetventilen keine Endschalter zur Rückmeldung vorhanden sind, muß die Rückmeldung durch Stromfluß durch die Magnetspule des Ventils erfolgen. Der Strom fließt dann auch über den Widerstand (R 1), der Transistor (T 2) wird durchgesteuert, das Relais (Re 2) zieht an, die grüne Leuchtanzeige signalisiert, das Ventil ist offen. Bei geschlossenem (stromlosen) Ventil fällt der Relaischalter ab, die rote Lampe leuchtet auf.

A 1.5. Schutzgasversorgung

Auch bei abgeschalteter Schaltwarte müssen die Natrium-Vorratskessel mit Schutzgas versorgt werden. An den Gasventilen, die außer anderen Funktionen auch an der Schutzgasversorgung beteiligt sind, liegt dann am Eingang (7) der Steuerkarte "L", "L" — Gatter 3b, "H x H" an Gatter 2c (nur bei ausgeschalteter Hauptschaltwarte), "L" an Gatter 2d, "H" an Gatter 1b, der Ausgang "L" von Gatter 1b zieht über den durchgesteuerten Transistor (T1) das Relais (Re1) an, und das Ventil öffnet.

A 1.6. Die Hauptsteuerkarte

Die Zentrale für die Logik der Steuer- und Sicherheitsfunktionen ist die Hauptsteuerkarte, Abb. 3a. Liegt einer der Alarmeingänge (1 bis 4) auf "L", so schließt Relaisschalter (29, 30), der Alarm wird ausgelöst. Wird die Natrium-schnellablasstaste gedrückt, laufen alle hierzu erforderlichen Steuerfunktionen automatisch ab. Zur weiteren Übersicht hierzu dienen das Fließschema Abb. 3 und die Ventilsteuerung der FAUNA-Anlage Abb. 12. Die einzelnen Zeitabläufe erfolgen jeweils über die Mono-Flops Z1 bis Z6 (Abb. 3a). Wird die Na-Schnellablasstaste betätigt, so ist zunächst Z1 in Tätigkeit. Dieser Mono-Flop bleibt während des gesamten Na-Schnellablasses gekippt. Über Gatter 2c und dem nachgeschalteten Transistor BD 650 gibt das Relais das Rückmeldesignal zur Leuchtanzeige für den Na-Schnellablass. Alle Na- und Gasventile werden zunächst geschlossen, das Sauerstoffschnellschlußventil wird ebenfalls geschlossen, damit wird weitere Sauerstoffzufuhr sofort unterbunden, so daß der Natriumbrand an Intensität abnimmt. Sind alle Gas- und Na-Ventile geschlossen, liegen alle Eingänge (10-17) der Gatter 3a und 3b auf "H" und damit auch alle Eingänge am Gatter 4c. Die UND-Bedingung ist erfüllt, der entstehende Triggerimpuls setzt Z2 in Tätigkeit, das Gasventil G3 öffnet und läßt vorhandenen Schutzgasdruck von Na-Vorratskessel 2 ab (Abb. 3).

Dieser Kessel bleibt normalerweise leer und ist nur für den Na-Schnellablass verfügbar. Nach Ablauf von Z2 triggert die Rückflanke Z3. Über Gatter 5d wird das Ventil G8 geöffnet, der Transistor BD 650 wird durchgeschaltet und die Vakuumpumpe läuft an; über Gatter 6b und 6c wird auch das Ventil G4 geöffnet, das Ventil G3 ist wieder geschlossen. Jetzt entsteht im Na-Vorratskessel (2) ein Unterdruck. Mit Z3 läuft auch Z4 an, über Gatter 6d öffnen sich die Na-Ventile N2, N4 und N5, jetzt wird durch die Heberwirkung das Natrium aus der Na-Brandpfanne abgelassen. Nach Ablauf von Z4 triggert die Rückflanke Z5. Die

Ventile N2, N4 und N5 schließen wieder, Ventil G7 öffnet und versorgt den Na-Kessel (2) wieder mit Schutzgas. Der Vorgang des Na-Schnellablasses ist damit beendet. Die Kippzeiten der einzelnen Mono-Flops sind jeweils im Schaltschema angegeben. Z6 ist ein Reset-Mono-Flop und hat eine zusätzliche Sicherheitsaufgabe. Bei Einschalten der Schaltwarte werden hiermit alle Zähler zurückgesetzt, so daß ein unbeabsichtigtes Einsetzen des Na-Schnellablasses vermieden wird.

A 1.7. Der Alarmgeber

Die Alarmanlage liefert außer einem akustischem Signal (Horn) auch ein Blinksignal. Die hierzu bestimmten gelben Blinkleuchten sind in der 1. Etage und im Na-Schaltraum angebracht. Während das Signalhorn durch eine an der Schaltwarte angebrachte Quittiertaste gelöscht werden kann, bleiben die Blinkleuchten in Tätigkeit bis der entsprechende Fehler beseitigt ist und damit der Alarmzustand aufgehoben ist. Zur Steuerung hierzu dient die Alarmsteuerkarte (Abb. 4a).

Liegt an einem Eingang (C-H) ein Alarmzustand "L", so triggert die astabile Kippstufe AFF1 und schaltet über den Transistor BD 650 das Relais (Re1) im Rhythmus der Ausgangsimpulse, die Blinkleuchten sind in Tätigkeit. Weiterhin wird "L" an den Ausgang (K) gegeben, das Sauerstoffschnellschlußventil wird geschlossen. Gatter 2a und 2d sind zu einer monostabilen Kippstufe zusammengeschaltet und setzen den Flip-Flop (FF), der Ausgang Q geht auf "L", der Transistor BD 650 wird durchgesteuert, über das Relais (Re 2) wird das Alarmhorn betätigt. Die Löschung des Alarmhorns erfolgt über Eingang (U) über das Relais (Re 3). Gatter 3a ist als ODER-Gatter geschaltet und setzt über das Gatter 3b den Flip-Flop (FF) zurück, damit liegt der Ausgang (Q) auf "H", der nachfolgende Transistor sperrt, das Relais (Re 2) fällt ab. Damit beim Einschalten der Schaltwarte ein Fehlalarm vermieden wird, bekommt der Mono-Flop (MF) einen Kippimpuls, über Gatter 3c wird dem ODER-Gatter 3a dann "L" zugeführt, die automatische Rücksetzung erfolgt.

A 1.8. Der Wassermelder

Am tiefsten Punkt des Versuchskessels ist der Fühler für den Wassermelder angebracht. Als Fühler dient ein neunpoliger Schraubflansch. Die Vergußmasse wurde entfernt und die Pole 1,3,5,7,9 und 2,4,6,8 jeweils in Gruppen zusammengeschaltet. Bei Vorhandensein von Wasser sinkt der elektrische Widerstand zwischen den Polen beträchtlich ab und über einen nachgeschalteten Verstärker wird dann ein Relais angezogen, das Signal wird der Blinkerkarte (Abb. 5a) zugeführt. Der Eingang (5) liegt bei anstehendem Signal auf "L". Gatter 3c und 3d, hier als Mono-Flop ge-

schaltet, geben zunächst einen Setzimpuls zum Flip-Flop (FF1). Die UND-Bedingung wird erfüllt durch "H" von FF1, durch das invertierte Eingangssignal über Gatter 1a, und durch die ankommenden Impulse vom astabilen Flip-Flop (AFF1), dieser ist immer in Tätigkeit bei eingeschalteter Hauptschaltwarte oder wenn der an der Hauptschaltwarte befindliche Kontrollschalter gedrückt ist. Das Signal von Gatter 2b steuert über Transistor (T2) das Relais (Re 2) im Rhythmus der Impulse von AFF1. Das Signalhorn gibt dann einen sequentiell unterbrochenen Alarmton ab. Der akustische Alarm kann durch Quittung beendet werden; über den Eingang (8) wird das FF dann zurückgesetzt. Das Gatter 2a bekommt sein Alarmsignal jedoch weiterhin zugeführt; über Transistor T1 ist das Relais (Re 1) in Tätigkeit und gibt das Alarm-Blinksignal auf die Wassermelder-Blinkleuchte. Dieses Signal erlischt erst, wenn das anstehende Wasser im Versuchskessel entfernt ist.

Bei eingeschalteter Hauptschaltwarte, oder wenn der Kontrollschalter gedrückt ist, läuft der astabile Multivibrator über Gatter 1c, 1d, 3a an. Die Ausgangsimpulse werden den Steuerkarten für die Ventile zugeführt zur Kontrolle der Ventilstellungen.

Das 24V-Netzteil und das 12V-Netzteil für die Anzeigelampen müssen eingeschaltet sein, wenn die Hauptschaltwarte eingeschaltet ist oder bei gedrücktem Kontrollschalter. Die Schaltung geschieht über die Relais (Re 3 und Re 4). Das Gatter 4a ist ein ODER-Gatter und schaltet den Transistor (T3) über Gatter (4b) nur dann durch, wenn einer der beiden Eingänge des ODER-Gatters (4a) auf "L" liegt. Das ist gegeben, wenn der Kontrollschalter eingeschaltet ist (Eing.Pkt.7) oder über das Schalt-Flip-Flop (Gatter 5a und 5b) bei eingeschalteter Schaltwarte.

