



(19) Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 698 15 950 T2 2004.05.27



(12)

# **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) EP 0 882 484 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 15 950.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: 98 107 180.6

(96) Europäischer Anmeldetag: 20.04.1998

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.12.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 02.07.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 27.05.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **B01D 53/04**

B01D 53/047, A62B 7/14

---

### (30) Unionspriorität:

868419 03.06.1997 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE FR GB NL

(73) Patentinhaber:

Litton Systems, Inc., Davenport, Ia., US

(72) Erfinder:

Cao, Tuan Quoc, Davenport, US; Frantz, Richard Kent, Davenport, US; Hart, Russell Frank, Blue Grass, US; Hager, Charles Bradley, Davenport, US; Molis, William David, Davenport, US; Crome, Victor Paul, Davenport, US

#### (74) Vertreter:

Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte, 81667 München

(54) Bezeichnung: Sauerstoffanreicherungsapparat mit Regelung des Arbeitszyklus der Adsorberbetten und Selbsttest

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

### Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft allgemein Sauerstoffgeneratoren für Atemgeräte in Luftfahrzeugen sowie ein Verfahren zum Steuern des Funktionsvermögens derselben, und spezieller betrifft sie einen Sauerstoffanreicherungsapparat mit variabler, alternierender Bett-Taktzyklussteuerung zum Regeln der Sauerstoffkonzentration innerhalb höhenabhängiger Grenzen sowie ein Selbsttestmerkmal zum Verringern erforderlicher Bedingungen betreffend Unterstützungseinrichtungen.

### Hintergrund der Erfindung

[0002] Die Erzeugung von Sauerstoff für Atemanwendungen in Luftfahrzeugen erfordert es, dass die Produktgaskonzentration innerhalb vorbestimmter, höhenabhängiger minimaler und maximaler physiologischer Grenzen verbleibt. Normalerweise ist der minimale Sauerstoffgehalt des Atemgases derjenige, der dazu erforderlich ist, bei allen Kabinenhöhen für denselben oder einen größeren Sauerstoffpartialdruck als auf Seehöhe zu sorgen. Eine maximale Sauerstoffkonzentration wird eingestellt, um die Wahrscheinlichkeit eines teilweisen Lungenzusammenfalls während Manövern mit hohem G-Wert in geringer Höhe zu verringern. Genauer gesagt, nimmt die Gefahr eines teilweisen Lungeneinfalls mit der Gefahr der Gesamtadsorption eingeschlossener Gastaschen in den Lungen, die sich aus einer Verformung der Lungen während Manövern mit hohem G-Wert ergeben, zu. Die Gefahr einer Gesamtadsorption des eingeschlossenen Gases nimmt mit erhöhter Sauerstoffkonzentration (d. h. verringelter Stickstoffkonzentration) zu.

[0003] Es sind Verfahren bekannt, um mit Sauerstoff angereichte Luft niedrigen Drucks zu erzeugen. Ein derartiges Verfahren wird als Druckschwingungsadsorption (PSA) bezeichnet, und es zeigt den Vorteil, dass es mit Sauerstoff angereicherte Luft innerhalb einer kurzen Zeitperiode nach der Zufuhr eines geeigneten Speisegases (z. B. Druckluft) liefern kann. Der Druckschwingungs-Adsorptionsprozess nutzt den Druck zum Kontrollieren der Adsorption und Desorption. Gemäß diesem Prozess wird der Stickstoff in der Druckluft in einem Molekularsiebbett adsorbiert, während Sauerstoff durch das Bett strömt. Wenn das Molekularsieb im Bett nahezu gesättigt ist, wird das Bett bei Atmosphärendruck belüftet. Dies bewirkt, dass der größte Teil der adsorbierten Stickstoffgase desorbiert und vom Bett ausgegeben wird. Bei einem Zweibettssystem wird, wenn ein Bett Sauerstoff erzeugt, ein Teil des angereicherten Produktgases durch das (belüftete) andere Molekularsiebbett rückgeflutet, um den Partialdruck der adsorbierten Gase im belüfteten Bett weiter abzusenken und den Desorptionsprozess abzuschließen. Wenn zwei Betten verwendet werden, die alternierend unter Druck gesetzt und geflutet werden, ist für eine kontinuierliche Strömung von Produktgas gesorgt und es ist ein ausreichender Druck für den Flutungsvorgang gewährleistet.

[0004] In der Technik sind an Bord eines Luftfahrzeugs befindliche Sauerstofferzeugungssysteme (OBOGS = Aircraft on-board oxygen generation systems) bekannt. Diese Systems beruhen auf dem oben erörterten Molekularsieb-Gastrennprozess. Derartige Systeme werden als "selbstregulierend" bezeichnet, da die Druckschwingung mit der Höhe zunimmt, so dass auch der Wirkungsgrad des Prozesses zunimmt, was ausreichende Sauerstoffkonzentration bei hohen Höhen gewährleistet. Genauer gesagt, fällt, da jedes Siebbett während der Regenerationsphase der Atmosphäre (oder der Kabinenluft) ausgesetzt wird, der Bettdruck während der Desorption mit zunehmender Höhe, um den Desorptionsprozess zu verbessern.

[0005] EP-A-0 046 369 offenbart ein Gastrennsystem vom Molekularsiebtyp, das für die Erzeugung von mit Sauerstoff angereicherter Luft als Atemgas für eine Luftfahrzeugbesatzung von Nutzen ist. Dieses System verfügt über Siebbetten, die dadurch unter Druck gesetzt und regeneriert werden, dass jeweilige Steuerventile betrieben werden, die stromaufwärts und stromabwärts in Bezug auf die Siebbetten angeordnet sind. Jedoch wird eine gewünschte Sauerstoffkonzentration im Produktgas nur durch die Steuerung der Regenerationsperiode der jeweiligen Molekularsiebbetten aufrechterhalten, wobei jedes der Betten in einem teilgesättigten Zustand dadurch kontinuierlich betrieben wird, dass der Flutungsvorgang für das Bett so eingeschränkt wird, dass dieses bei jeder Regeneration nicht vollständig gereinigt wird (sh. die Seite 6, Zeilen 5 bis 9).

[0006] US 4,693,730 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum automatischen Kontrollieren der Produktreiheit bei einem Druckschwingungs-Adsorptionsprozess. Zu einem Korrekturvorgang zum Variieren der Verunreinigungskonzentration im Produktgas gehört das Einstellen der Adsorptionsschrittzeit zum Kontrollieren der Verunreinigungsbelastung jedes Adsorptionsmittelbetts.

[0007] EP-A-0 375 220 offenbart eine Druckschwingungsvorrichtung mit zwei Sorptionsbetten, von denen das eine eine Komponente aus einem Einlassgasgemisch extrahiert, während das andere Bett regeneriert wird. Die Adsorptions- und Spülintervalle für das erste und das zweite Sorptionsbett werden entsprechend vorbestimmten Intervallen eingestellt, die die Erzeugung des Produktgases optimieren.

[0008] Um die Sauerstoffkonzentration bei niedrigen Höhen innerhalb maximaler Grenzen zu halten, wurden Prozesse zum Verringern des Funktionsvermögens bekannter OBOGS entwickelt. Die US-Patente 4,661,124

und 5,004,485 (Humphrey et al.) offenbaren ein Sauerstofferzeugungssystem mit alternierendem Bett mit gesteuertem sequenziellem Betrieb von Füll- und Belüftungsventilen abhängig von einer Reihe auswählbarer Gesamtzykluszeiten im Bereich zwischen einem Minimum und einem Maximum mit einer Anzahl diskreter Schritte. Durch Verlängern der Gesamtzykluszeit nimmt die Effizienz des Systems ab, um dadurch Sauerstoffgas als Produktgas innerhalb physiologischer Maximalgrenzen zu halten.

[0009] Gemäß dem US-Patent 4,661,124 wird die Gesamtzykluszeit der Molekularsiebbetten unter Verwendung eines Druckwandlers auf Grundlage des Kabinendrucks, der die Höhe, in der das Luftfahrzeug betrieben wird, anzeigt, kontrolliert.

[0010] Gemäß dem US-Patent 5,004,485 wird ein Sauerstoffsensor dazu verwendet, die Gaskonzentration zu testen, und es eine Komparatorfunktion realisiert, um die erfasste Sauerstoffkonzentration mit Werten aus einer Nachschlagetabelle für die gewünschten Konzentrationen von Sauerstoff als Produktgas bei verschiedenen Höhen zu vergleichen. Gemäß der Realisierung der Komparatorfunktion wird die Gesamtzykluszeit kontrolliert, um für geeignete Konzentrationswerte zu sorgen.

[0011] Bekannt Systeme unter Verwendung einer Kontrolle der Gesamtzykluszeit, wie sie in den US-Patenten Nr. 4,661,124 und 5,009,485 (Humphrey et al.) offenbart sind, leiden unter dem Nachteil, dass es schwierig ist, die Ausgangs-Sauerstoffkonzentration genau zu kontrollieren, da innerhalb eines kleinen Bereichs Änderungen des Funktionsvermögens auftreten (z. B. 4,5 Sekunden bis 5,5 Sekunden bei einigen Systemen, wohingegen Zyklusbereiche von 5,5 Sekunden bis 8,5 Sekunden zu keinerlei Änderungen des Funktionsvermögens führen).

[0012] Eine dynamische Steuerung des Systemfunktionsvermögens zum Regulieren des Produktgases innerhalb der minimalen und maximalen physiologischen Grenze erfordert ein zuverlässiges Funktionsvermögen des mit dem Ausgang des Anreicherungsapparats verbundenen Sauerstoffsensors. In der Technik ist die Verwendung eingebauter Testschalter (BIT(Built-In-Test)-Schalter) dazu bekannt, Unversehrtheitstests für strombegrenzende Sauerstoffsensoren auszulösen. Das US-Patent 5,071,453 (Hradek et al.) offenbart eine Built-In-Test-Funktion zum Realisieren eines Systemselbsttests bei der Flugvorbereitung sowie eines Sauerstoffsensor-Kalibrierchecks zur Wartung auf Betriebsniveau. Wenn der BIT-Schalter momentan gedrückt wird, wird ein Magnetventil aktiviert, um eine Luftströmung durch den Sauerstoffsensor zu leiten. Wenn die Luft den Sensor erreicht hat, beginnt das Sensorausgangssignal zu fallen, was verringerte Sauerstoffkonzentration anzeigt. Nachdem die Konzentration unter einen vorbestimmten Warnpegel gefallen ist, wird ein Alarm aktiviert, der anzeigt, dass der Selbsttest erfolgreich war. Wenn das Sensorausgangssignal nicht innerhalb einer definierten Zeitperiode, wie 20 Sekunden, unter den vorbestimmten Warnpegel fällt, wird davon ausgegangen, dass der Selbsttest fehlgeschlagen ist, und die Warnung bleibt aktiviert. Zur Kalibrierungsprüfung des Sauerstoffsensors gehört das Aktivieren desselben Magnetventils, um einen Luftstrom durch den Sensor zu schicken, nachdem der BIT-Schalter länger betätigt wurde. Während der Kalibrierprüfung wird die Luftströmung durch den Sensor für eine längere Periode (3 Minuten) als während des Selbsttests aufrechterhalten, so dass das Sensorausgangssignal in einen vorbestimmten Schwellenwert-Kalibrierbereich unter den Warnpegel fällt, was für eine Aktivierung des Warnsignals sorgt. Wenn das Ausgangssignal des Sauerstoffsensors nicht innerhalb von 3 Minuten in den vorbestimmten Kalibrierbereich fällt, wird der Kalibriertest als fehlgeschlagen angesehen und die Warnung bleibt nach Abschluss des Tests aktiviert.

[0013] Obwohl Systeme wie die oben erörterten zum Testen des Betriebs von Sauerstoffsensoren in OBOGS bekannt sind, führt das Fehlen von Wartungstestsystemen für Sauerstoffanreicherungsapparate zu hohen Anforderungen an die Unterstützungseinrichtungen, einschließlich der Verwendung von Einlassluftquellen und Testsets (zum Einstellen der Produktströmung durch den Anreicherungsapparat und zum Messen der Sauerstoffzusammensetzung). Einlassluftquellen können häufig durch Feuchtigkeit und Öl verunreinigt werden, und Testsets benötigen eine Kalibrierungskontrolle.

