(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 018 649 B4** 2018.10.31

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 018 649.1**
(22) Anmeldetag: **21.04.2005**
(43) Offenlegungstag: **26.10.2006**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **31.10.2018**

(51) Int Cl.: ***B60T 13/66*** (2006.01)
B60T 11/10 (2006.01)
B60T 13/12 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(62) Teilung in:
10 2005 063 659.4; 10 2005 063 664.0

(73) Patentinhaber:
IPGATE AG, Pfäffikon, CH

(74) Vertreter:
Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80538 München, DE

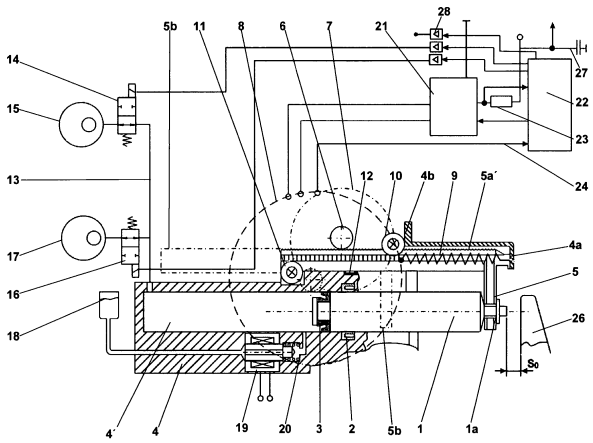
(72) Erfinder:
Leiber, Heinz, 71739 Oberriexingen, DE; Leiber, Thomas, 81925 München, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	**195 03 137**	**C1**
DE	**195 43 583**	**C1**
DE	**37 23 916**	**A1**
DE	**100 57 557**	**A1**
DE	**199 36 433**	**A1**
DE	**199 39 950**	**A1**
DE	**32 41 662**	**A1**
DE	**33 42 552**	**A1**
DE	**34 40 972**	**A1**
DE	**39 14 401**	**A1**
DE	**42 39 386**	**A1**
DE	**44 45 975**	**A1**
DE	**103 18 401**	**A1**
DE	**195 00 544**	**A1**
DE	**197 50 977**	**A1**
DE	**199 36 433**	**A1**
DE	**695 15 272**	**T2**
US	**6 315 371**	**B1**
US	**2003 / 0 160 503**	**A1**
US	**4 057 301**	**A**
US	**6 079 792**	**A**
WO	**2004/ 005 095**	**A1**

(54) Bezeichnung: **Bremssystem mit elektromotorisch angetriebenem Kolben-Zylinder-System**

(57) Hauptanspruch: Bremsanlage, eine Betätigungseinrichtung (30) und eine Steuer- und Regeleinrichtung (22) aufweisend, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung (22) anhand der Bewegung und/oder Position der Betätigungseinrichtung (30) eine elektromotorische Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) steuert, wobei die elektromotorische Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) einen Kolben (1) eines Kolben-Zylinder-Systems über eine nicht-hydraulische Getriebevorrichtung verstellt, so dass sich im Arbeitsraum (4', 4a', 4b') des Zylinders ein Druck einstellt, wobei der Arbeitsraum (4', 4a', 4b') über eine Druckleitung (13) mit einer Radbremse (15, 17) in Verbindung ist, wobei bei Ausfall der elektromotorischen Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) die Betätigungseinrichtung (30) den Kolben (1) verstellt, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckregelung unter Verwendung eines Kennfelds erfolgt, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung (22) mittels mindestens eines ersten Sensors die Kolbenposition und mittels eines zweitens Sensors den Strom ermittelt und unter Verwendung des Kennfelds die Position des Kolbens (1) einstellt, wobei das Kennfeld im Betrieb adaptiert wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bremsanlage, eine Betätigungseinrichtung, insbesondere ein Bremspedal, und eine Steuer- und Regeleinrichtung aufweisend, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung anhand der Bewegung und/oder Position der Betätigungseinrichtung eine elektromotorische Antriebsvorrichtung steuert, wobei die Antriebsvorrichtung einen Kolben eines Kolben-Zylinder-Systems über eine nicht-hydraulische Getriebevorrichtung verstellt, so dass sich im Arbeitsraum des Zylinders ein Druck einstellt, wobei der Arbeitsraum über eine Druckleitung mit einer Radbremse in Verbindung ist.

Stand der Technik:

[0002] Moderne Bremsanlagen bestehen aus Bremskraftverstärkung, d. h. Umsetzung der Pedalkraft in ein entsprechendes verstärktes Bremsmoment an den Radbremsen und Bremskraftregelung über offene oder geschlossene Regel- und Steuerkreise. Als Übertragungsmittel zur Erzeugung des Bremsdruckes aus der Pedalkraft wird bis auf wenige Ausnahmen im PKW-Bereich die hydraulische Leitung eingesetzt.