Literatur

- [1] L. Böhm, S. Jordan
Aerosolerzeugung und Filterverhalten bei Natriumbränden
KfK-2202, November 1975
- [2] R.K. Hilliard
Summary of HEDL Sodium Fire Tests
HEDL-SA-1669 (1978)
- [3] B.U.B. Sarma, F. Hayes, R.C. Thompson
Review of Current Sodium Fire Analytical Methods
GEAP-14148; UC-79P (September 1976)
- [4] A. Alexas
Entwicklung eines Rechencodes zur Beschreibung von Natrium -Spritz-
und Flächenbränden, KfK-2824 (September 1979)
- [5] H. Jordan, W. Schikarski, H. Wild
Nukleare Aerosole in geschlossenen Systemen
KfK-1989 (Oktober 1974)
- [6] S. Jordan
Release of Fission Products from Contaminated Sodium Fires
Proc. of the Int. Meeting on Fast Reactor Safety and Related Physics,
Chicago 1976, Vol. IV, p. 1955
- [7] W. Schütz
UO₂- und Spaltproduktfreisetzung aus Natriumlachen
KfK-3010 (November 1980)
- [8] Nuclear Aerosols in Reactor Safety
CSNI/SOAR No. 1
- [9] H. Bunz
PARDISEKO IIIb; Ein Computerprogramm zur Berechnung des Aerosol-
verhaltens in geschlossenen Behältern, KfK-2903 (April 1980)
- [10] W. Cherdron, S. Jordan
unveröffentlichte Ergebnisse

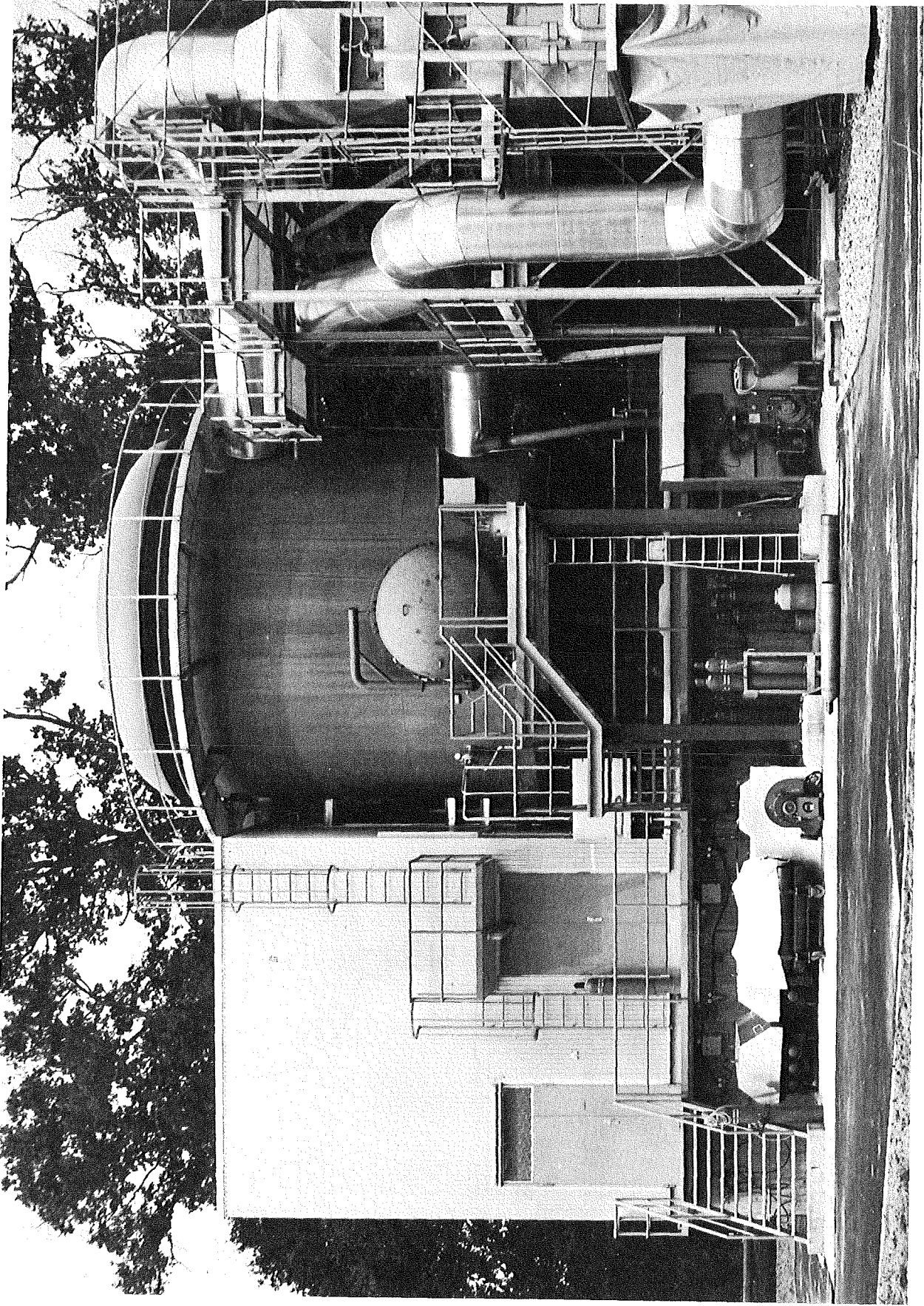


Abbildung 1

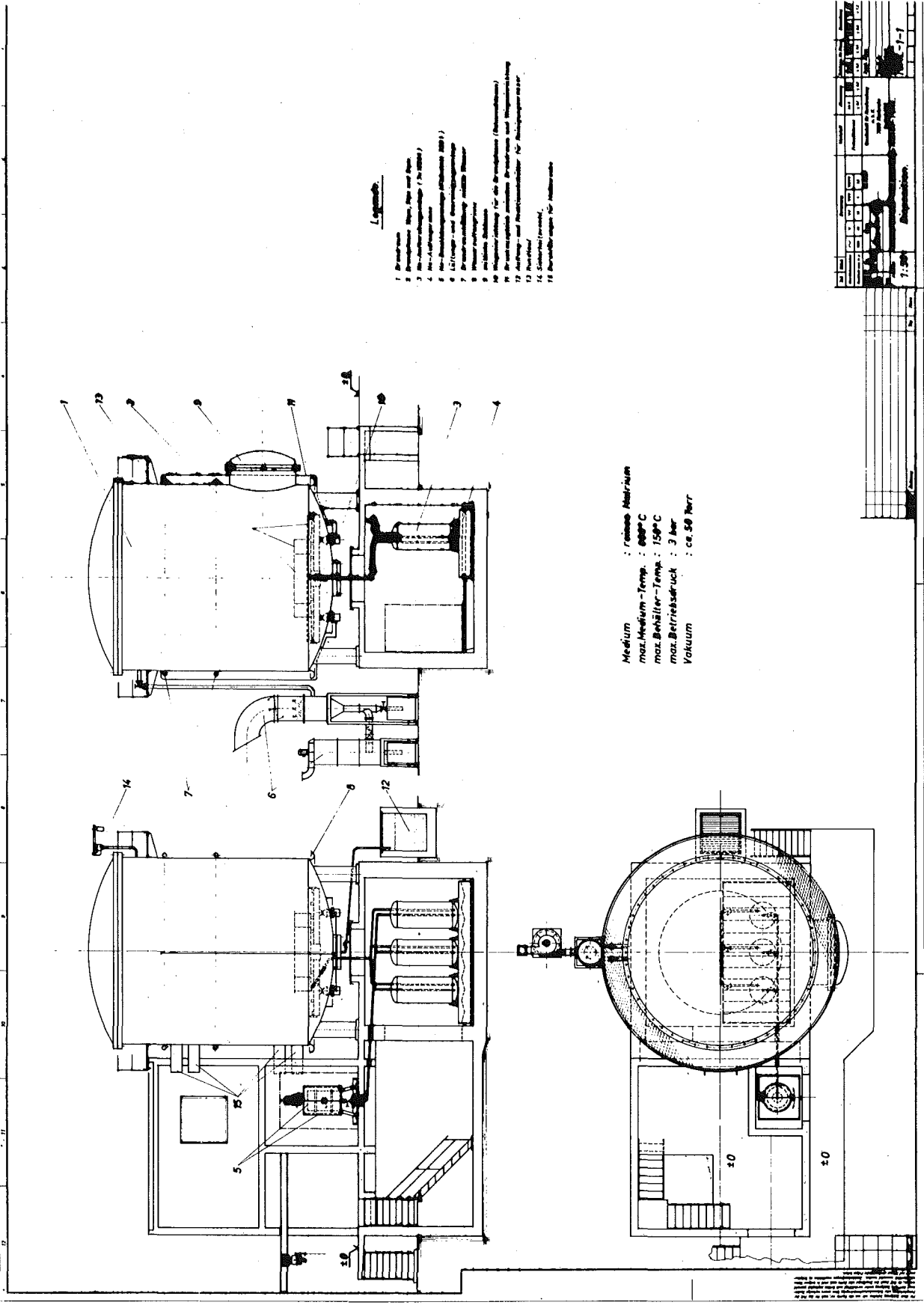
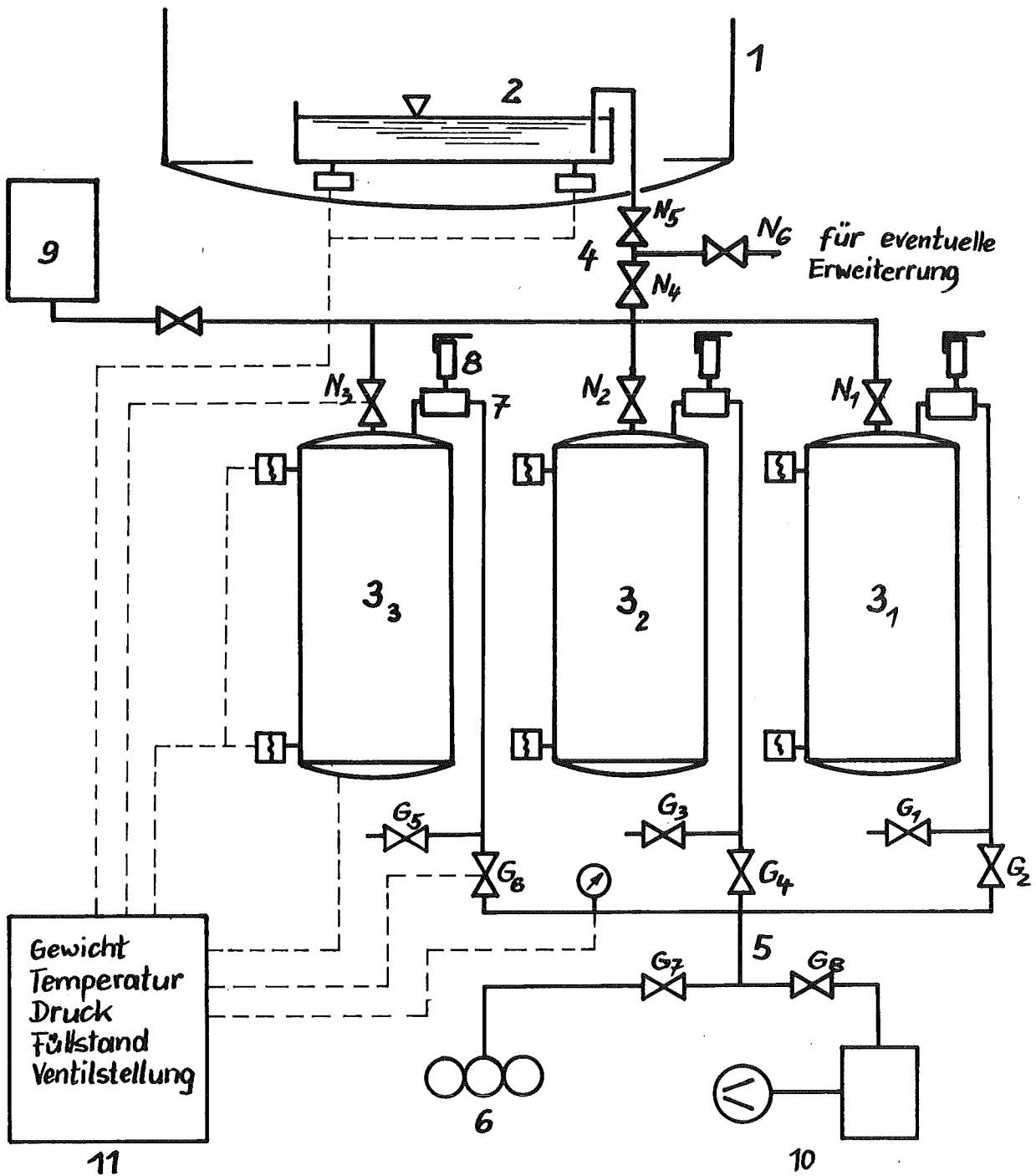