### Zusammenfassung der Erfindung

[0014] Um die o. g. Probleme zu lösen, ist Folgendes geschaffen: ein Verfahren zum Steuern des Funktionsvermögens eines Sauerstoffanreicherungsapparats mit einem ersten Molekularsiebbett, das über aufeinanderfolgende Steuerungsperioden hinweg entsprechend einem Taktzyklus zum abwechselnden Unterdrucksetzen und Fluten des ersten Molekularsiebbetts betrieben wird, und einem zweiten Molekularsiebbett, das über die aufeinanderfolgenden Steuerungsperioden hinweg entsprechend dem Reziproken des Taktzyklus für abwechselndes Fluten und unter Druck Setzen des zweiten Molekularsiebbetts betrieben wird, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte: a) die aufeinanderfolgenden Steuerperioden beinhalten jeweils mehrere Taktzyklen, die Zeitperioden beinhalten; Einstellen von Zeitperioden während aufeinanderfolgender Taktzyklen und Zeitperioden während der entsprechenden reziproken Taktzyklen während jeder Sekunde einer der aufeinanderfolgenden Steuerperioden zum Verlängern der Zeitperiode der Unterdrucksetzung relativ zur Zeitperiode zur Flutung des ersten Molekularsiebbetts und zum Verlängern der Zeitperiode des Flutens relativ zur Zeitperiode des Unterdrucksetzens betreffend das zweite Molekularsiebbett, um dadurch das Funktionsvermögen des Sauerstoff-

anreicherungsapparats zu beeinträchtigen, um die Konzentration des vom ersten Molekularsiebbetts erzeugten Sauerstoffs zu verringern und Wasser aus dem zweiten Molekularsiebbett auszutreiben; und b) Einstellen von Zeitperioden während aufeinanderfolgender Taktzyklen und Zeitperioden während der entsprechenden reziproken Taktzyklen während verbliebener Steuerperioden zum Verlängern der Zeitperiode des Flutens relativ zur Zeitperiode des Unterdrucksetzens des ersten Molekularsiebbetts und zum Verlängern der Zeitperiode des Unterdrucksetzens relativ zur Zeitperiode des Flutens betreffend das zweite Molekularsiebbett, um dadurch Wasser aus dem ersten Molekularsiebbett auszutreiben und das Funktionsvermögen des Sauerstoffanreicherungsapparats zu beeinträchtigen, um die Konzentration von durch das zweite Molekularsiebbett erzeugtem Sauerstoff zu verringern.

[0015] Ferner ist ein Sauerstoffsystem für Luftfahrzeuge zum Bereitstellen von Sauerstoff mit kontrollierter Konzentration für die Kabine des Luftfahrzeugs, mit Folgendem versehen: einem Lufteinlass; einem Auslassstutzen; einem Schieberventil, das mit dem Lufteinlass und dem Auslassstutzen verbunden ist; einem ersten und einem zweiten Molekularsiebbett, von denen jedes einen mit dem Schieberventil verbundenen Einlass und einen Auslass zur Kabine aufweist, wobei das erste und das zweite Molekularsiebbett während aufeinanderfolgender Steuerperioden betrieben werden; dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuerung das Schieberventil über aufeinanderfolgende Steuerperioden, von denen jede mehrere Taktzyklen mit Zeitperioden beinhaltet, in großen Höhen entsprechend einem Taktzyklus zum abwechselnden Unterdrucksetzen und Fluten des ersten Molekularsiebbetts und einem Reziproken dieses Taktzyklus zum abwechselnden Fluten und Unterdrucksetzen des zweiten Molekularsiebbetts betreibt, um an Sauerstoff angereichertes Gas zu erzeugen;

- wobei die Steuerung das Schieberventil (V1) zum Einstellen des Taktzyklus und des reziproken Taktzyklus während jeder Sekunde einer der aufeinanderfolgenden Steuerperioden steuert, um die Zeitperiode der Unterdrucksetzung relativ zur Zeitperiode zur Flutung des ersten Molekularsiebbetts zu verlängern und die Zeitperiode des Flutens relativ zur Zeitperiode des Unterdrucksetzens betreffend das zweite Molekularsiebbett zu verlängern, um dadurch das Funktionsvermögen des Sauerstoffanreicherungsapparats zu beeinträchtigen, um die Konzentration des vom ersten Molekularsiebbett erzeugten Sauerstoffs zu verringern und Wasser aus dem zweiten Molekularsiebbett auszutreiben; und
- die Steuerung das Schieberventil zum Einstellen des Taktzyklus und des reziproken Taktzyklus während verbliebener Steuerperioden steuert, um die Zeitperiode des Flutens relativ zur Zeitperiode des Unterdrucksetzens des ersten Molekularsiebbetts zu verlängern und um die Zeitperiode des Unterdrucksetzens relativ zur Zeitperiode des Flutens betreffend das zweite Molekularsiebbett zu verlängern, um dadurch Wasser aus dem ersten Molekularsiebbett auszutreiben und das Funktionsvermögen des Sauerstoffanreicherungsapparats zu beeinträchtigen, um die Konzentration von durch das zweite Molekularsiebbett erzeugtem Sauerstoff zu verringern.

[0016] Gemäß der Erfindung ist ein an Bord vorhandenes Sauerstofferzeugungssystem (OBOGS) vorhanden, das eine variable Bett-Taktzyklussteuerung dazu verwendet, das Ausgangssignal des Sauerstoffanreicherungsapparats vom niedrigen Wert einer Sauerstoffkonzentration von 30% bis über eine Konzentration von 90% zu regeln. Die variable Bett-Taktzyklussteuerung ist flexibel und genau kontrollierbar. Die variable Bett-Taktzyklussteuerung gemäß der Erfindung sorgt für stabileren Betrieb als bekannte OBOGS mit einer Steuerung der Gesamtzykluslänge, wie in den US-Patenten 4,661,124 und 5,004,485 (Humphries et al.) offenbart.

[0017] Im Normalbetrieb arbeitet das erfindungsgemäße Zweibett-Sauerstofferzeugungssystem mit einem Taktzyklus von 50%–50% (z. B. 3 Sekunden pro Bett bei einem Zyklus von 6 Sekunden). Um das Funktionsvermögen des Systems zu kontrollieren werden die Tastzyklen der zwei Betten so eingestellt, dass ein Bett-Taktzyklus erhöht wird, während der andere verringert wird. Die Tastzyklen können von 50% bis herunter auf 20% (und von 50% bis herauf zu 80% für das andere Bett) mit mindestens Schritten von 1% für verbesserte Genauigkeit geändert werden.

[0018] Um die Betten vor Beschädigung durch Wasserdampfverunreinigung zu schützen, werden die Tastzyklen der Betten mit einem alternierenden Muster gesteuert. D. h., dass ein Bett bei einer Kontrollperiode (z. B. 10 Zyklen) bei einem längeren Taktzyklus verweilt als das andere Bett, und umgekehrt im nächsten Kontrollzyklus. Durch Alternieren der Tastzyklen der Betten können die zwei Betten nach ihren jeweiligen Verweilperioden von Wasserdampf gereinigt werden.

[0019] Ein weiterer Gesichtspunkt der Erfindung ist die Bereitstellung einer Funktionsprüfung eines Druckschwingungsadsorptions(PSA)-Untersystems. Dieser Test wird als Teil einer Wartungs-BIT(Built-In-Test)-Funktion ausgeführt. Nachdem unter Verwendung bekannter Techniken verifiziert wurde, dass die Genauigkeit des Sauerstoffsensors akzeptierbar ist, wird eine Gruppe von Entlüftungsventilen geöffnet, um den Sauerstoffanreicherungsapparat mit einer speziellen Strömung zu laden. Dann wird die Sauerstoffkonzentration über den Sensor geprüft, um zu ermitteln, ob das PSA-Untersystem innerhalb der Spezifikation arbeitet (d. h. mit einer Konzentrationsgrenze über einem vorbestimmten Pegel – wie 50%).

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- [0020] Nachfolgend erfolgt eine detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen.
- [0021] **Fig. 1** zeigt Kurven von Sauerstoffkonzentrationen, die den Betrieb des Sauerstoffgenerators gemäß der bevorzugten Ausführungsform bestimmen;
- [0022] **Fig. 2** ist ein schematisches Funktionsdiagramm eines an Bord eines Luftfahrzeugs vorhandenen Sauerstofferzeugungssystems (OBOGS) mit einem PSA-Anreicherungsapparat-Untersystem und einer Steuerungs/Überwachungs-Kombination gemäß der bevorzugten Ausführungsform;
- [0023] **Fig. 3** ist ein schematisches Pneumatikdiagramm des PSA-Anreicherungsapparat-Untersystems und einer Steuerungs/Überwachungs-Kombination gemäß der bevorzugten Ausführungsform;
- [0024] **Fig. 4** umfasst **Fig. 4a** und **4b**, und sie ist ein Timingdiagramm, das die alternierende Bett-Taktzyklussteuerung des PSA-Anreicherungsapparat-Untersystems gemäß der bevorzugten Ausführungsform zeigt;
- [0025] **Fig. 5** ist ein Flussdiagramm, das einen Algorithmus zeigt, der durch die Steuerungs/Überwachungs-Kombination für die in der **Fig. 4** dargestellte Taktzyklussteuerung realisiert ist; und
- [0026] **Fig. 6** ist ein Leitungsdiagramm des in der **Fig. 2** dargestellten OBOGS gemäß der bevorzugten Ausführungsform.

## Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

- [0027] Die **Fig. 1** ist eine grafische Wiedergabe der Beziehung zwischen der Kabinenhöhe und der Sauerstoffkonzentration von Atemgas, das der Mannschaft eines Hochleistungs-Militärflugzeugs zugeführt wird. Wie oben erörtert, muss die Sauerstoffkonzentration des der Flugmannschaft zugeführten Atemgases innerhalb vorbestimmter Maximal- und Minimalgrenzen liegen. Der schraffierte Bereich in der **Fig. 1** repräsentiert die zulässigen Pegel der Sauer-Stoffkonzentration bei verschiedenen Kabinenhöhen.
- [0028] Die maximale Sauerstoffkonzentration beträgt bei Höhen bis zu ungefähr 5486,42 m (18000 Fuß) 70%, wobei jedoch die wünschenswerte Maximalkonzentration bis zu einer Kabinenhöhe von 4972 m (15000 Fuß) 60% beträgt, mit linearem Anstieg abhängig von der Kabinenhöhe bis auf einen Wert von 70% bei 5486,42 m (18000 Fuß). Ausgehend von 5486,42 m (18000 Fuß) steigt die maximal zulässige Sauerstoffkonzentration linear bis auf einen Wert von 80% bei 6096,02 m (20000 Fuß) an. Bei Kabinenhöhen über diesem Wert existiert keine Maximalgrenze für den Sauerstoffgehalt im Atemgas.
- [0029] Die in der **Fig. 1** dargestellte Kurve, die durch den schraffierten Bereich verläuft (mit Ausnahme eines Abschnitts in der Nähe von 20000 Fuß, der wie folgt gekennzeichnet ist: "24264,604 Nm<sup>-2</sup> (182 mmHg) – Warnung unter diesem Pegel"), repräsentiert den konstanten Sauerstoffpartialdruck von einem Wert, der dem des Minimums entspricht, wie es im Atemgas bei einer Kabinenhöhe von 6096,02 m (20000 Fuß) benötigt wird. Auf Meeressniveau zeigt diese Kurve, dass die Gaszusammensetzung, die sie repräsentiert, eine Sauerstoffkonzentration von 24% aufweist, im Vergleich zu einem Sauerstoffgehalt von ungefähr 20% in der Luft auf Meeressniveau.
- [0030] Der minimale Sauerstoffgehalt für Atemgas einer Flugmannschaft beginnt im unteren Abschnitt als Kurve, die eine Kabinenhöhe im Bereich vom Meeressniveau bis zu ungefähr 4876,8 m (16000 Fuß) überdeckt, wo die Kurve parallel zu derjenigen Kurve verläuft, die den konstanten Sauerstoffpartialdruck auf Meeressniveau repräsentiert. Zwischen Kabinenhöhen von 4876,8 m (16000 Fuß) und 6096,02 m (20000 Fuß) steigt die Minimumskurve linear und steiler an, als der konstante Sauerstoffpartialdruck aufgetragen ist, um Effekte eines zufälligen schnellen Druckabfalls in der Kabine aufzufangen. Zwischen 6096,02 m (20000 Fuß) und 7010,4 m (23000 Fuß) verbleibt der minimal erforderliche Sauerstoffgehalt bei ungefähr 55% konstant, woraufhin der minimal erforderliche Gehalt mit der Kabinenhöhe als Fortsetzung der Kurve für den zur Meereshöhe äquivalenten Partialdruck bis zu einer Höhe von ungefähr 9448,33 m (31000 Fuß) ansteigt. Bei 9448,33 m (31000 Fuß) verbleibt der minimal erforderliche Sauerstoffgehalt bei ungefähr 91% konstant, bis eine Höhe von ungefähr 10972,8 m (36000 Fuß) erreicht ist, woraufhin die minimal zulässige Sauerstoffkonzentration für alle größeren Höhen auf 98% ansteigt.