[0003] Weit verbreitet ist eine Aufteilung in Baueinheiten zwischen Bremskraftverstärkung (BKV) oder Bremskraftsteuerung und Bremskraftregelung in einer Hydraulikeinheit (HE). Diese Konfiguration wird vorwiegend eingesetzt bei Systemen wie Antiblockiersystem (ABS), Antischlupfsystem (ASR), Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) oder auch elektrohydraulischer Bremse (EHB).

[0004] Die Hydraulikeinheit (HE) besteht aus Magnetventilen, Mehrkolbenpumpen für 2-Kreis-Bremssyteme, Elektromotor zum Pumpenantrieb, hydraulischem Speicher und mehreren Druckgebern. Die Druckregelung erfolgt in der Weise, dass zur Bremsmomentreduzierung Druckmittel über Magnetventile aus den Radbremsen in einen Speicher abgelassen wird und von der Pumpe in den Hauptbremszylinder zurückgepumpt wird, was eine Pedalbewegung bewirkt. Sowohl Druckanstieg als auch -abfall wird über Magnetventile gesteuert, bei der teilweise Druckgeber für die Magnetventilsteuerung verwendet werden. Außer bei der EHB erfolgt die Bremskraftverstärkung mit dem Vakuum-BKV, welcher teilweise Schaltmittel und Sensoren beinhaltet zur sog. Bremsassistentfunktion und auch zur Erkennung des sog. Ansteuerpunktes. Als Energiequelle für das Vakuum wird bei Ottomotoren der Verbrennungsmotor genutzt, der aber als Direkteinspritzer, insbesondere bei größerer Höhe, nur noch ein schwaches Vakuum liefert. Bei Dieselmotoren wird eine mechanische oder elektrisch angetriebene Vakuumpumpe eingesetzt. Neueste ESP-Systeme sind in der Lage, durch Schaltung der Magnetventile und Pumpe eine zusätzliche Bremskraftverstärkung oder bei Ausfall des BKV eine Bremskraftverstärkung mit größerer Zeitkonstante zu erzielen. Die Beschreibung dieser Systeme und Funktionen ist ausführlich im Bremsenhandbuch Vieweg Verlag, Ausgabe 2003, beschrieben.

[0005] Mitte der 1980er Jahre wurde von Teves das sog. Mark II und von Bosch das ABS3 eingesetzt, welche als integrierte Einheiten alle Komponenten für Bremskraftverstärkung und Regelung beinhalteten mit hydraulischem BKV, s. Kraftfahrtechnisches Handbuch Bosch 1986, 20. Auflage. Aus Kostengründen haben sich diese Systeme nicht durchgesetzt, bis auf die Anwendung bei Sonderschutzfahrzeugen. Dasselbe gilt für voll elektrische Bremssysteme, sog. EMB, mit E-Motoren an den Radbremsen, die intensiv in Verbindung mit dem 42-V-Bordnetz entwickelt wurden. Neben den Mehrkosten ist hier ein neues redundantes Bordnetz für die Energieversorgung notwendig, um im Fehlerfall die Bremsfähigkeit eines Bremskreises sicherzustellen.

[0006] Zur Gattung der EMB-Systeme zählt auch die Keilbremse mit elektromotorischem Antrieb. Hierfür ist ebenfalls ein redundantes Bordnetz trotz des geringeren Energiebedarfes notwendig. Die konstruktive Realisierung der Keilbremse, welche aus Hysteresegründen zusätzliche Rollen benötigt, welche eine Integration in den Bremssattel erfordern, ist im Augenblick nicht gelöst. Die Keilbremse mit ihren elektromotorischen Antrieben mit Sensoren muss den harten Umgebungsbedingungen (Staub, Wasser, hohe Temperaturen) standhalten.

[0007] Die Systeme für BKV und HE sind sehr weit entwickelt, insbesondere die Steuer- und Regelfunktionen für ABS bis ESP. Z. B. ist durch die druckgeführte Steuerung der Magnetventile eine sehr feine Dosierung des Bremsdruckes möglich, mit dem auch eine variable Bremskraftabstimmung EBV möglich ist. Die Druckabbaugeschwindigkeit ist noch nicht optimal, da sie stark nichtlinear ist. Außerdem wird bei einem μ-Sprung oder bei kleinem Reibbeiwert die Druckabbaugeschwindigkeit durch die relative geringe Pumpleistung bestimmt, was zu großen Regelabweichungen führt und damit einen Bremswegverlust zur Folge hat.