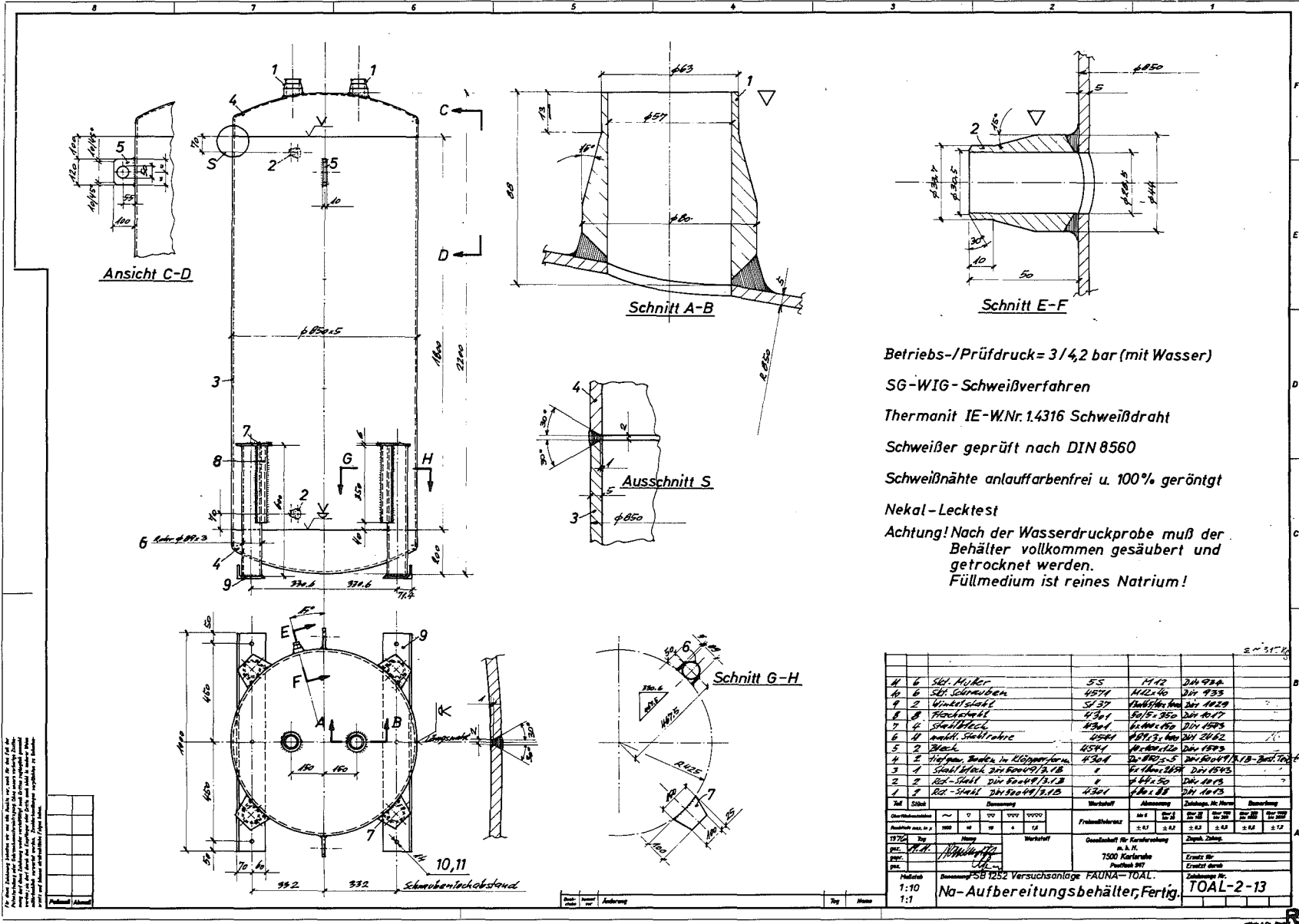
Abb. 2



- | | |
|--|------------------------------|
| 1 Brandkessel | 7 Natriumdampffalle |
| 2 Brandpfanne | 8 Sicherheitsventil |
| 3 Natriumtank (1-3) | 9 Natrium - Einschmelzanlage |
| 4 Natriumventile (N ₁ -N ₆) | 10 Vakuumpumpe - und Kessel |
| 5 Gasventile (G ₁ -G ₈) | 11 Meßwertanzeige |
| 6 Schutzgasstation | |

Natriumanlage ; schematische Darstellung

Abb. 3



Betriebs-/Prüfdruck = 3/4,2 bar (mit Wasser)
 SG-WIG-Schweißverfahren
 Thermanit IE-W.Nr. 14316 Schweißdraht
 Schweißer geprüft nach DIN 8560
 Schweißnähte anlauffarbenfrei u. 100% geröntgt
 Nekal-Lecktest
 Achtung! Nach der Wasserdruckprobe muß der Behälter vollkommen gesäubert und getrocknet werden.
 Füllmedium ist reines Natrium!

Zahl	Stück	Bezeichnung	Werkstoff	Abmessung	Zulieferer, Nr. Norm	Bemerkung
4	6	Stk. Miter	SS	M 12	DIN 934	
10	6	Stk. Schrauben	A4-70	M 12 x 40	DIN 934	
9	2	Winkelstahl	St 37	100x100x10	DIN 1025	
8	8	Flachstahl	St 37	50x5 x 350	DIN 1025	
7	4	Stahlblech	St 37	10x100 x 100	DIN 1025	
6	4	mitl. Stahlrohre	St 37	40x1,3 x 200	DIN 1025	
5	2	Deckel	St 37	463x463	DIN 1025	
4	2	Stg. von Rohren in Abmessungen	St 37	463x463 x 5	DIN 1025	
3	1	Stahlblech für Flansch	St 37	100x100 x 10	DIN 1025	
2	2	Red. Stahl für Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
1	2	Red. Stahl für Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	

Zahl	Stück	Bezeichnung	Werkstoff	Abmessung	Zulieferer, Nr. Norm	Bemerkung
137	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
138	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
139	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
140	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
141	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
142	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
143	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
144	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
145	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
146	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
147	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
148	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
149	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
150	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
151	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
152	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
153	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
154	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
155	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
156	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
157	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
158	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
159	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
160	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
161	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
162	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
163	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
164	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
165	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
166	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
167	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
168	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
169	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
170	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
171	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
172	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
173	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
174	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
175	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
176	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
177	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
178	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
179	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
180	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
181	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
182	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
183	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
184	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
185	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
186	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
187	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
188	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
189	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
190	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
191	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
192	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
193	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
194	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
195	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
196	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
197	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
198	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
199	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	
200	2	Flansch	St 37	463x463	DIN 1025	