- [0031] Die **Fig. 2** bildet ein schematisches Funktionsdiagramm für ein an Bord eines Luftfahrzeugs vorhandenen Sauerstofferzeugungssystems (OBOGS) unter Verwendung einer variablen Bett-Taktzyklussteuerung zum Regulieren der Sauerstoffkonzentration, und für eine Funktion zum Prüfen des Funktionsvermögens, die unten detaillierter erörtert wird. Das in der **Fig. 2** veranschaulichte OBOGS verwendet aufbereitete Motorausblasluft und elektrische Energie der Luftfahrzeugressourcen zum Liefern von mit Sauerstoff angereicherter Luft für die Atmung der Mannschaftsmitglieder innerhalb des in der **Fig. 1** als "Regelungsgrenzen" identifizierten Bereichs. Die Erfindung ist innerhalb des als "Sauerstoffanreicherungsapparat mit integrierter Steuerungs/Überwachungs-Kombination" gekennzeichneten Blocks realisiert. Ein detailliertes Leitungsdiagramm zur Schnittstelle zwischen dem Luftfahrzeug und dem OBOGS der **Fig. 2** ist in der **Fig. 4** dargestellt, und es wird unten unter Bezugnahme auf die Funktionstestmerkmale der Erfindung detaillierter erörtert.

[0032] Es wird nun auf das in der **Fig. 3** dargestellte schematische Pneumatikdiagramm des Anreicherungsapparats Bezug genommen, wo der Anreicherungsapparat mit integrierter Steuerungs/Überwachungs-Kombination in zwei Funktionsteile unterteilt dargestellt ist. Der Teil für Druckschwingungsadsorption (PSA) realisiert die Sauerstoffkonzentrierfunktion, während der Steuerungs/Überwachungs(C/M)-Teil die Steuerung der PSA-Komponenten, die Überwachung der für die Flugmannschaft bereitgestellten Sauerstoffpegel und die Realisierung von Testsequenzen für alle Komponenten realisiert.

[0033] Im Betrieb tritt Ausblasluft in den Anreicherungsapparat ein, und sie durchläuft eine Filter/Wasserseparator-Kombination FLTR1, was durch eine durch eine Steuerung betriebene Sperrventil/Regler-Kombination REGT erfolgt, die den Druck so reguliert, dass die Luftversorgung bei niedrigen Höhen erhalten bleibt, wenn die Drücke am Einlass des Anreicherungsapparats größer als benötigt sind. Dann strömt die aufbereitete Luft zu einem gesteuerten, druckbetriebenen Schieberventil V1, das die Luft sequenziell zu den Molekularsiebbetten BETT1 und BETT2 durchlässt.

[0034] Die zwei Sauerstoffbetten BETT1 und BETT2, arbeiten als alternierendes Paar, so dass dann, wenn das eine Bett unter Druck gesetzt wird, um Stickstoff zu adsorbieren und um mit Sauerstoff angereichertes Produktgas zu erzeugen, das andere Bett der Umgebungsluft ausgesetzt wird, wobei Stickstoff aus dem zuvor erfolgten Druckvorgang desorbiert wird. Die Regeneration durch Desorption von Stickstoff im belüfteten Bett wird durch einen Rückwärtsfluss von mit Sauerstoff angereichertem Gas vom Ausgang oder vom Produktende des unter Druck gesetzten Betts verstärkt. Die Menge der Rück- oder Spülströmung durch das belüftete Bett wird durch Spülöffnungsbegrenzer ORF1 und ORF2 gesteuert, die im mit den Ausgangsenden der zwei Betten verbundenen Strömungspfad liegen.

[0035] Die zwei Sauerstoffbetten werden alternierend zwischen dem Druck- oder Sauerstofferzeugungsmodus und dem belüfteten (oder gefluteten), regenerierenden, von Sauerstoff reinigenden Modus durch das Schieberventil V1 im Zyklus betrieben. Das mit Sauerstoff angereicherte Ausgangs-Produktgas der unter Druck stehenden Betten strömt durch Rückschlagventile CV1 und CV2 zu Atemgas-Zuführleitungen für die Mannschaftsmitglieder (**Fig. 2**). Ein Sauerstoffsensor O2 sorgt für kontinuierliche Überwachung der Auslassgasqualität, und er liefert ein Warnsignal, um außerhalb von Grenzen liegende Bedingungen zu erfassen, wie es unten detaillierter erörtert wird.

[0036] Die Filter/Wasserseparator-Kombination FLTR1 arbeitet sowohl als Teilchenfilter als auch als Wasserseparator. Die Zufuhr von Luft durchläuft den Filter FLTR1, so dass Teilchen und Flüssigkeitströpfchen weggefangen werden. Flüssigkeitströpfchen laufen allmählich durch das Filterelement, wo sie an der Ausgangsfläche zusammenfließen und durch eine kleine Öffnung am Boden des Filtergehäuses entnommen werden, wo eine kleine Schlauchverbindung mit einer Abflussleitung verbunden ist. Die Abflussleitung ist zum AUSLASS des Anreicherungsapparats geführt, um das entzogene Wasser abzulassen. Daher ist die Beseitigung von Wasser automatisch und kontinuierlich.

[0037] Die Sperrventil/Regler-Kombination REG1 liegt am Eingang des Anreicherungsapparats, unmittelbar nach dem Filter FLTR1, so dass das Anreicherungsapparat durch einen Befehl von der C/M-Kombination abgeschaltet oder deaktiviert werden kann, wenn die elektrische Spannung weggenommen wird. Das Sperrventil nutzt den durch das Steuerungs-Magnetventil SV4, das innerhalb der C/M-Steuerung liegt, um das Sperrventil zu steuern, zugeführten Einlassluftdruck. Das Sperrventil wird in der Schließposition federbelastet, und es öffnet nur dann, wenn das Steuerungs-Magnetventil SV4 aktiviert wird, so dass der Einlassdruck den Federdruck überwinden kann. Das Sperrventil schützt die Molekularsiebbetten für den Fall, dass Luftdruck verfügbar ist und für die C/M-Kombination keine elektrische Spannung zur Verfügung steht. Das Sieb S3 verhindert, dass Verunreinigungen in das Magnetventil SV4 eindringen.

[0038] Der Druckregler wird dazu verwendet, den Druck, und damit die Druckschwingung, des Molekularsiebbetts auf einem konstanten Wert zu halten, so dass das Funktionsvermögen der Einheit durch stromaufwärtige Schwankungen des Luftdrucks nicht beeinflusst wird, und um übermäßige Luftnutzung zu vermeiden, wenn der Einlassdruck hoch ist.

[0039] Der Regler sorgt für einen gesteuerten Druckpegel, und der Ausgangsdruck wird durch ein Kraftgleichgewicht zwischen dem Ausgangsdruck an einem Kolben und einer Schraubenfeder eingestellt.

[0040] Der Druckschwingungs-Zyklusablauf der Molekularsiebbetten erfolgt unter Verwendung eines Hin/Her-Schieberventils V1. Das Ventil wird durch zwei entgegengesetzte Luftzyylinder, CYL1 und CYL2, aktiviert, die durch zwei Steuerungs-Magnetventile SV1 und SV2, unter Druck gesetzt/belüftet werden. Wenn ein Zylinder unter Druck gesetzt wird, wird der andere belüftet, und das Ventil wird nach einer Seite geschoben. Dadurch wird ein Sauerstoffbett unter Druck gesetzt, und das andere wird belüftet. Eine elektronische Timingschaltung in der C/M-Kombination sorgt dafür, dass die Zustände der Magnetventile gewechselt werden, so dass sich das Schieberventil nach der anderen Seite und das andere Bett unter Druck gesetzt wird, während das ursprüngliche Bett belüftet wird. Die Zyklusrate wird so ausgewählt, dass sie am besten zu den Flugbedingungen passt.

[0041] Die Siebe S1 und S2 sind einstückig mit den Steuerventilen ausgebildet, und sie verhindern, dass irgendetwas an teilchenförmigen Gegenständen in die Magnetventile SV1 und SV2 eindringt.