Abb. 4

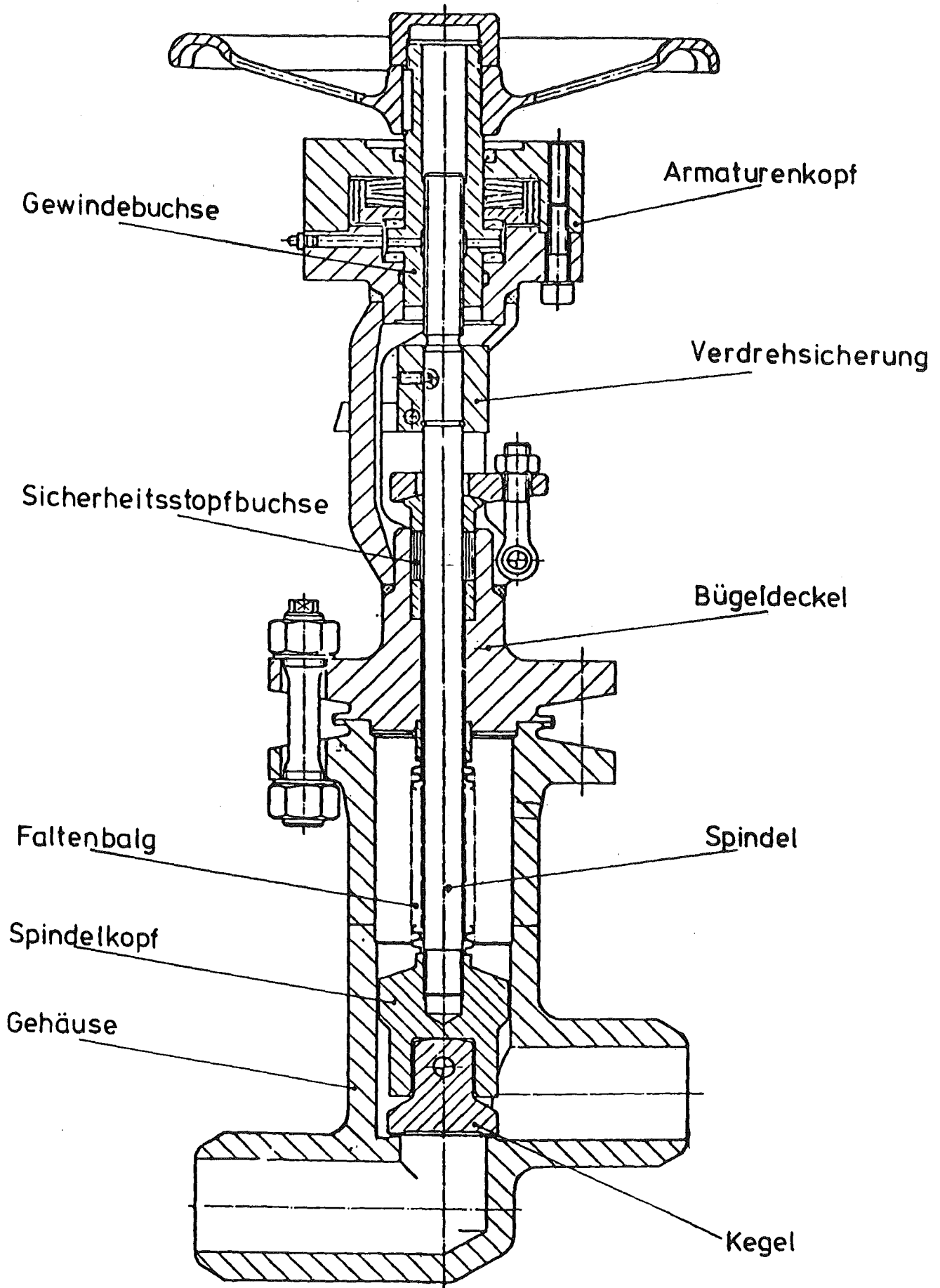


Abb. 5

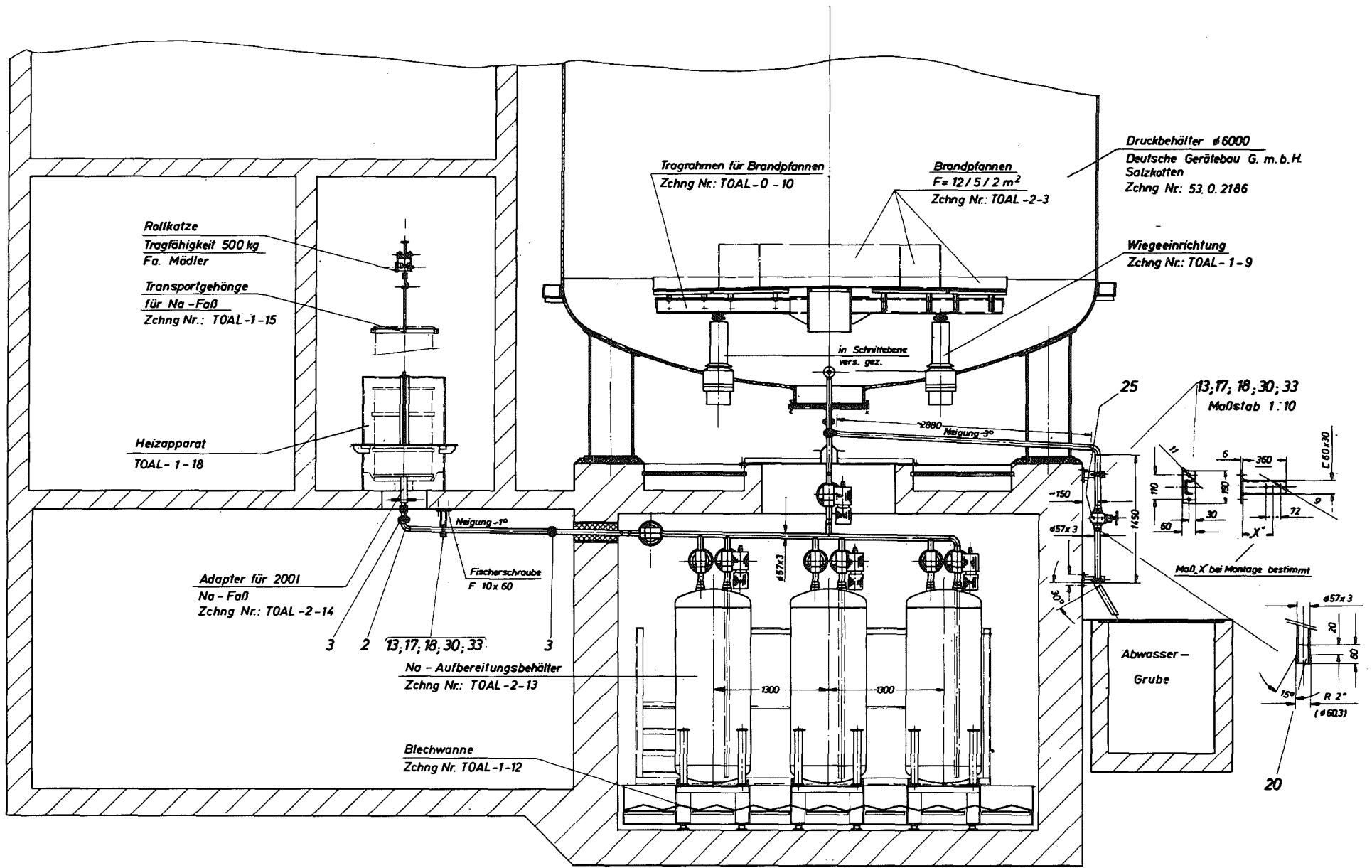


Abb. 6

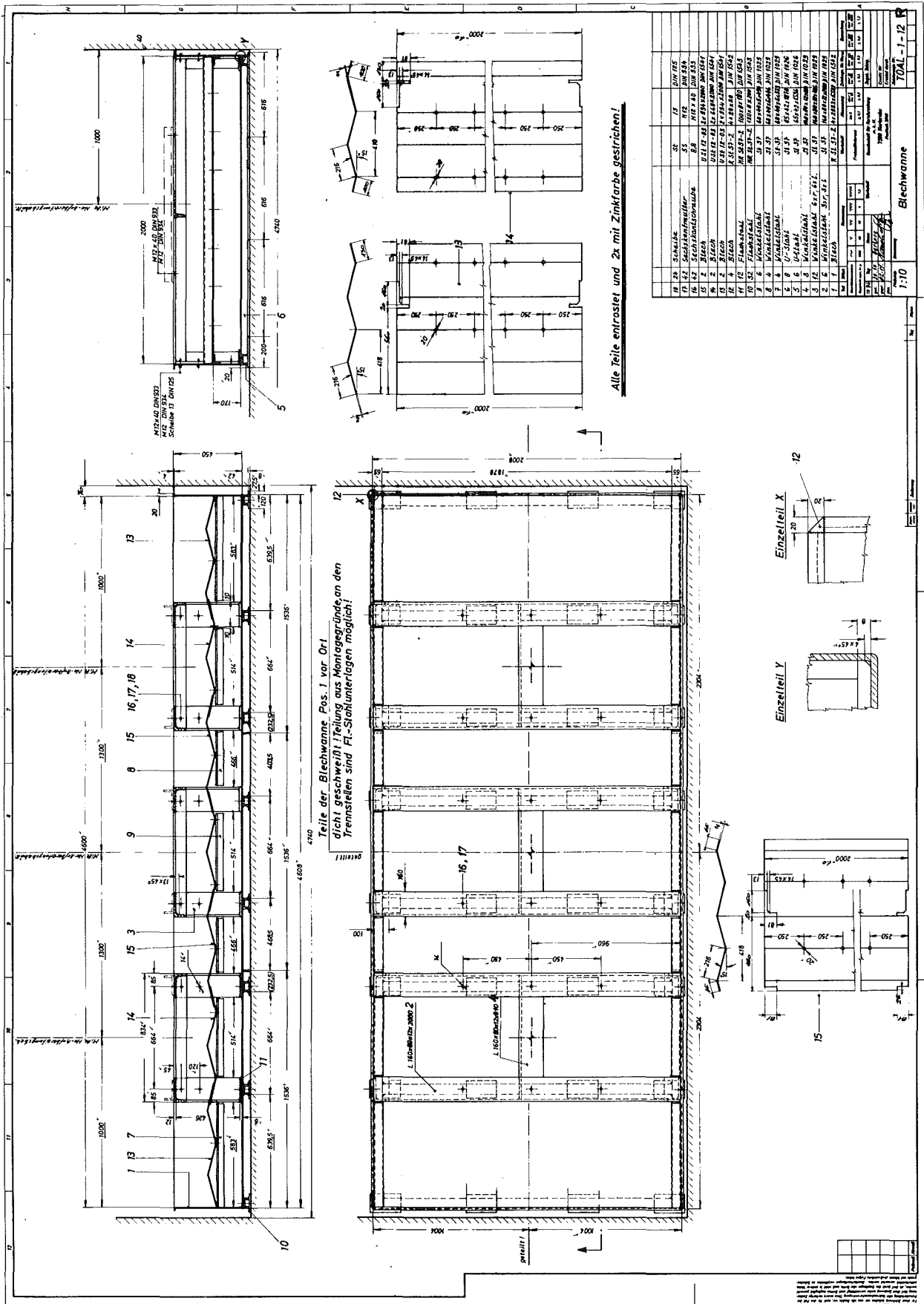
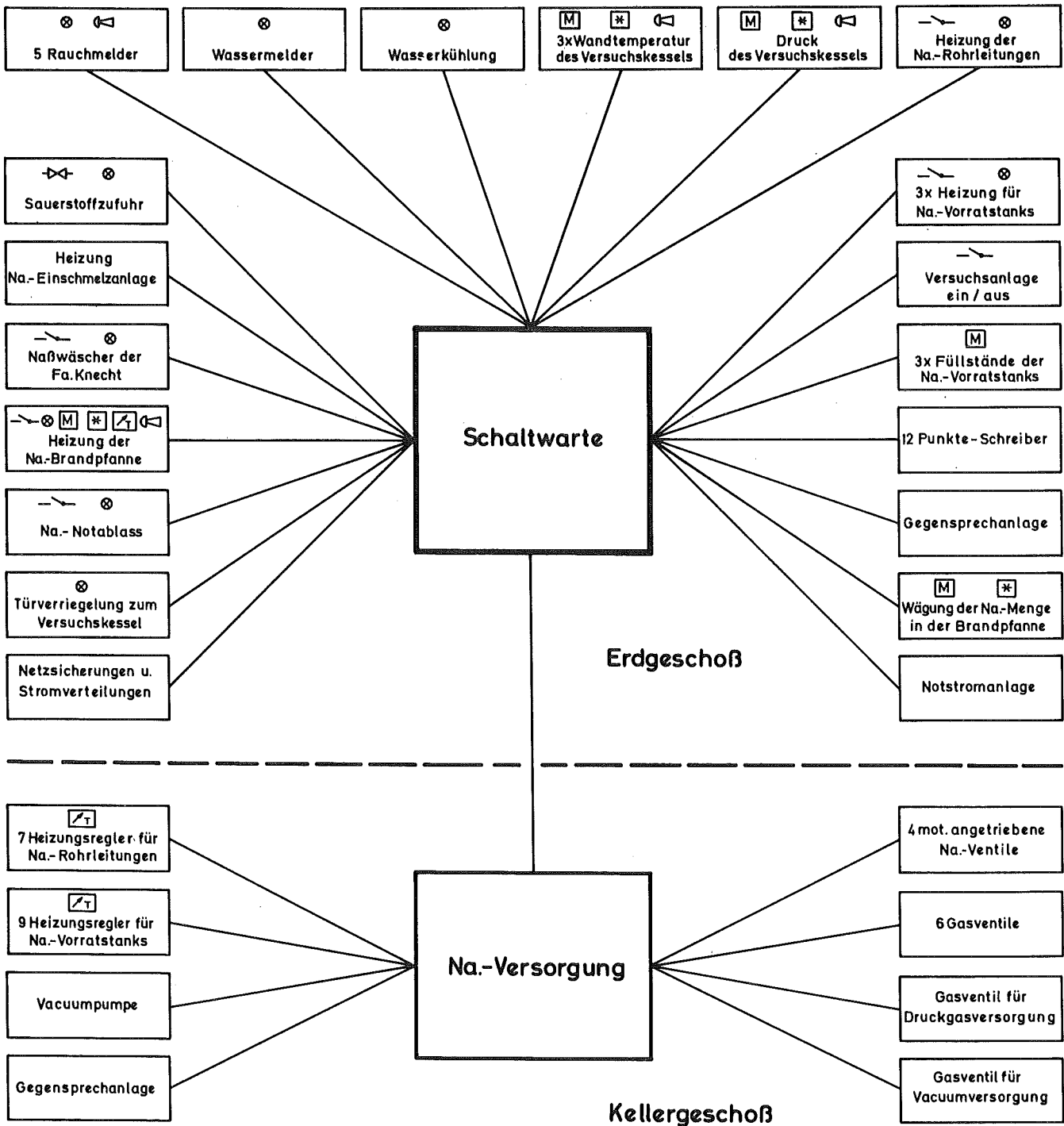