- [0042] Die Sauerstoffbetten BETT1 und BETT2 bestehen vorzugsweise aus Aluminiumrohren.
- [0043] Die Rückschlagventile CV1 und CV2 sind in die Ausgangsströmungsleitung der Sauerstoffbetten eingebaut, und sie leiten das Ausgangsprodukt des erzeugenden Betts zum Auslass des Anreicherungsapparats, und sie begrenzen die Rückströmung, die das Molekularsieb des nicht erzeugenden Betts spült.
- [0044] Die Spülströmung für die Sauerstoffbetten erfolgt durch mit doppelter Genauigkeit bearbeitete Öffnungen ORF1 und ORF2, die in einer Querströmungsleitung enthalten sind, die die Bettkappen stromaufwärts der Rückschlagventile verbinden.
- [0045] Wie es in den **Fig. 2** und **6** dargestellt ist, verfügt ein Anreicherungsapparat über eine C/M-Kombination, die die Anreicherungsapparat überwacht und steuert. Die C/M-Kombination versorgt den Bediener mit einer kontinuierlichen Verifizierung eines akzeptierbaren Funktionsvermögens des Anreicherungsapparats sowie einer Erkennung von Fehlfunktionen der Anreicherungsapparats sowie einer Verifizierung des Funktionsvermögens der C/M-Kombination.
- [0046] Im normalen Überwachungsmodus fließt das Sauerstoff-Produktgas durch das Magnetventil SV3 zum Sauerstoffanreicherungsapparat O2. Die Öffnung ORF3 ist ein integraler Stutzen der Verteileranordnung, und sie begrenzt die Strömung durch den Sensor. Der Sauerstoffsensor-Kammerdruck wird durch einen stromabwärtigen Absolutdruckregler REG2 kontrolliert. Dann wird eine kleine Gasprobe durch einen Belüftungsstutzen in der Seite des Gehäuses der C/M-Kombination nach außen geblasen. Der Druckwandler PT1 überwacht kontinuierlich den Kabinendruck, und er wird in Verbindung mit der Messung der Sauerstoffkonzentration verwendet, wenn der Partialdruck des der Flugmannschaft zugeführten Sauerstoffs ( $\text{PPO}_2$ ) berechnet wird. Der PT1 wird den Umgebungsbedingungen der Kabine ausgesetzt, und ein Sieb S5 schützt diesen Stutzen vor Verunreinigungen.
- [0047] Die C/M-Kombination liefert über ein diskretes Warnsignal immer dann eine Warnung, wenn der Sauerstoffpartialdruck unter eine spezifizierte Grenze fällt, wie es in der **Fig. 6** veranschaulicht ist.
- [0048] Zur Steuerungsfunktion der C/M-Kombination gehören zwei Magnetventile SV1 und SV2, die alternierend aktiviert werden, um den Zyklusvorgang des Schieberventils V1 zu steuern.
- [0049] Das Magnetventil SV3 wird für die BIT-Funktion (die unten detaillierter erörtert wird) verwendet. Bei normalen Betriebsbedingungen ist SV3 deaktiviert, und das Produktgas des Anreicherungsapparats wird kontinuierlich zum Sauerstoffsensor geleitet. Wenn SV3 aktiviert wird, wird Einlassgas zum Sauerstoffsensor geliefert, um eine Genauigkeitsprüfung des Sensors und der zugehörigen Elektronik auszuführen.
- [0050] Das Magnetventil SV4 steuert den Steuerdruck, wie er der Sperrventil/Regler-Kombination REG1 zugeführt wird. Wenn SV4 aktiviert ist, wird der Einlassdruck an das Sperrventil geliefert, und dieses öffnet.
- [0051] Die Zusammensetzungskontrolle (die für Höhen unter 4572 m (15000 Fuß) aktiv ist) wird dadurch ausgewählt, dass der Kippschalter SAUERSTOFFAUSWAHL, der sich an einer am Atemregler angebrachten Tafel (**Fig. 6**) befindet, in die Position NORMAL gestellt wird. Dies wiederum erzeugt ein Steuersignal an die C/M-Kombination, die den Mechanismus für die Taktzyklussteuerung aktiviert. In diesem Modus wird die Sauerstoffkonzentration innerhalb der in der **Fig. 1** dargestellten Grenzen kontrolliert. Diese Kontrolle erfolgt durch Variieren des Betriebs des Schieberventils V1. Das Schieberventil reagiert auf Signale von der C/M-Kombination, die die Sauerstoffkonzentration des Produktgases kontinuierlich mit einem idealen Wert vergleicht und den Betrieb des Schieberventils entsprechend variiert, um die erforderliche Konzentration aufrechtzuerhalten.
- [0052] Genauer gesagt, wird, wie oben erörtert, um die Produktgaskonzentration bei geringen Höhen innerhalb von Grenzen zu halten, ein Prozess gemäß der Erfindung dazu entwickelt, das Funktionsvermögen des Systems des Sauerstoffanreicherungsapparats zu verringern. Dieser Prozess wird als variable Bett-Taktzyklussteuerung bezeichnet. Im Normalbetrieb arbeitet das Zweibett-Sauerstofferzeugungssystem mit einem Taktzyklus von 50–50% (d. h. 3 Sekunden pro Bett), wie es in der **Fig. 4a** dargestellt ist. Um das Funktionsvermögen des Systems zu kontrollieren, werden die Taktzyklen der zwei Betten so geändert, dass der Taktzyklus des einen Betts erhöht wird, während der andere verringert wird, wie es in der **Fig. 4b** dargestellt ist. Die Taktzyklen können von 50% bis herunter auf 20% (50% bis herauf auf 80% für das andere Bett) mit weniger als Schritten von 1% geändert werden.
- [0053] Wie es in der **Fig. 4b** dargestellt ist, werden, um die Betten gegen Beschädigung durch Wasserdampfverunreinigung zu schützen, die Bett-Taktzyklen mit alternierendem Muster gesteuert. Genauer gesagt, verweilt ein Bett während einer Steuerperiode in einem längeren "Spül"modus (z. B. 10 Zyklen von jeweils 6 Sekunden), und dann kehrt es um, um während der nächsten Steuerperiode in einem längeren "Erzeugungs"modus zu verweilen. Durch Alternieren des variablen Bett-Taktzyklus können die zwei Betten (BETT1 und BETT2) Wasserdampf nach ihren jeweiligen Verweilperioden ausspülen, und sie können dadurch die Betten gegen Schäden durch Wasserdampfverunreinigung schützen.
- [0054] Wie es in der **Fig. 5** dargestellt ist, realisiert die C/M-Kombination einen Algorithmus oder einen Prozess zur Taktzyklussteuerung beginnend mit "- Steuerungsstart". Als Erstes wird die Sauerstoffkonzentration durch den O2-Sensor getestet. Wenn für "O2 > Obergrenze" "Ja" gilt, wirkt die C/M-Kombination betreffend "Tastzyklen enger und Verzögerung einstellen", wohingegen dann, wenn sich für "O2 < Untergrenze" "Nein" ergibt, der Prozess zu "- Steuerungsstart" zurückkehrt. Der Prozess kehrt auch entweder nach "Tastzyklen be-

abstandeter und Verzögerung einstellen" oder "Tastzyklen enger und Verzögerung einstellen" zu "Steuerungsstart" zurück. Demgemäß hängt die Änderung des Tastzyklus davon ab, wieviel höher die O<sub>2</sub>-Konzentration als die Obergrenze oder wieviel kleiner sie als die Untergrenze ist.

[0055] Wie oben erörtert, sind gemäß einer anderen Erscheinungsform der Erfindung Selbsttestmerkmale in die Steuerungs/Überwachungs-Kombination (C/M-Kombination) konzipiert, um Erfordernisse der Unterstützungsseinrichtungen zu verringern. Die verschiedenen Betriebsmodi der C/M-Kombination werden unten detailliert erläutert. Eines der einzigartigen Merkmale ist die Funktionsprüfung des Druckschwingungsadsorptions(PSA)-Unterystems (Wartungs-BIT (M/BIT)). Nach der Verifizierung, dass die Genauigkeit des Sauerstoffsensors akzeptierbar ist, wird eine Gruppe von Auslassventilen (SV5 und SV6) geöffnet, um die Betten BETT1 und BETT2 des Anreicherungsapparats mit einer spezifizierten Luftflussrate zu versorgen. Dann prüft die C/M-Kombination die Produkt-Sauerstoffkonzentration, um zu ermitteln, ob das PSA-Unterystem angemessen arbeitet (d. h., sie prüft auf eine Konzentration über einer vorbestimmten Grenze (z. B. 50%)).

[0056] Nun wird auf die **Fig. 6** Bezug genommen, gemäß der die C/M-Kombination, nach dem Zuführen von elektrischer Spannung (+28 V Wechselspannung für die C/M-Kombination und 115 V Wechselspannung für das Flugzeug) automatisch einen eingebauten Test beim Spannungseinschalten (PUB = Power-Up Built-in-Test) ausführt, wobei es sich um einen internen Check für die Unversehrtheit der C/M-Kombination handelt, der eine Programmprüfsumme, einen RAM-Check und "Vernünftigkeits"-Prüfungen für den Sauerstoffsensor O<sub>2</sub> und den Kabinendruckwandler PT1 beinhaltet. Wenn der PUB erfolgreich abgeschlossen wird, bleibt die Warnung abgeschaltet und es erfolgt kein Hinweis über die Lampe "SAUERSTOFF NIEDRIG" im Flugzeug. Wenn irgendwelche Mängel erkannt werden, wird die Warnung aktiviert. Wenn der PUB fehlschlägt, wird er dadurch wiederholt, dass die BIT-Taste entweder an der vorderen oder hinteren Steuerungs-Sauerstoffregler-Fronttafel betätigt wird.

[0057] Nach dem PUB tritt die C/M-Kombination für ungefähr 3 Minuten in einen Aufwärmzustand ein. Die Warnung bleibt während dieser Zeit aus. Diese Aufwärmung ist dazu erforderlich, dass der Sauerstoffsensor O<sub>2</sub> eine spezifizierte Genauigkeit erzielt.

[0058] Wenn Luft vorhanden ist, führt die C/M-Kombination die Prüfung der Sensorgenaugkeit während des Aufwärmens aus. Wenn die C/M-Kombination kein Signal betreffend verfügbare Luft von der Flugsteuerung des Flugzeugs (z. B. "LUFT VERFÜGBAR" in der **Fig. 6**) empfängt, wartet sie auf unbestimmte Zeit auf das Signal. Wenn das Signal empfangen wird, führt die C/M-Kombination die Prüfung der Sensorgenaugigkeit automatisch aus.

[0059] Wenn die C/M-Kombination einmal das Signal betreffend verfügbare Luft vom Flugzeug empfangen hat, führt sie automatisch den Test zur Sensorgenaugigkeit aus. Während dieses Tests wird die Luft am Einlass des Anreicherungsapparats dem Sensor O<sub>2</sub> zugeführt. Mit Ablauf von 3 Minuten wird die Sensorgenaugigkeit dadurch geprüft, dass das Sensorsausgangssignal mit dem bekannten Wert für Luft verglichen wird. Wenn die Genauigkeitsprüfung erfolgreich abgeschlossen wird, bleibt die Warnung aus, und es erfolgt kein Hinweis. Wenn ein Mangel erkannt wird, wird die Warnung aktiviert. Wenn der Genauigkeitstest fehlschlägt, wird er dadurch wiederholt, dass die BIT-Taste an der Reglerfronttafel kurz betätigt wird.

[0060] Nach erfolgreichem Abschluss der Prüfung der Sensorgenaugigkeit tritt die C/M-Kombination automatisch in den C-BIT-Betriebsmodus ein. Dies ist der "normale" Betriebsmodus, und die C/M-Kombination vergleicht kontinuierlich den berechneten Sauerstoffpartialdruck (PPO<sub>2</sub>) des Produktgases des Anreicherungsapparats mit einem voreingestellten Schwellenwert von 24264,604 Nm<sup>-2</sup> (182 mmHg) PPO<sup>2</sup>. Während des C-BIT führt die C/M-Kombination auch einen internen "periodischen BIT" aus, der katastrophale Mängel der Eingangswandler erkennt. Alle erkannten Mängel führen zu einer Aktivierung der Warnmeldung.

[0061] Während sich die C/M-Kombination im C-BIT-Modus befindet, reagiert auf einen I-BIT-Befehl. I-BIT wird von Hand dadurch aktiviert, dass die BIT-Taste an der Reglerfronttafel kurz betätigt wird. I-BIT verifiziert, dass die C/M-Kombination dazu in der Lage ist, die Warnung zu aktivieren. Wenn die BIT-Taste kurz betätigt wird, aktiviert die C/M-Kombination das Magnetventil SV3, um dem Sensor Luft zuzuführen. Wenn die Luft den Sensor erreicht und der PPO<sub>2</sub>-Pegel unter den Schwellenwert von 24264,604 Nm<sup>-2</sup> (182 mmHg) fällt, wird die Warnung aktiviert. Dann wird SV3 deaktiviert, um auf das Produktgas des Anreicherungsapparats zurückzuschalten. Wenn der PPO<sub>2</sub>-Pegel bis oberhalb des Schwellenwerts von 24264,604 Nm<sup>-2</sup> (182 mmHg) zurückkehrt, wird die Warnung deaktiviert. Wenn innerhalb von 2 Minuten der PPO<sub>2</sub>-Wert nicht unter 24264,604 Nm<sup>-2</sup> (182 mmHg) fällt, während er Luft ausgesetzt ist, oder wenn er nicht über 24264,604 Nm<sup>-2</sup> (182 mmHg) zurückkehrt, wenn er erneut auf das Produktgas des Anreicherungsapparats geschaltet wird, wird die Warnung aktiviert. Wenn der I-BIT-Test fehlschlägt, wird er durch kurzes Betätigen der BIT-Taste an der Regler-Fronttafel wiederholt.

[0062] Während sich die C/M-Kombination im C-BIT-Modus befindet, reagiert sie auf einen M-BIT-Befehl. Der M-BIT-Befehl ist zur Verwendung durch Wartungspersonal vorgesehen, um einen erweiterten Genauigkeitstest für den C/M-Sauerstoffsensor und einen Funktionstest für den Anreicherungsapparat auszuführen. Dieser Test erfordert elektrische Energie, und dem Anreicherungsapparat werden minimal 110316,16 Nm<sup>-2</sup> (16 psig) zugeführt. Der M-BIT-Modus wird durch Betätigen und Festhalten der BIT-Taste an der Regler-Fronttafel für 20 Se-

kunden aktiviert. Am Ende der 20 Sekunden wird die Warnung aktiviert, um anzuzeigen, dass sich die C/M-Kombination im M-BIT-Betriebsmodus befindet. Dann kann die BIT-Taste losgelassen werden. Der M-BIT-Modus aktiviert das Magnetventil SV3, um dem Sensor für eine Periode von 3 Minuten Luft zuzuführen. Am Ende der 3 Minuten wird das Sensorausgangssignal mit einem bekannten Wert für Luft verglichen. Wenn der Genauigkeitstest fehlschlägt, bleibt die Warnung eingeschaltet.