Abb. 7



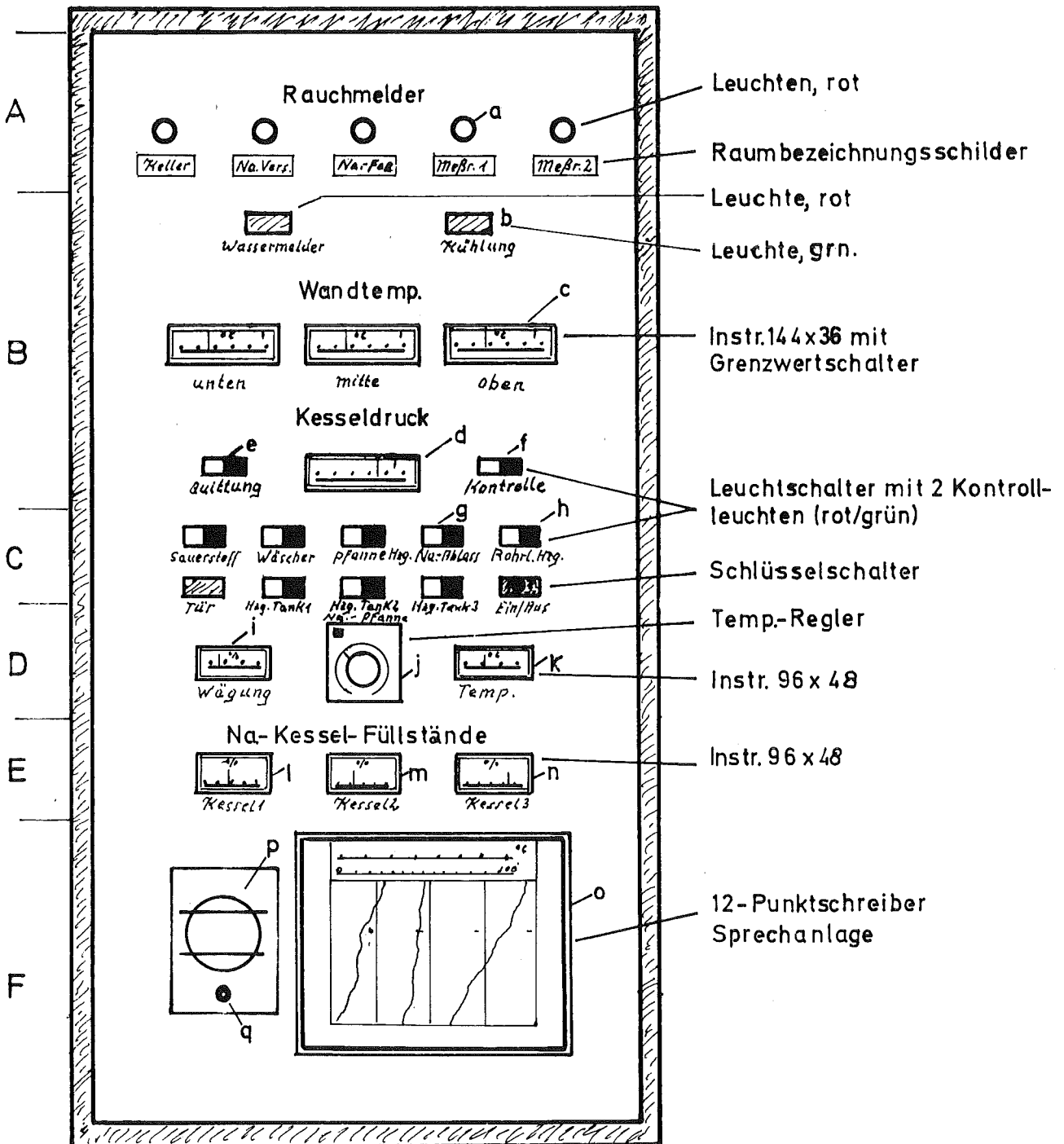
Zeichenerklärung:

- ⊗ Leuchtanzeige
- ↪ Schalteinrichtung
- ⊠ Alarmsignal
- Ⓜ Meßgerät

- ⊠ 12 Punkte-Schreiber
- ⊠ Temperaturregler
- ⊠ Ventil

Gesamtübersicht der elektrischen Anlage zum Betrieb von FAUNA

Abb. 8



Schaltwarte (FAUNA)

Abb. 9

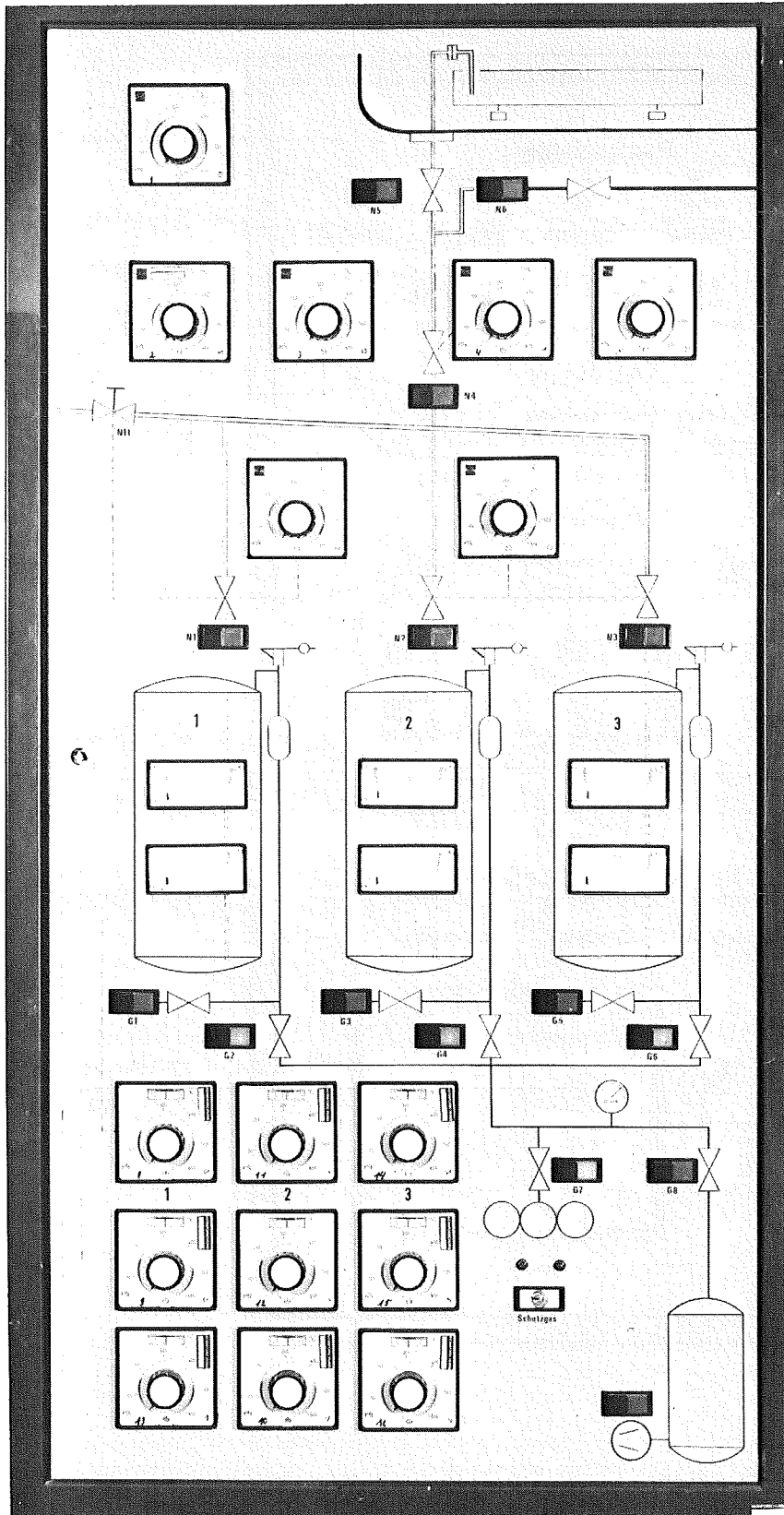
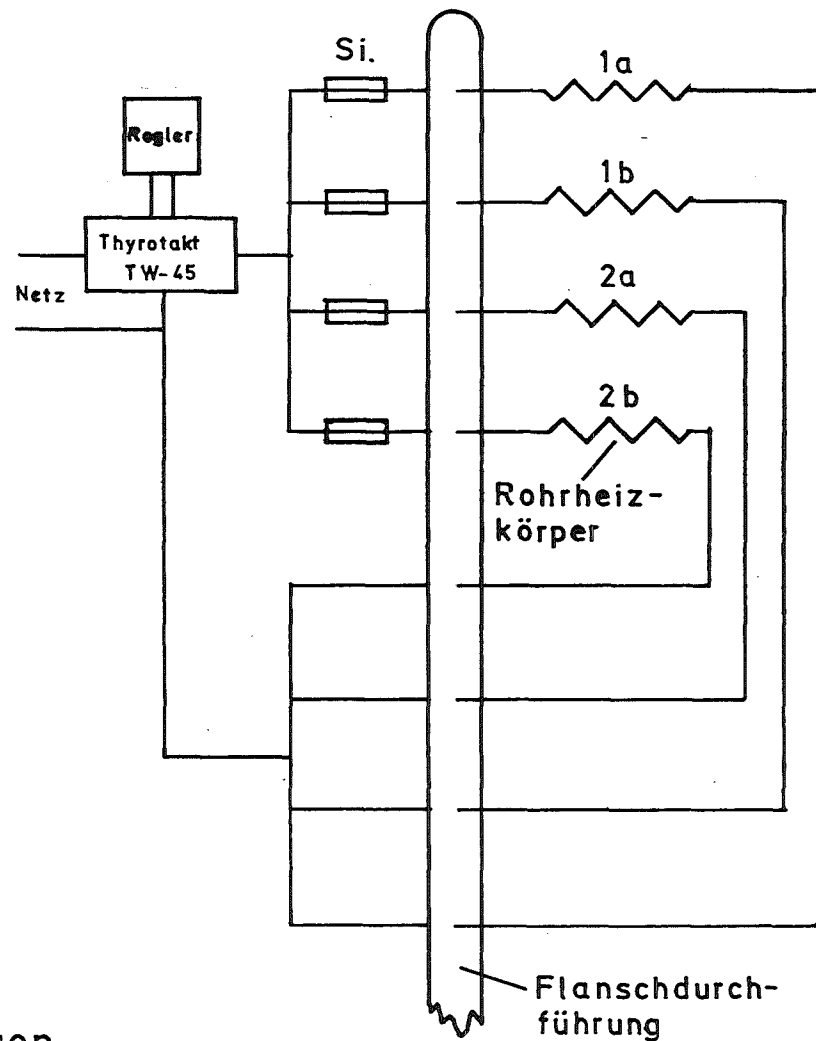
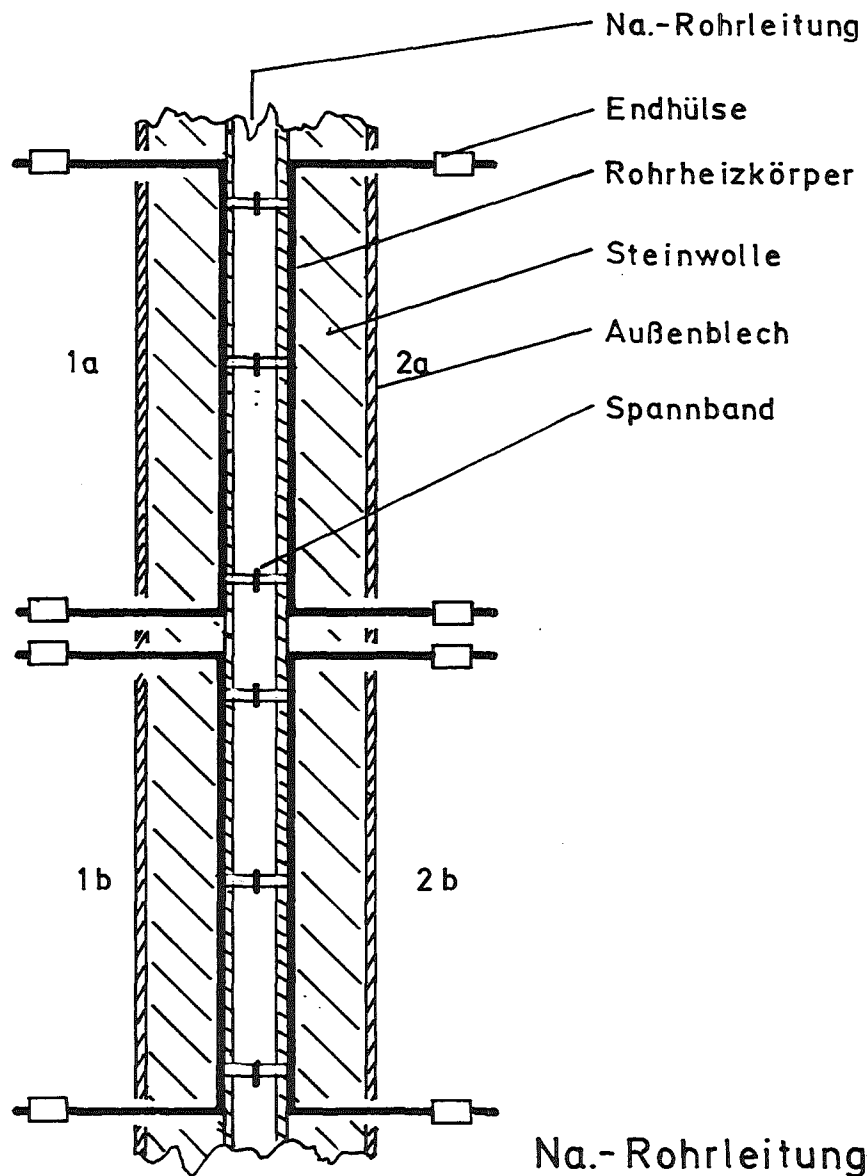


Abb. 10



Na.-Rohrleitungen

Abb.11

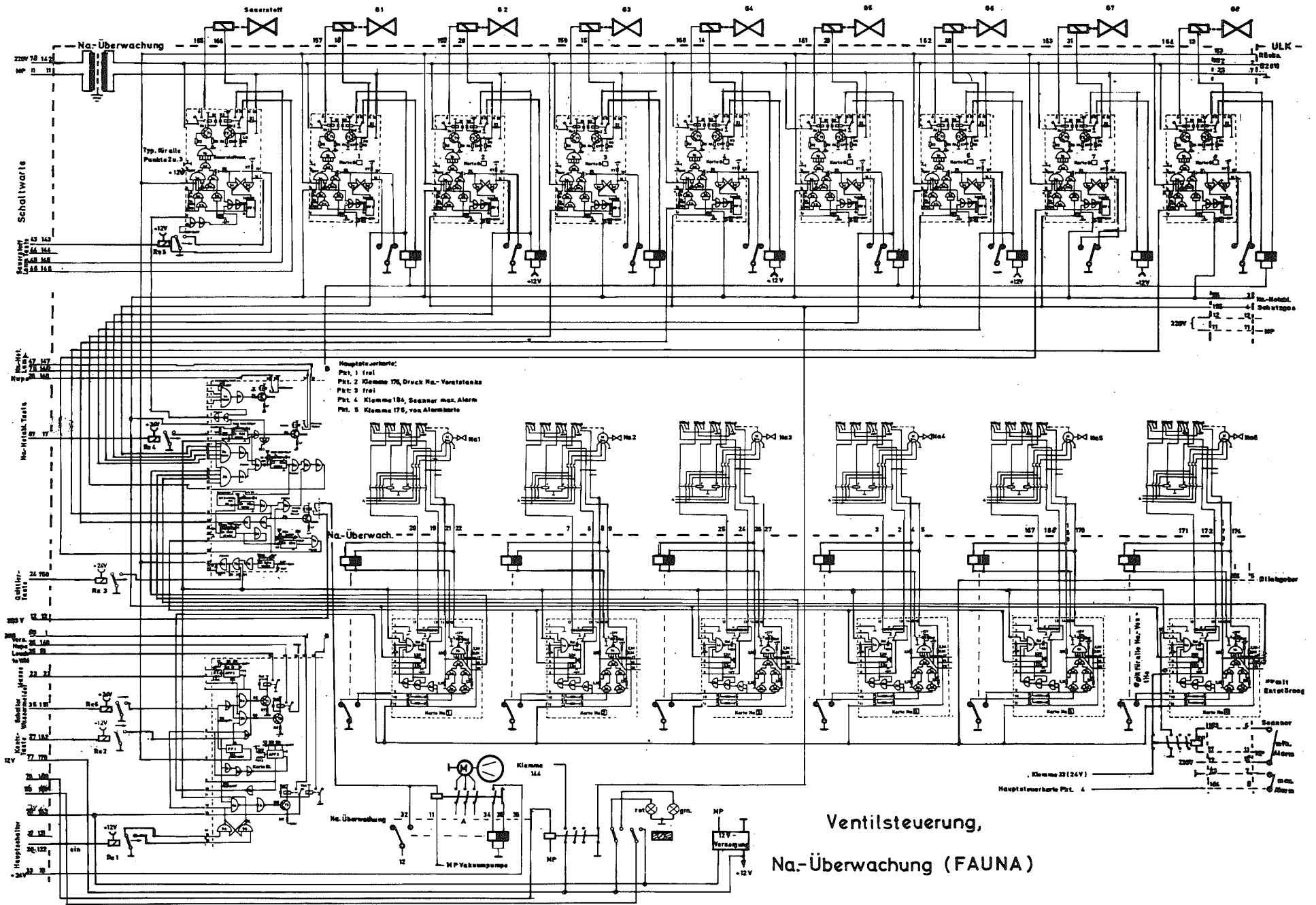
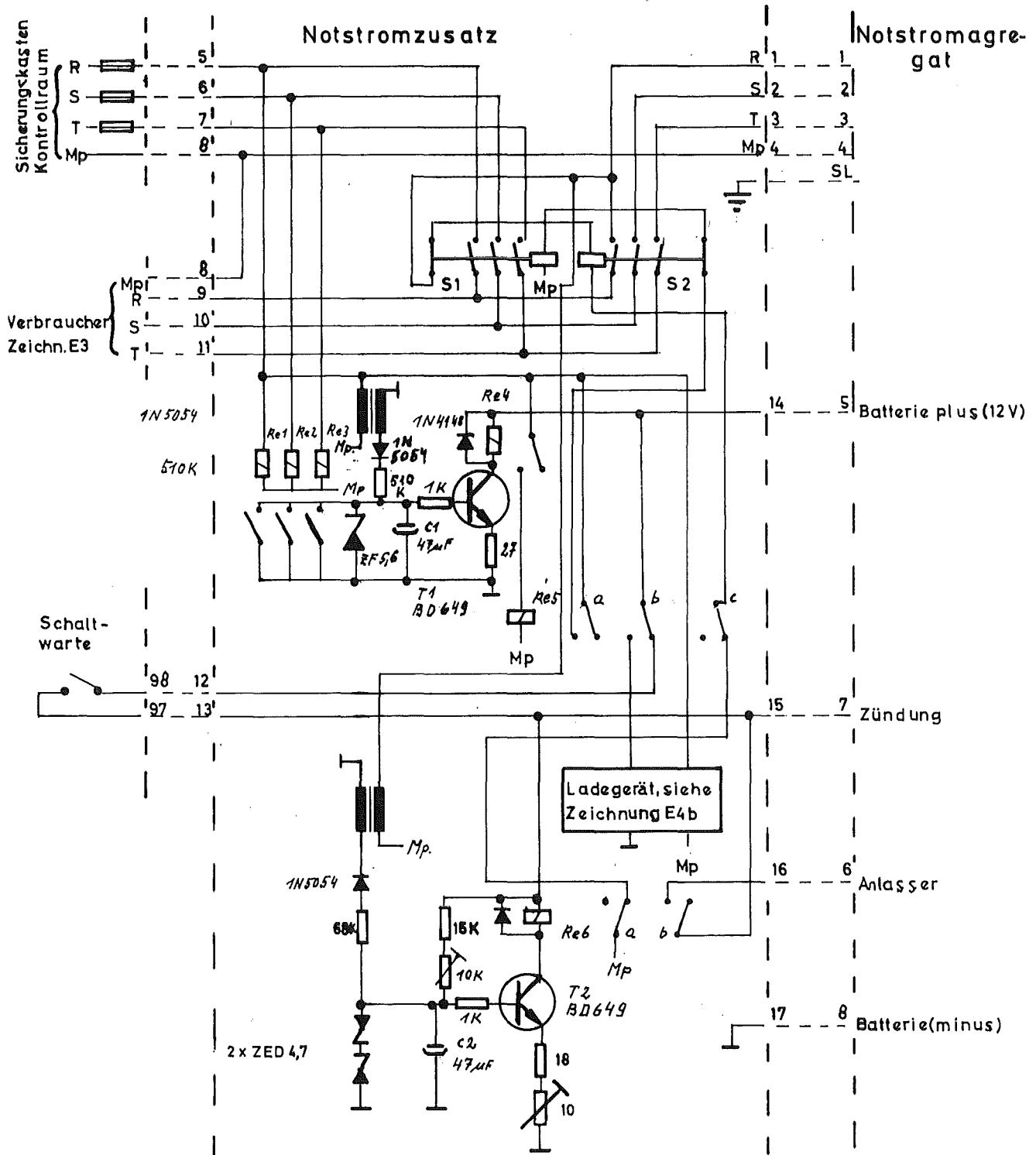
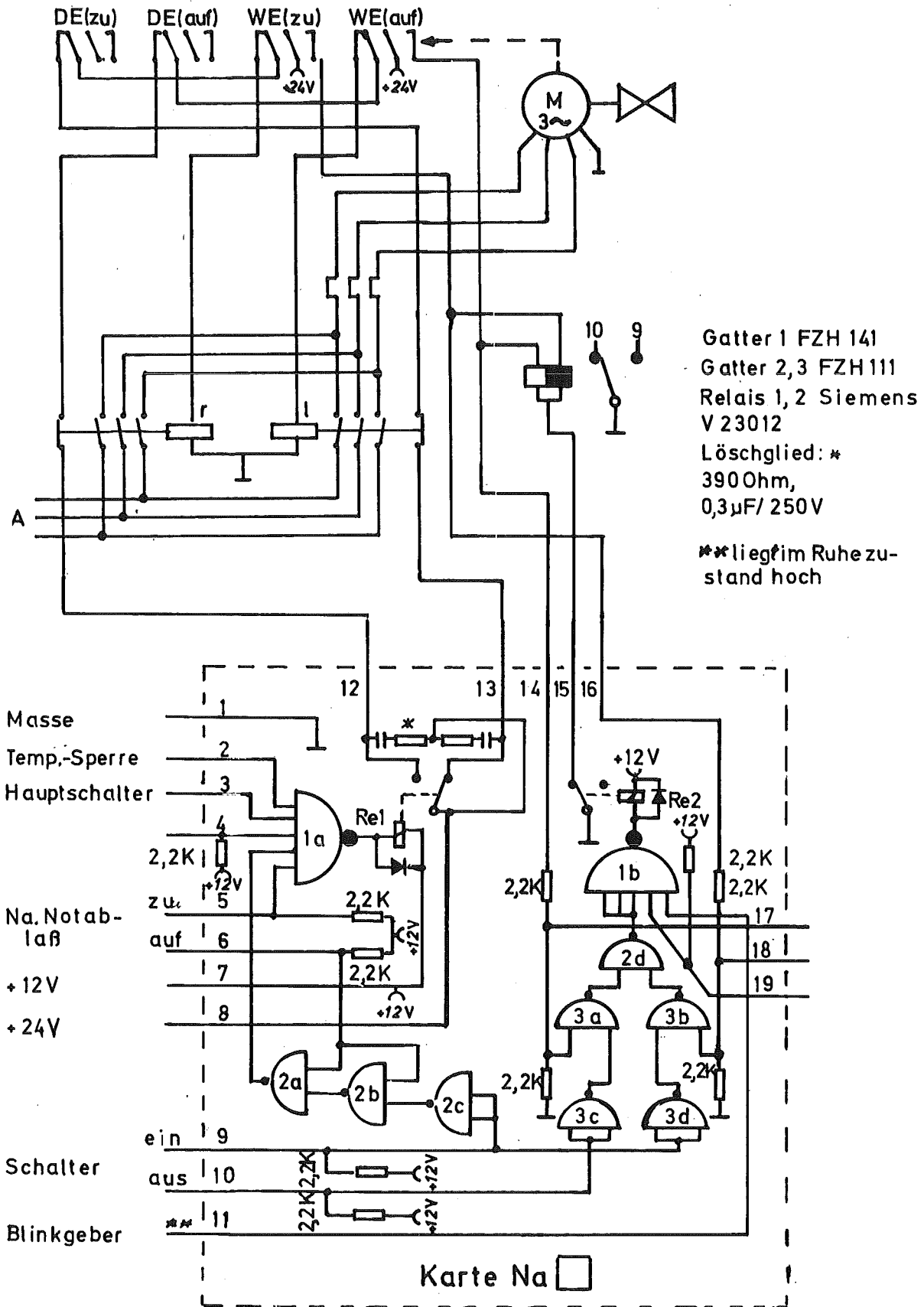