[0063] Wenn sich die Sensorgenauigkeit innerhalb der Grenzen befindet, wird die Warnung deaktiviert und die C/M-Kombination öffnet die Magnetventile SV5 und SV6 für 2 Minuten, um für eine bekannte Strömung vom Anreicherungsapparat zu sorgen. Mit Ablauf der 2 Minuten wird das Ausgangsgas des Anreicherungsapparats mit einer vorbestimmten Minimalgrenze (die z. B. auf 45% Sauerstoff eingestellt ist) verglichen. Wenn der Funktionstest durchlaufen wird, bleibt die Warnung aus. Ein Fehlschlag führt zur Aktivierung der Warnung. Alternativ kann die C/M-Kombination die Magnetventile SV5 und SV6 zu Beginn des Befehls öffnen. Der Zeitpunkt, zu dem die Warnung aktiviert wird, differiert zwischen Fehlschlägen in der C/M-Kombination und im Anreicherungsapparat. Wenn der M-BIT-Test fehlschlägt, stellt ein kurzes Betätigen der Bit-Taste auf der Regler-Fronttafel die C/M-Kombination in den C-BIT-Modus zurück. Der M-BIT-Test kann auf die oben beschriebene Weise wiederholt werden, falls dies erwünscht ist.

[0064] In der Tabelle 1 ist eine Zusammenfassung für die Warnsignalbetätigung und die anwendbare Bedieneraktion dargelegt.

Tabelle 1. Zusammenfassung für die Betriebsmodi "Warnsignal"

MODUS	Warnsignal	Bedieneraktionen (Kommentare)
1) Spannungseinschalt-BIT (läuft ab)	AUS	(Elektroniktest für 1 bis 2 Sekunden; automatisches Anlegen der Spannung)
Spannungseinschalt-BIT (bestanden)	AUS	(automatisches Weitergehen zum Aufwärmen)
Spannungseinschalt-BIT (nicht bestanden)	EIN (Bei behalten)	Betätigen der BIT-Taste zum Wiederholen des PUB
2) Aufwärmen (läuft ab)*	AUS	(Sensoraufwärmung für 3 Minuten; kontinuierliche Prüfungen auf ein Einlassluftsignal; Umgehen des "Wartens", wenn Luft verfügbar ist)
3) Warten (Einlassluft verfügbar)*	AUS	(automatisches Weitergehen zum Sensorgenauigkeitstest)

Warten (keine Einlassluft verfügbar)*	EIN (Aktivieren)	Keine (EIN nach einer Aufwärmung von 3 Minuten; unbegrenztes Warten auf Einlassluftsignal; Betätigen der BIT-Taste hat keinen Effekt)
4) Sensorgenaugkeits-test (läuft ab)*	AUS	(Tests für 3 Minuten ab dem Zeitpunkt, zu dem Luft verfügbar ist; kann mit dem Aufwärmen kombiniert werden)
Sensorgenaugkeitstest (bestanden)	AUS	(automatisches Weitergehen zu C-BIT)
Sensorgenaugkeitstest (nicht bestanden)	EIN (Bei-behalten)	Betätigen der BIT-Taste zum Wiederholen des Sensorgenaugigkeitstests
5) Kontinuierlicher BIT-Modus (läuft ab)	AUS	Es kann I-BIT oder M-BIT betrieben werden. (Nur PPO2-Überwachung)
Kontinuierlicher BIT-Modus (nicht bestanden)	EIN (Aktivieren)	Keine (kontinuierliche Überwachung; die Warnung geht aus, wenn PPO2 bis über den Schwellenwert läuft; durch Betätigen der BIT-Taste wird I-BIT betrieben)
6) I-BIT (läuft ab/bestanden)	EIN/AUS/EIN	(Kann bis zu 2 Minuten benötigen)
I-BIT (läuft ab/nicht bestanden)	AUS/EIN Beibehalten	Betätigen der BIT-Taste zum Wiederholen von I-BIT (EIN nach einem Zeitablauf von 2 Minuten)
7) M-BIT (läuft ab/bestanden)	EIN/AUS	(Automatische Rückkehr zu C-BIT)
M-BIT (läuft ab/nicht bestanden; Genauigkeits-test)	EIN (Bei-behalten)	Betätigen der BIT-Taste zum Rückkehren zu C-BIT
M-BIT (läuft ab/nicht bestanden; Test des Anreicherungsapparats)	EIN/AUS/EIN (Bei-behalten)	Betätigen der BIT-Taste zum Rückkehren zu C-BIT

\*Kann gleichzeitig erfolgen, wenn Einlassluft während des Aufwärmens verfügbar ist.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern des Funktionsvermögens eines Sauerstoffanreicherungsapparats mit einem ersten Molekularsiebbett (BETT1), das über aufeinanderfolgende Steuerungsperioden hinweg entsprechend einem Taktzyklus zum abwechselnden Unterdrucksetzen und Fluten des ersten Molekularsiebets (BETT1) betrieben wird, und einem zweiten Molekularsiebbett (BETT2), das über die aufeinanderfolgenden Steue-

rungsperioden hinweg entsprechend dem Reziproken des Taktzyklus für abwechselndes Fluten und unter Druck setzen des zweiten Molekularsiebbetts (BETT2) betrieben wird,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

– die aufeinanderfolgenden Steuerperioden jeweils mehrere Taktzyklen beinhalten, die Zeitperioden beinhalten;

– und dass ferner die folgenden Schritte ausgeführt werden:

a) Einstellen von Zeitperioden während aufeinanderfolgender Taktzyklen und Zeitperioden während der entsprechenden reziproken Taktzyklen während jeder Sekunde einer der aufeinanderfolgenden Steuerperioden zum Verlängern der Zeitperiode der Unterdrucksetzung relativ zur Zeitperiode zur Flutung des ersten Molekularsiebbetts (BETT1) und zum Verlängern der Zeitperiode des Flutens relativ zur Zeitperiode des Unterdrucksetzens betreffend das zweite Molekularsiebbett (BETT2), um dadurch das Funktionsvermögen des Sauerstoffanreicherungsapparats zu beeinträchtigen, um die Konzentration des vom ersten Molekularsiebbett (BETT1) erzeugten Sauerstoffs zu verringern und Wasser aus dem zweiten Molekularsiebbett (BETT2) auszutreiben; und

b) Einstellen von Zeitperioden während aufeinanderfolgender Taktzyklen und Zeitperioden während der entsprechenden reziproken Taktzyklen während verbliebener Steuerperioden zum Verlängern der Zeitperiode des Flutens relativ zur Zeitperiode des Unterdrucksetzens des ersten Molekularsiebbetts (BETT1) und zum Verlängern der Zeitperiode des Unterdrucksetzens relativ zur Zeitperiode des Flutens betreffend das zweite Molekularsiebbett (BETT2), um dadurch Wasser aus dem ersten Molekularsiebbett (BETT1) auszutreiben und das Funktionsvermögen des Sauerstoffanreicherungsapparats zu beeinträchtigen, um die Konzentration durch das zweite Molekularsiebbett (BETT2) erzeugtem Sauerstoff zu verringern.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Taktzyklus des Unterdrucksetzens und des Flutens im Bereich von 50%–50% für höchstes Funktionsvermögen bis 80%–20% für niedrigstes Funktionsvermögen eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem alle Zeitperioden eines Taktzyklus während einer Steuerperiode gleich sind.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Zeitperiode zur Unterdrucksetzung des ersten oder des zweiten Molekularsiebbetts (BETT1; BETT2) verkürzt wird, wenn die Sauerstoffkonzentration einen vorbestimmten Minimalpegel erreicht.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Zeitperiode zur Unterdrucksetzung des ersten oder des zweiten Molekularsiebbetts (BETT1; BETT2) verlängert wird, wenn die Sauerstoffkonzentration einen vorbestimmten Maximalpegel erreicht.

6. Sauerstoffsystem für Luftfahrzeuge zum Bereitstellen von Sauerstoff mit kontrollierter Konzentration für die Kabine des Luftfahrzeugs, mit:

– einem Lufteinlass;

– einem Auslassstutzen;

– einem Schieberventil (V1), das mit dem Lufteinlass und dem Auslassstutzen verbunden ist;

– einem ersten und einem zweiten Molekularsiebbett (BETT1; BETT2), von denen jedes einen mit dem Schieberventil (V1) verbundenen Einlass und einen Auslass zur Kabine aufweist, wobei das erste und das zweite Molekularsiebbett (BETT1; BETT2) während aufeinanderfolgender Steuerperioden betrieben werden; dadurch gekennzeichnet, dass

– eine Steuerung das Schieberventil (V1) über aufeinanderfolgende Steuerperioden, von denen jede mehrere Taktzyklen mit Zeitperioden beinhaltet, in großen Höhen entsprechend einem Taktzyklus zum abwechselnden Unterdrucksetzen und Fluten des ersten Molekularsiebbetts (BETT1) und einem Reziproken dieses Taktzyklus zum abwechselnden Fluten und Unterdrucksetzen des zweiten Molekularsiebbetts (BETT2) betreibt, um an Sauerstoff angereichertes Gas zu erzeugen;

– wobei die Steuerung das Schieberventil (V1) zum Einstellen des Taktzyklus und des reziproken Taktzyklus während jeder Sekunde einer der aufeinanderfolgenden Steuerperioden steuert, um die Zeitperiode der Unterdrucksetzung relativ zur Zeitperiode zur Flutung des ersten Molekularsiebbetts (BETT1) zu verlängern und die Zeitperiode des Flutens relativ zur Zeitperiode des Unterdrucksetzens betreffend das zweite Molekularsiebbett (BETT2) zu verlängern, um dadurch das Funktionsvermögen des Sauerstoffanreicherungsapparats zu beeinträchtigen, um die Konzentration des vom ersten Molekularsiebbett (BETT1) erzeugten Sauerstoffs zu verringern und Wasser aus dem zweiten Molekularsiebbett (BETT2) auszutreiben; und

– die Steuerung das Schieberventil (V1) zum Einstellen des Taktzyklus und des reziproken Taktzyklus während verbliebener Steuerperioden steuert, um die Zeitperiode des Flutens relativ zur Zeitperiode des Unterdruckset-

zens des ersten Molekularsiebbetts (BETT1) zu verlängern und um die Zeitperiode des Unterdrucksetzens relativ zur Zeitperiode des Flutens betreffend das zweite Molekularsiebbett (BETT2) zu verlängern, um dadurch Wasser aus dem ersten Molekularsiebbett (BETT1) auszutreiben und das Funktionsvermögen des Sauerstoffanreicherungsapparats zu beeinträchtigen, um die Konzentration von durch das zweite Molekularsiebbett (BETT2) erzeugtem Sauerstoff zu verringern.

7. Sauerstoffsystem für ein Luftfahrzeug nach Anspruch 6, ferner mit einem Sauerstoffsensor (O2) zum Messen der Sauerstoffkonzentration des durch das erste und das zweite Molekularsiebbett (BETT1; BETT2) erzeugten Produktgases und zum Mitteilen der Sauerstoffkonzentration an die Steuerung zum Steuern des Taktzyklus und des reziproken Taktzyklus.

8. Sauerstoffsystem für ein Luftfahrzeug nach Anspruch 6, ferner mit einem eingebauten Testsystem zum Zuführen von Umgebungsluft zum Sauerstoffsensor (O2) für eine erste vorbestimmte Zeitperiode, zum Vergleichen der durch den Sensor erfassten Sauerstoffkonzentration in der Umgebungsluft mit einem vorbestimmten Schwellenwert und zum Aktivieren eines Alarms, um eine Fehlfunktion des Sensors anzuzeigen, wenn die Sauerstoffkonzentration nicht unter dem genannten vorbestimmten Schwellenwert liegt.

9. Sauerstoffsystem für ein Luftfahrzeug nach Anspruch 8, ferner mit einem System zum Prüfen des Funktionsvermögens des Sauerstoffanreicherungsapparats zum Zuführen eines vorbestimmten Flusses des Produktgases vom ersten und zweiten Molekularsiebbett (BETT1; BETT2) für eine weitere vorbestimmte Zeitperiode, zum Vergleichen der durch den Sensor erfassten Sauerstoffkonzentration des Produktgases am Auslass mit einem weiteren vorbestimmten Schwellenwert und zum Aktivieren eines Alarms zum Anzeigen einer Fehlfunktion der Molekularsiebbetten (BETT1; BETT2), wenn die Sauerstoffkonzentration nicht über dem weiteren vorbestimmten Schwellenwert liegt.

10. Sauerstoffsystem für ein Luftfahrzeug nach Anspruch 6, bei dem das Schieberventil (V1) mit einem Paar entgegenwirkender Luftzylinder (CYL1; CYL2) verbunden ist, die durch ein Paar von durch ein Steuersignal betriebenen Magnetventilen (SV1; SV2), die mit der Steuerung verbunden sind, abwechselnd unter Druck gesetzt und belüftet werden, so dass dann, wenn ein erster (CYL1) der Zylinder unter Druck gesetzt wird, der andere (CYL2) der Zylinder belüftet wird und das Schieberventil {V1} in einer ersten Richtung verschoben wird, um das erste Molekularsiebbett (BETT1) unter Druck zu setzen und das zweite Molekularsiebbett (BETT2) zu fluten, und dass dann, wenn der andere (CYL2) der Zylinder unter Druck gesetzt wird, der erste (CYL1) der Zylinder belüftet wird und das Schieberventil (V1) in der entgegengesetzten Richtung verstellt wird, um das zweite Molekularsiebbett (BETT2) unter Druck zu setzen und das erste Molekularsiebbett (BETT1) zu fluten.

11. System nach einem der Ansprüche 6 bis 10, bei dem die Zeitperiode zur Unterdrucksetzung des ersten oder des zweiten Molekularsiebbetts verkürzt wird, wenn die Sauerstoffkonzentration einen vorbestimmten Minimalpegel erreicht.

12. System nach einem der Ansprüche 6 bis 10, bei dem die Zeitperiode zur Unterdrucksetzung des ersten oder des zweiten Molekularsiebbetts verlängert wird, wenn die Sauerstoffkonzentration einen vorbestimmten Maximalpegel erreicht.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