Abb. 12



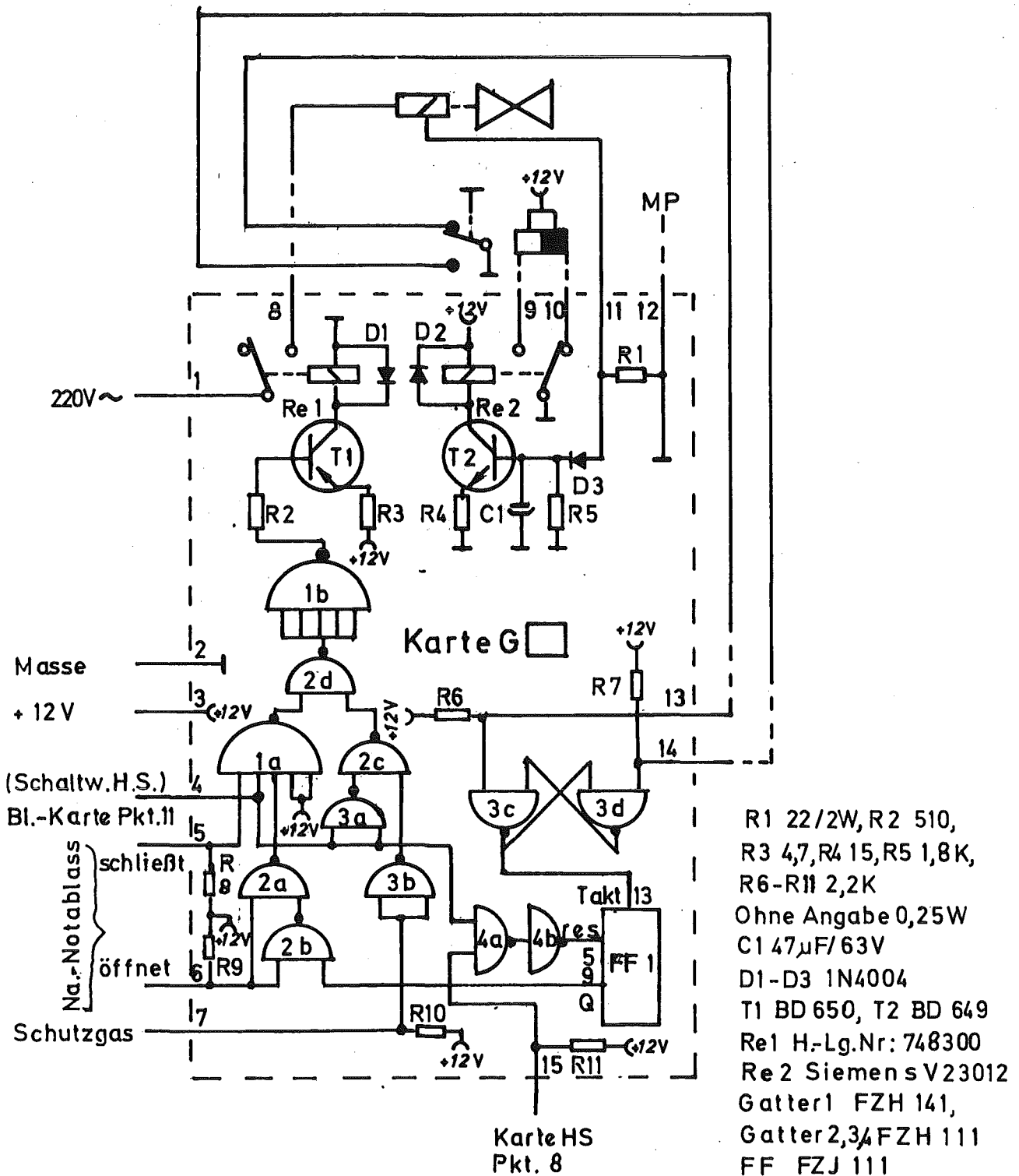
Notstromversorgung (FAUNA)

Abb. 13



Steuerung für Na.-Ventile (FAUNA)