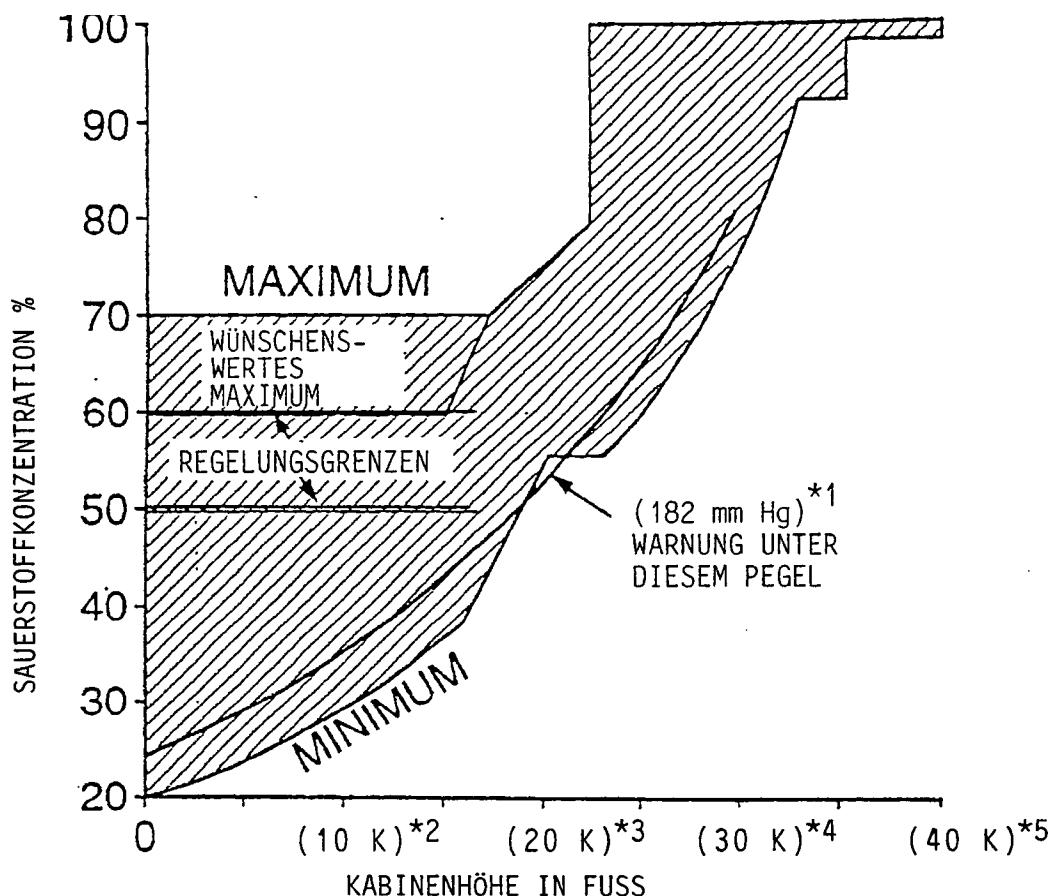


FIG.1

\*1: 24 264,604 Nm<sup>-2</sup>

\*2: 3 048,01 m

\*3: 6 096,02 m

\*4: 9 144,03 m

\*5: 12 192,04 m

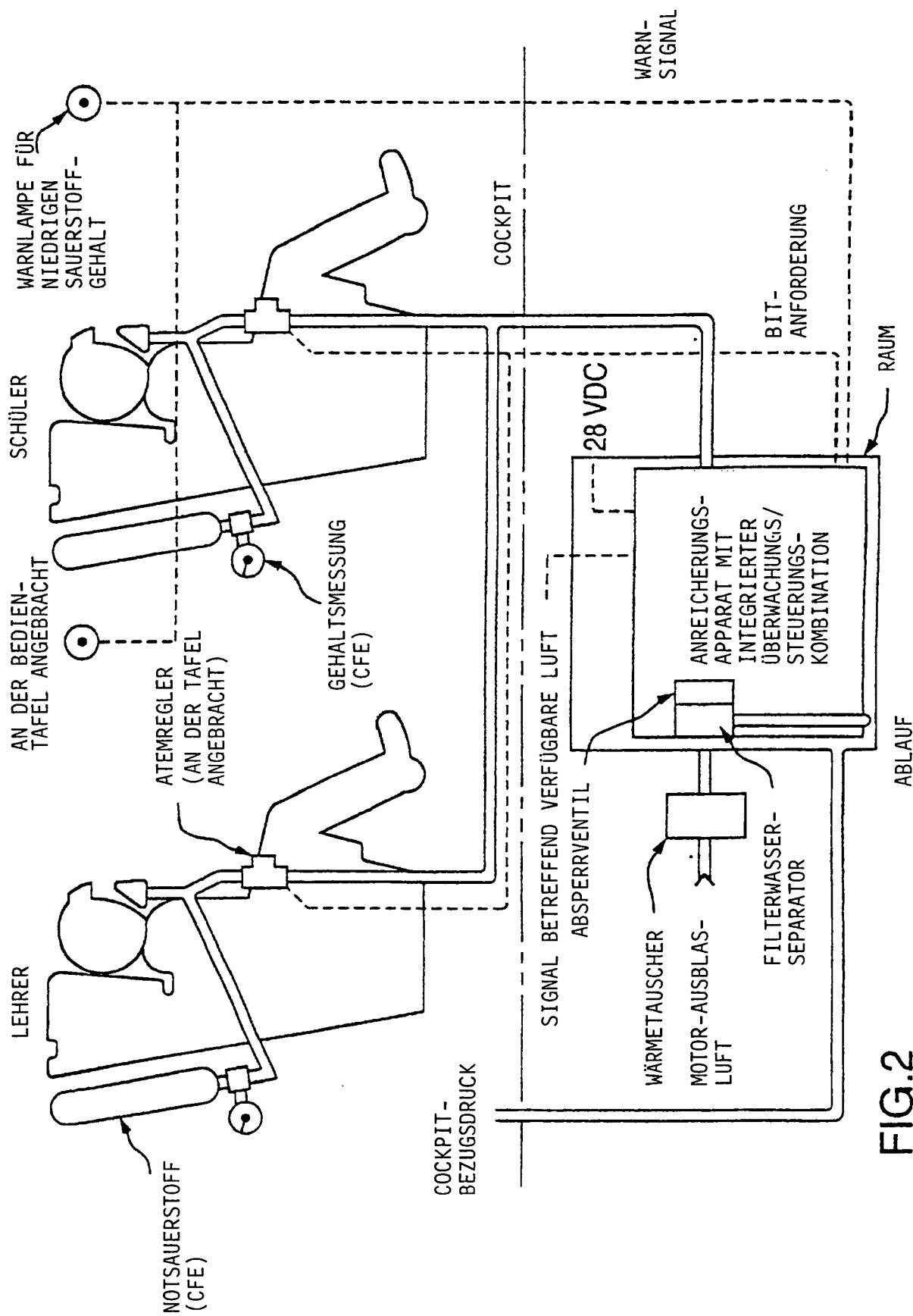


FIG. 2

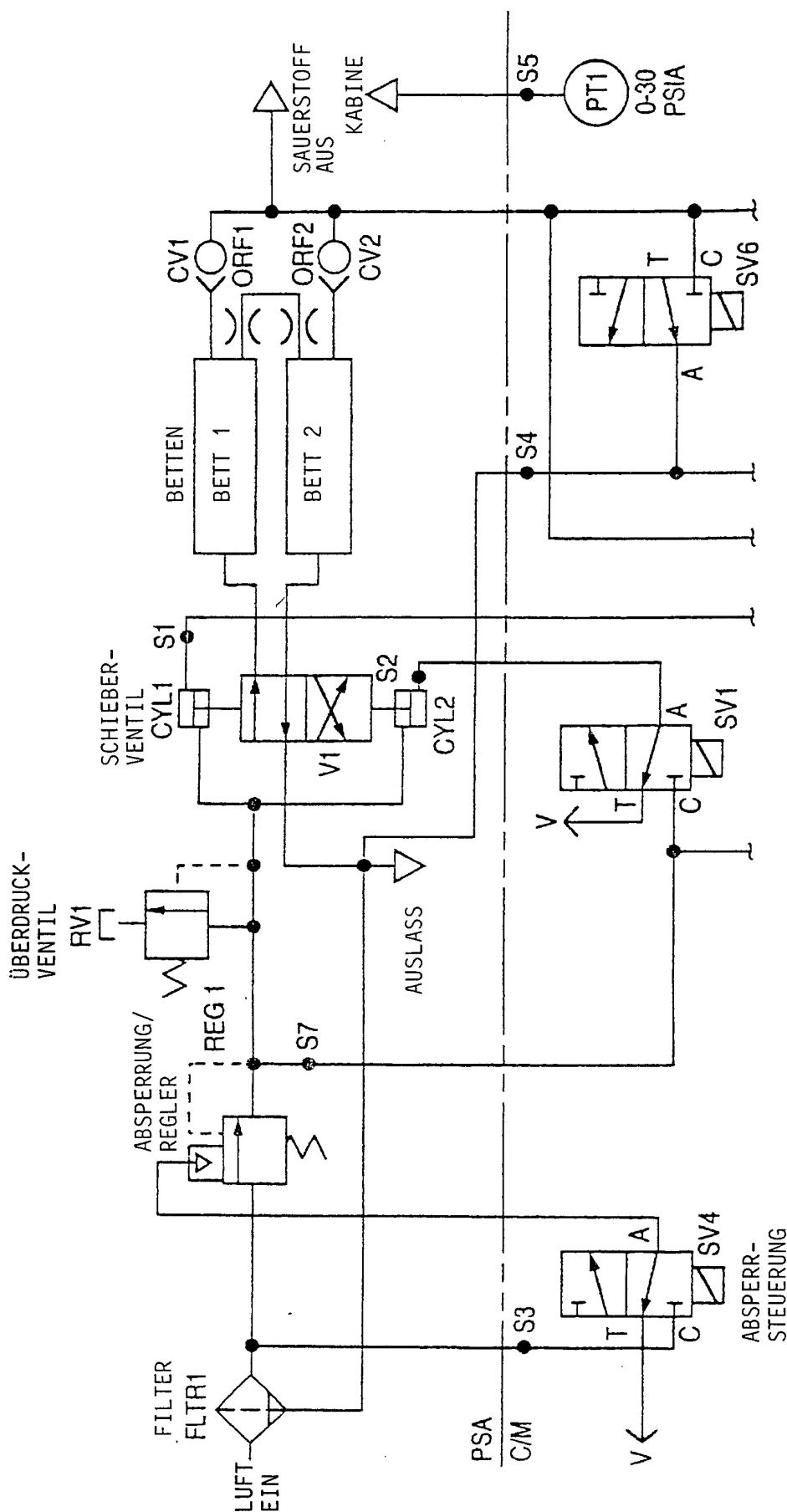


FIG.3A

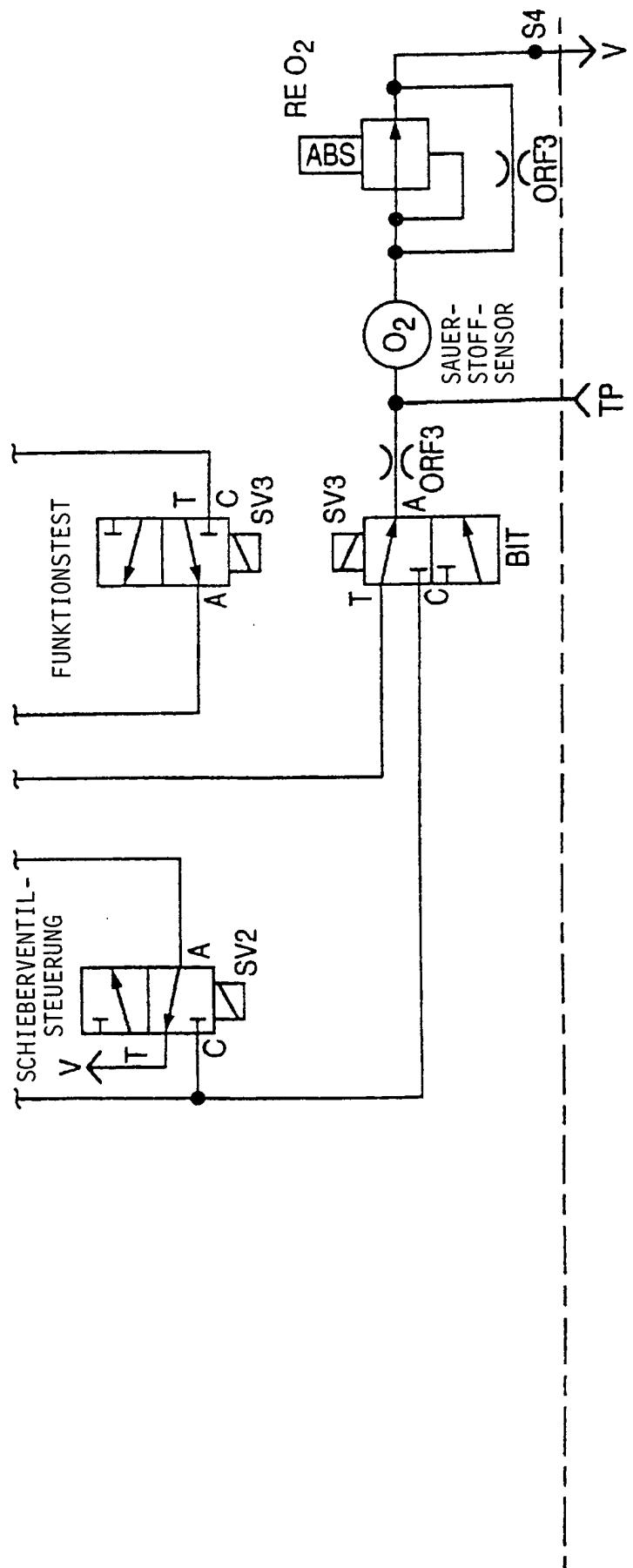


FIG.3B

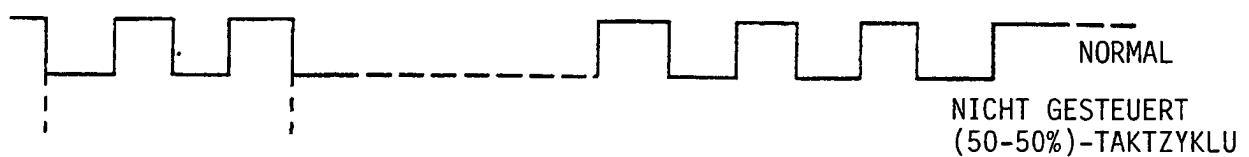