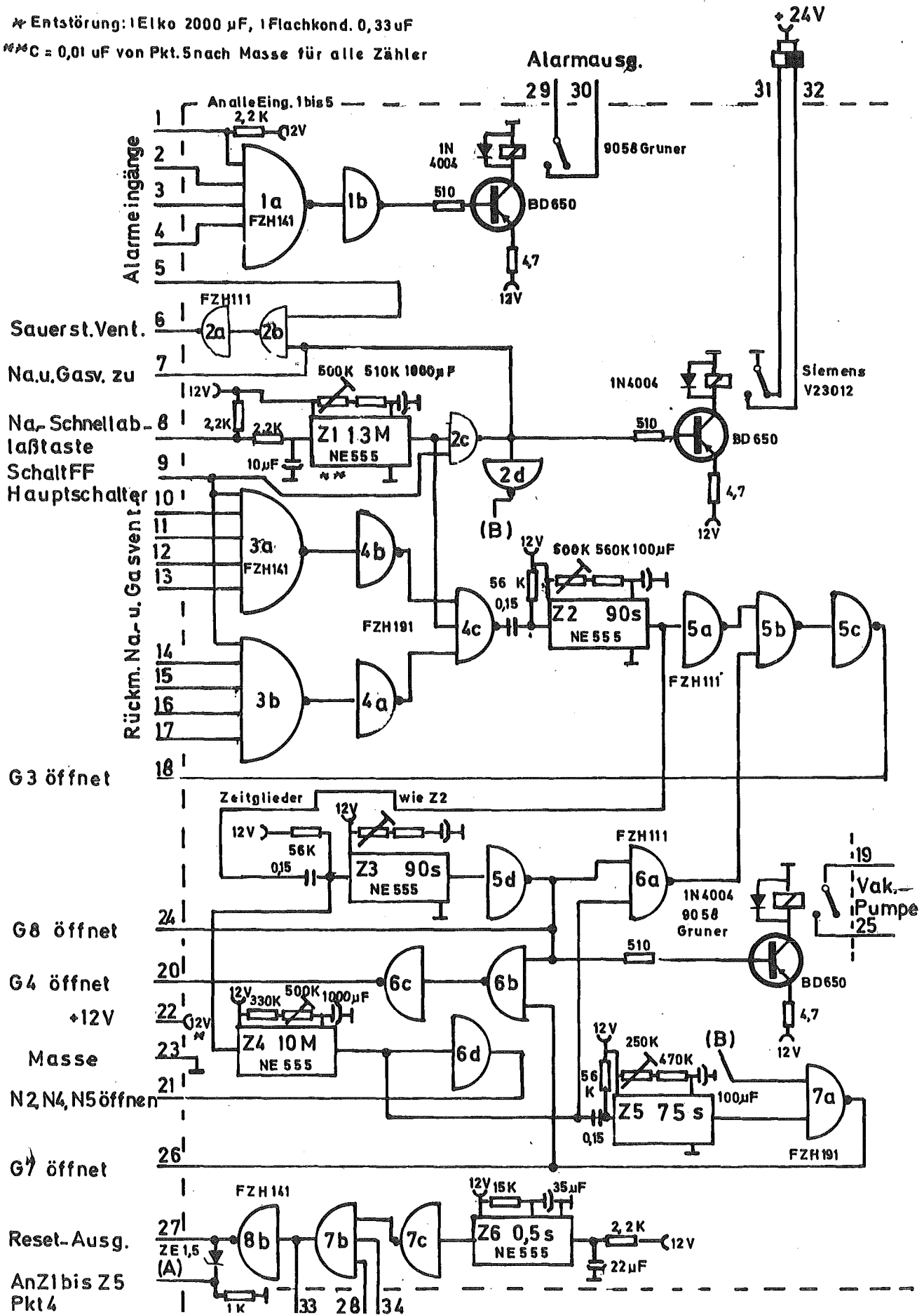
Abb. 1a



Steuerung der Gasventile

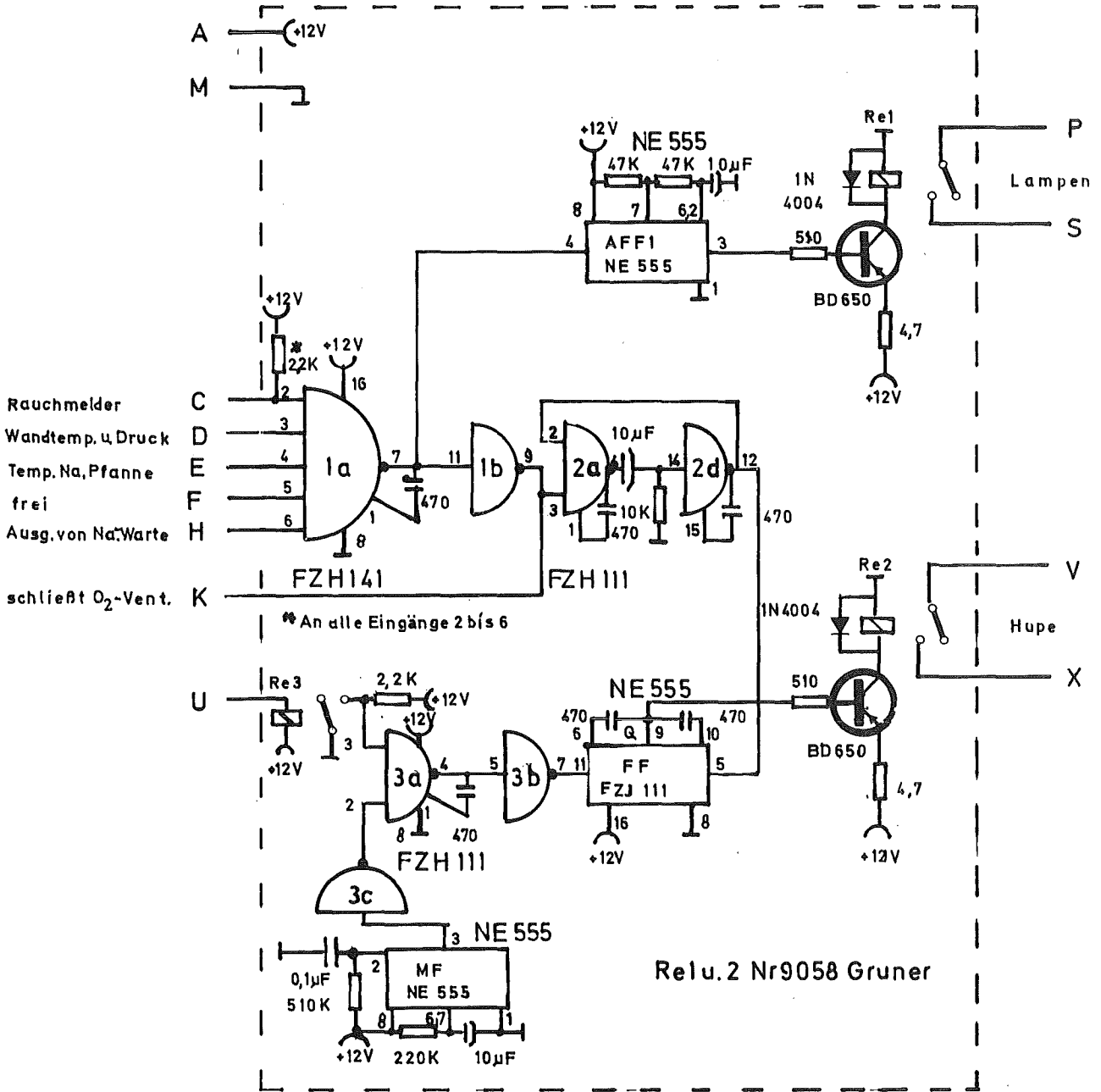
Abb. 2 a

* Entstörung: 1 Elko 2000 μ F, 1 Flachkond. 0,33 μ F
 ** C = 0,01 μ F von Pkt. 5 nach Masse für alle Zähler



Hauptsteuerkarte

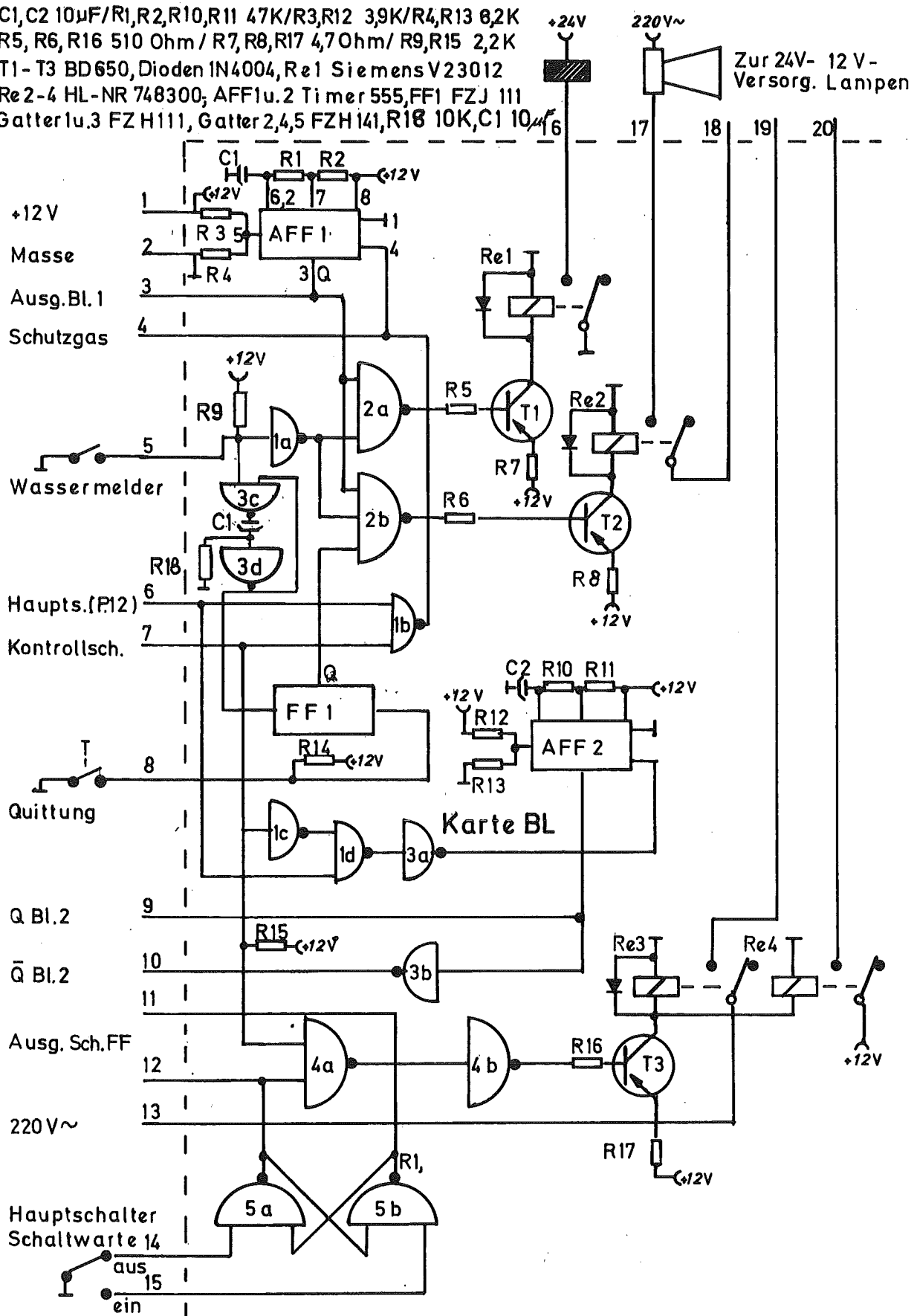
Abb. 3 a



Alarmgeber

Abb. 4 a

C1, C2 10µF / R1, R2, R10, R11 47K / R3, R12 3,9K / R4, R13 8,2K
 R5, R6, R16 510 Ohm / R7, R8, R17 4,7 Ohm / R9, R15 2,2K
 T1 - T3 BD 650, Dioden 1N4004, Re1 Siemens V23012
 Re2-4 HL-NR 748300, AFF1 u. 2 Timer 555, FF1 FZJ 111
 Gatter 1 u. 3 FZ H111, Gatter 2, 4, 5 FZ H141, R18 10K, C1 10µF



Blinkerkarte
 Abb. 5 a