FIG.4A

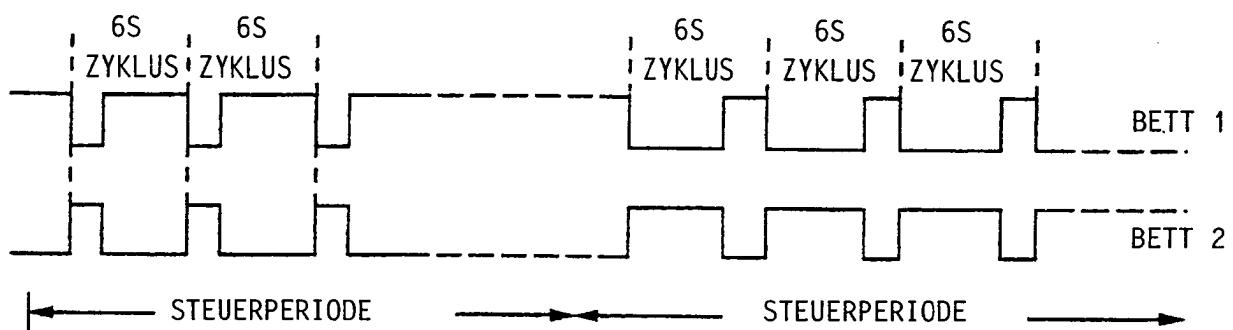


FIG.4B

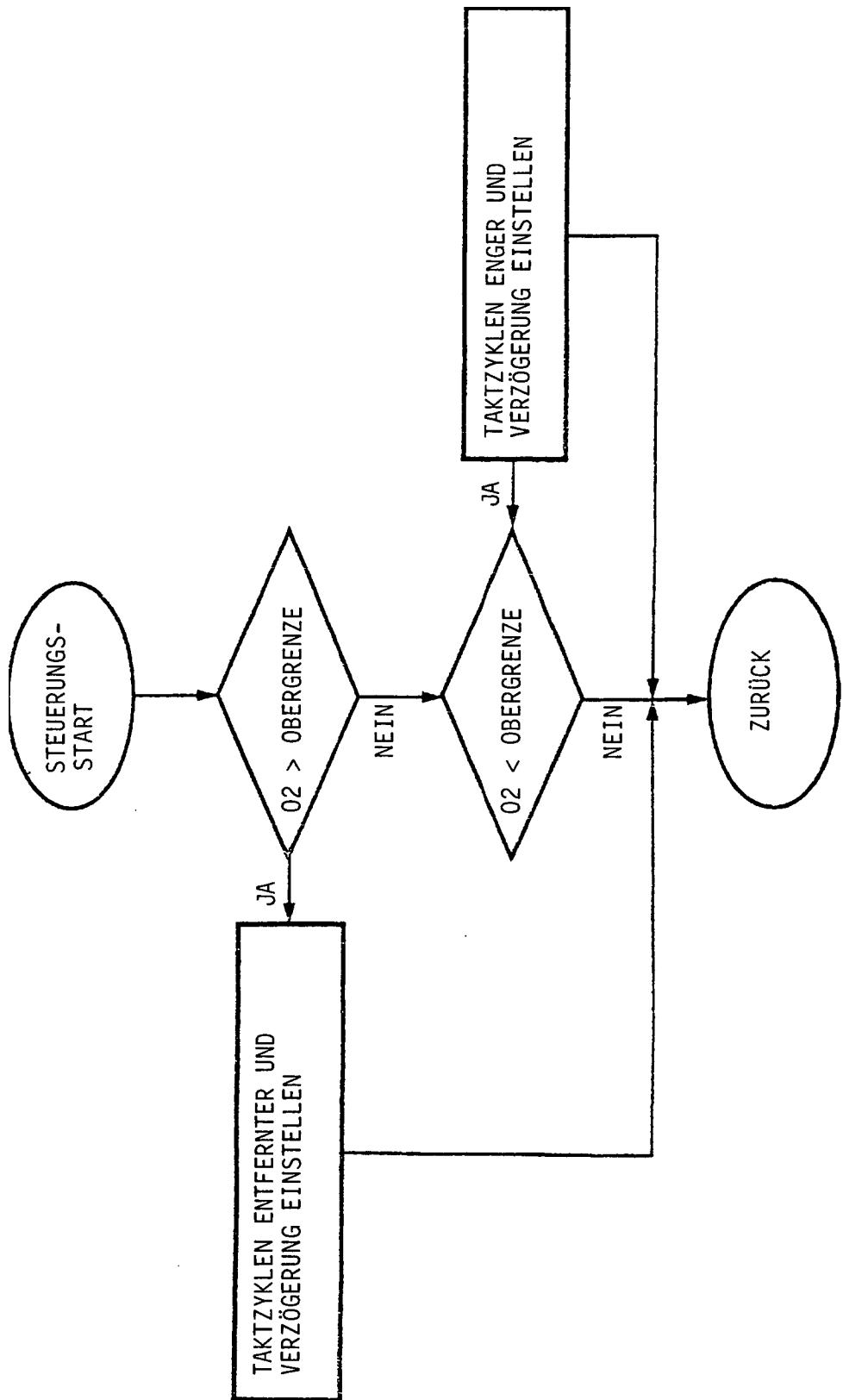


FIG.5

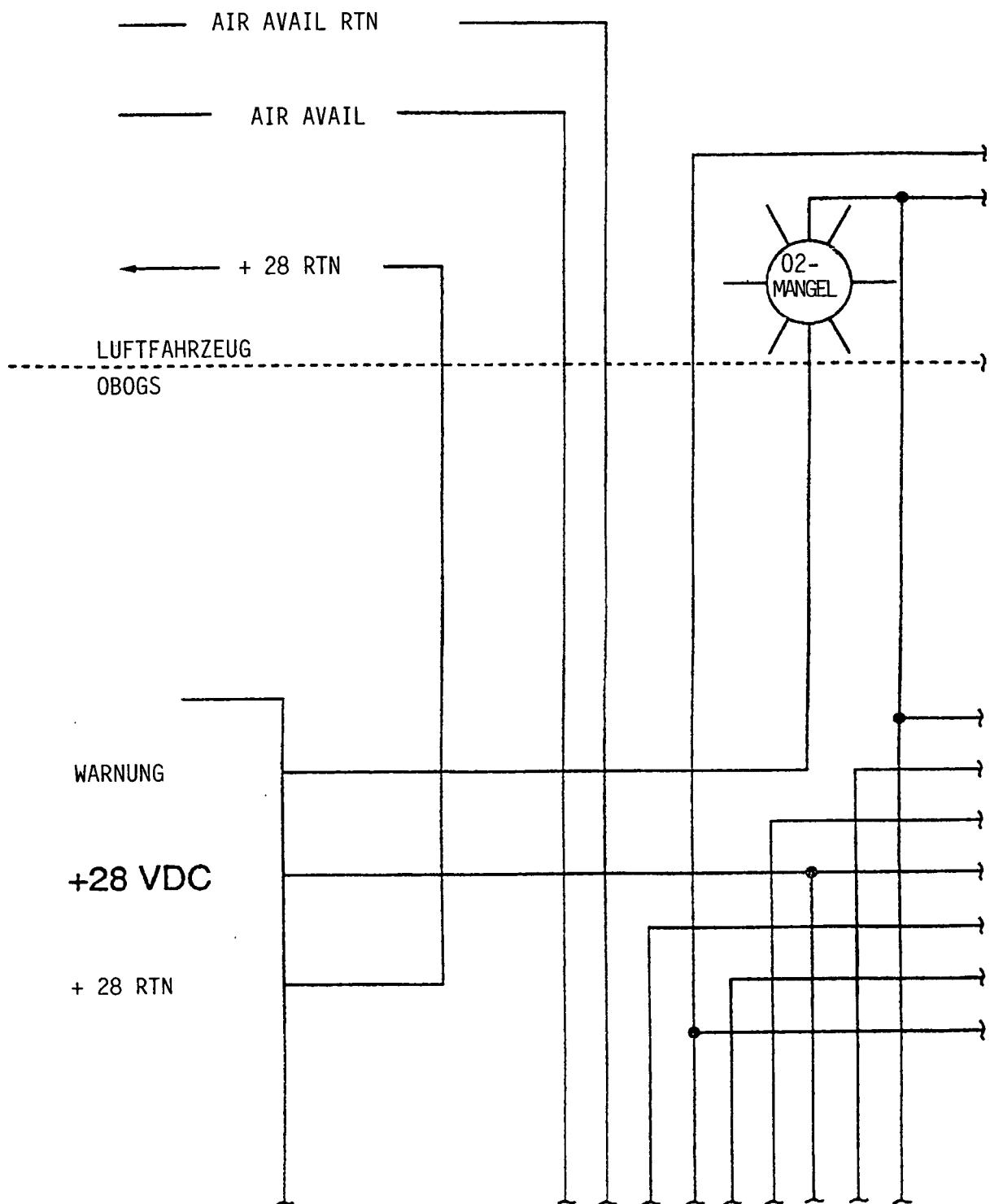


FIG.6A

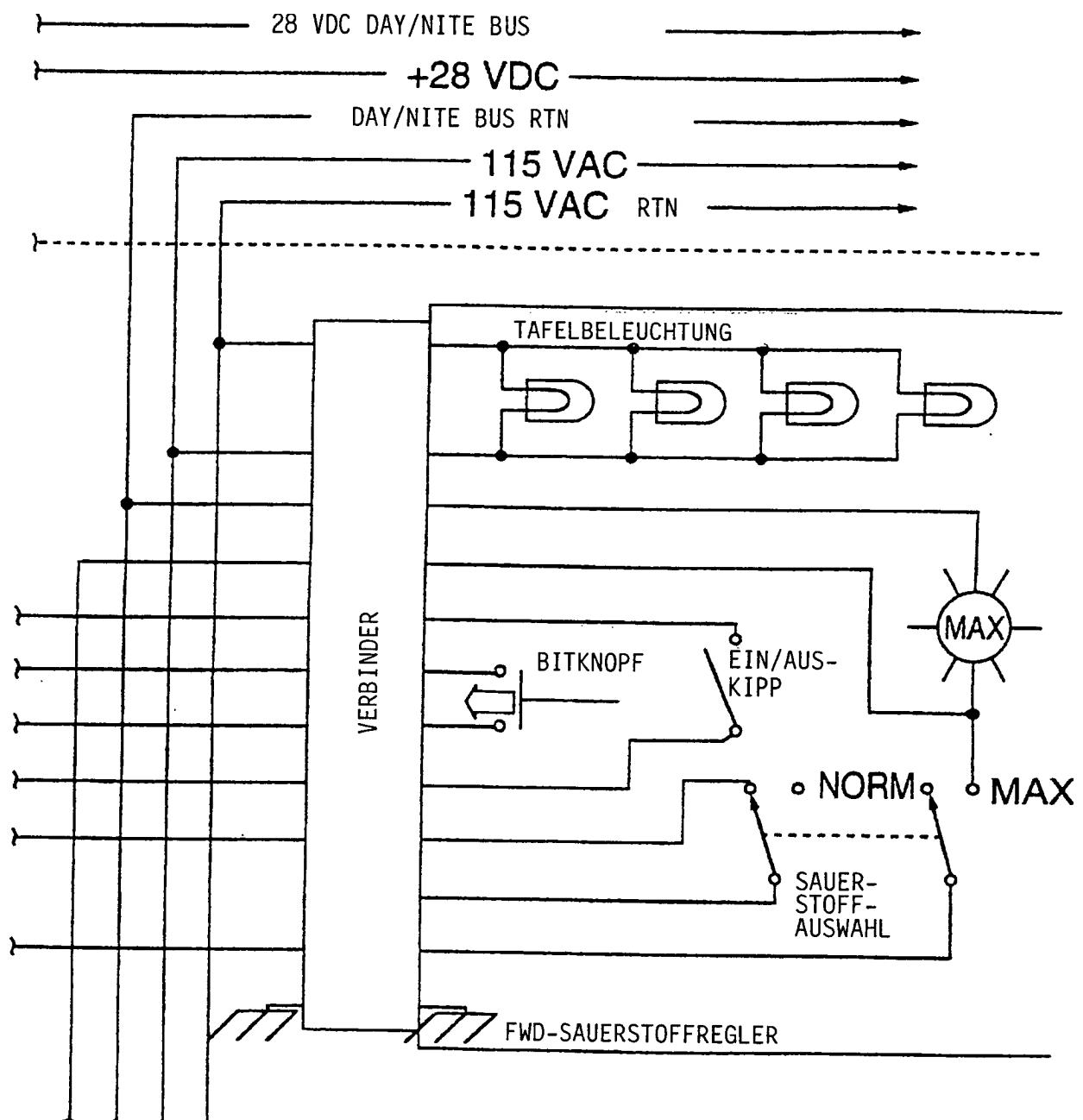


FIG.6B

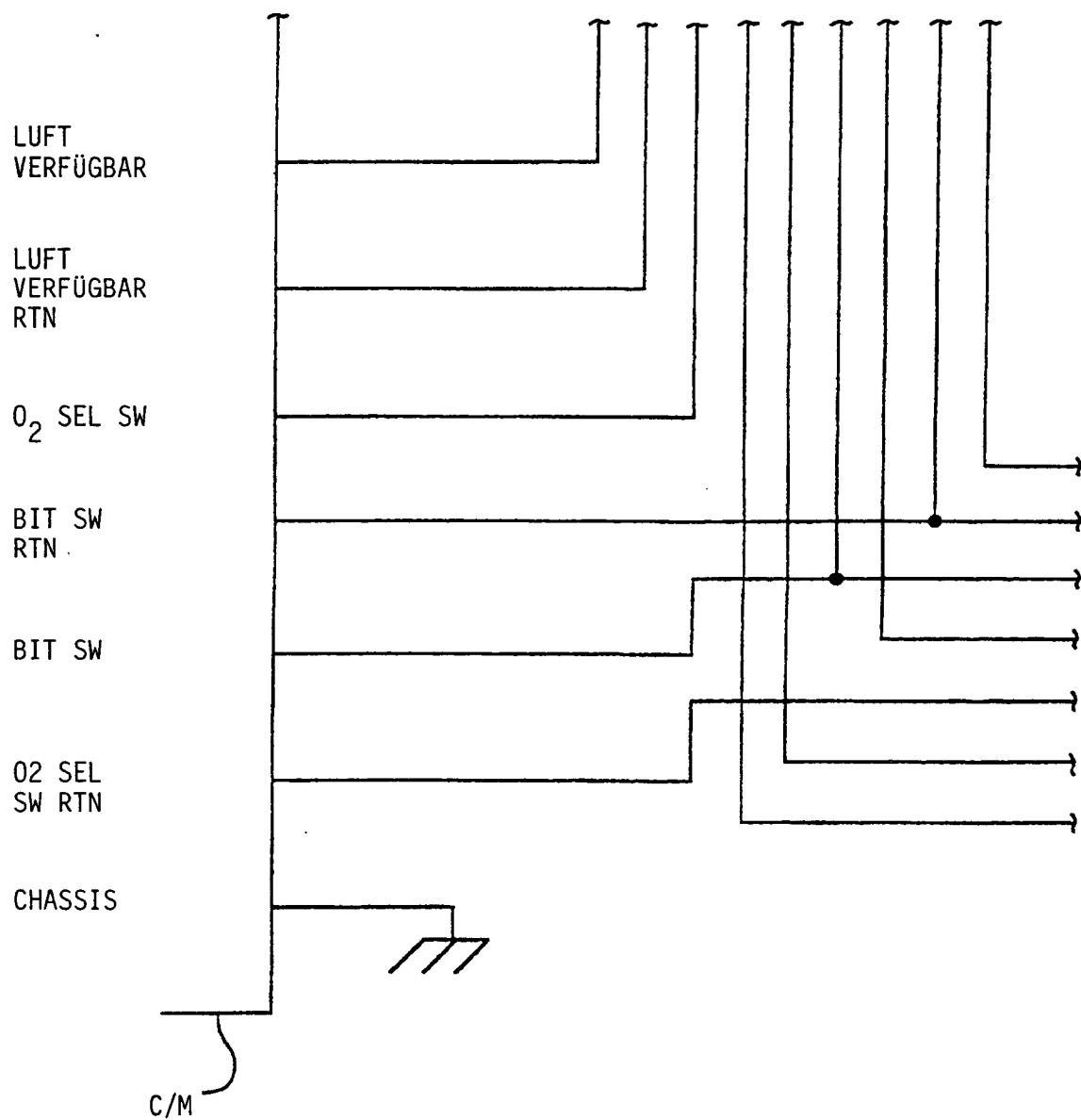


FIG.6C

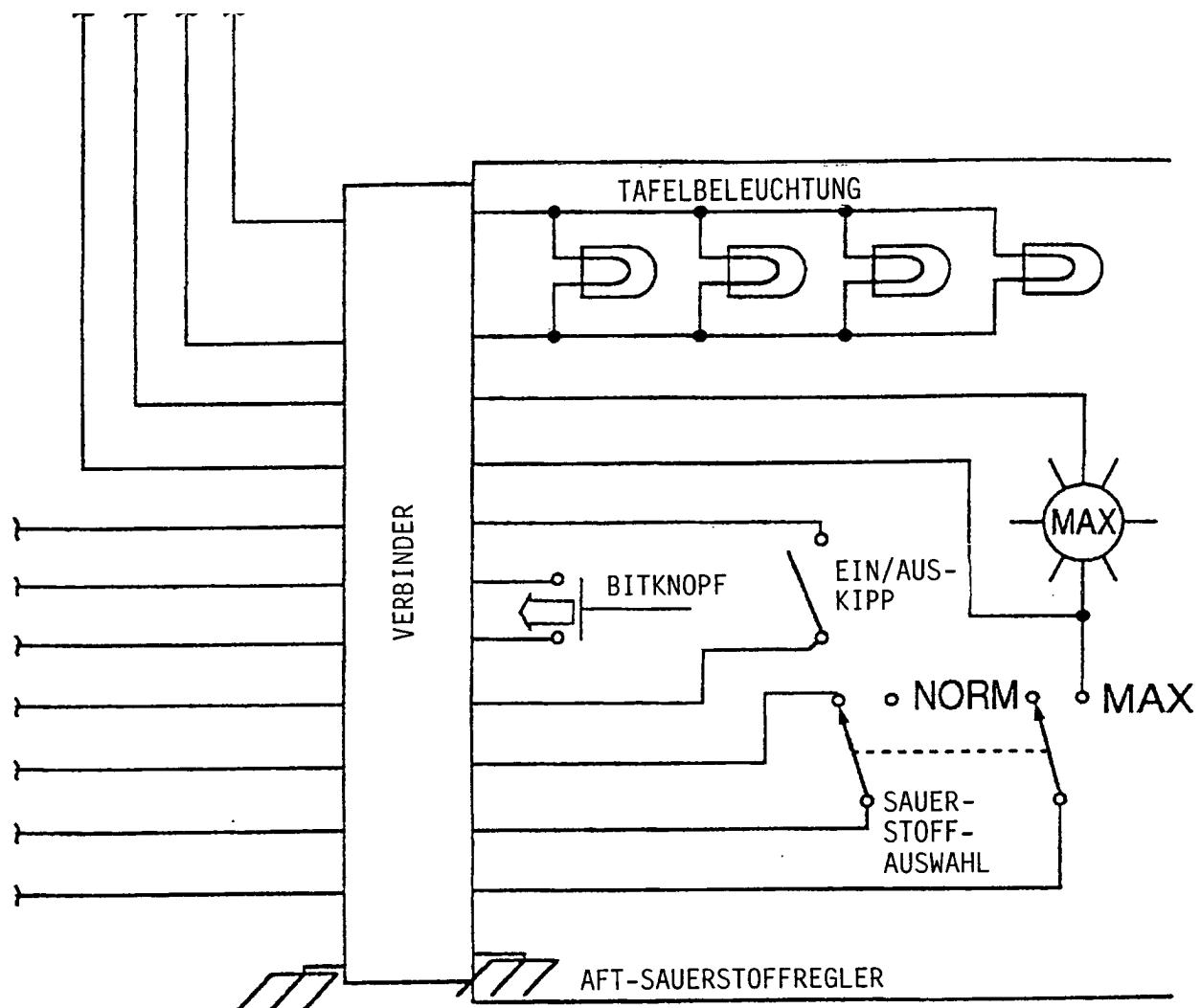


FIG.6D