[0008] Ein Bremssystem ist aus der DE 3342552 bekannt. Bei diesem Bremssystem dient der Hauptbremszylinder zur Erzeugung eines pedalabhängigen Drucks, der als Führungsgröße für eine elektronische Steuer-

und Regeleinrichtung dient, welche den Ausgangsdruck einer unmittelbar mit dem Bremskreis verbundenen elektrohydraulischen Servoeinrichtung auf einen durch die Führungsgröße bestimmten Wert regelt. Bei Ausfall der Regeleinrichtung oder der Servoeinrichtung selbst wird der Druck im Bremskreis vom Hauptzylinder erzeugt. Anstelle der im Normalbetrieb mittels des Hauptbremszylinders erzeugten Führungsgröße, ist es möglich, eine im Rahmen eines Antiblockiersystems oder im Rahmen einer Schlupfregelung der Antriebsregelung des Kraftfahrzeuges erzeugte Führungsgröße auf die elektronische Steuer- und Regeleinrichtung und somit auf die elektrohydraulische Servoeinrichtung einwirken lassen. Die Servoeinrichtung weist eine elektrisch betätigte hydraulische Kolben-Zylinder-Einheit auf, deren Arbeitsraum mit dem Bremskreis in Verbindung steht und deren Kolben mittels eines Elektromotors axial verstellbar ist. Die Drehbewegung des Elektromotors wird dabei über eine mit dem Kolben verbundene Spindel in eine Längsbewegung des Kolbens umgesetzt.

[0009] Aus WO2004/005095 A1 ist eine Bremsanlage vorbekannt, bei der ein Elektromotor über einen Spindelantrieb die Kolben eines Kolbenzylindersystems antreibt. Die Kolben sind dabei nicht mit der Spindel fest gekoppelt, so dass die maximale Kolbengeschwindigkeit beim Zurückfahren der Spindel und damit die maximale Druckabbaugeschwindigkeit von der Stärke der Druckfedern im Kolbenzylindersystem bestimmt ist. Der einzustellende Bremsdruck in den Radbremsen wird mittels eines Drucksensors ermittelt, wobei der Druck die Regelgröße der Bremsdruckregelung ist.

[0010] Die DE 3723916 A1 zeigt eine Bremsanlage mit einem hydraulischen Bremskraftverstärker, welcher neben der reinen Bremskraftverstärkung auch die ABS-Funktion realisiert. In der Druckleitung, welche das Kolbenzylindersystem und die jeweilige Radbremse verbindet ist jeweils nur ein Ventil angeordnet, welches zum Ändern des Druckes in der Radbremse geöffnet und zum Halten des Radbremsendruckes geschlossen ist. Auch bei dieser Bremsdruckregelung ist der Druck die Regelgröße.

[0011] Aus DE 195 00544 A1 ist ein elektronisch regelbares Bremsbetätigungssystem für blockiergeschützte Kraftfahrzeugbremsanlagen vorbekannt, bei dem mittels eines Bremspedals ein Hauptbremszylinder betätigbar ist. Mittels eines Sensors wird der Betätigungsweg des Bremspedals ermittelt, welcher eine Eingangsgröße für eine Steuereinheit darstellt, welche mehrere Bremsdruckgeber ansteuert, an welche die Fahrzeugbremsen direkt oder über Magnetventile mittels Hydraulikleitungen angeschlossen sind. Die Verbindung der Hydraulikleitungen zu dem Hauptbremszylinder ist durch eine Ventileinrichtung absperrbar. Um eine Erhöhung der Funktionssicherheit, insbesondere bei einem elektrischen Defekt bzw. Ausfall der Fahrzeugelektronik zu erreichen, kann der Kolben des Hauptbremszylinders in der Rückfallebene direkt mittels des Bremspedals zum Druckaufbau in den Radbremsen verstellt werden, wobei hierzu die Ventileinrichtung geöffnet ist. Die Bremsdruckgeber weisen jeweils einen elektrischen Antrieb auf, welcher einen Kolben in einem Zylinder verstellt, so dass sich im Bremskreis ein Druck einstellt, welcher mittels eines Drucksensors ermittelt wird und der Steuereinheit als Eingangsgröße zugeführt wird. Der Druck ist auch bei dieser Bremsdruckregelung die Regelgröße. Eine ähnlich arbeitende Bremsanlage ist aus DE 4239386 A1 vorbekannt.

[0012] Aus DE 4445975 A1 ist eine Bremsanlage für Kraftfahrzeuge bekannt, bei der der Bremsdruck in einer Radbremse mittels eines elektromotorisch angetriebenen Kolbens eines Kolben-Zylinder-Systems eingeregelt wird, wobei auch bei dieser Bremsanlage ein Drucksensor zur Messung der Regelgröße vorgesehen ist. Zum Halten des Bremsdrucks in der Radbremse dient ein 2/2-Wegventil, mittels dem die Hydraulikleitung zwischen dem Kolben-Zylinder-System und der Radbremse absperrbar ist.

[0013] DE 10318401 A1 offenbart eine motorgetriebene Fahrzeugbremsvorrichtung, bei der die Stellung des Bremspedals mittels eines Wegsensors ermittelt und an eine Steuereinheit übermittelt wird. Die Steuereinheit steuert in Abhängigkeit des Fahrzustandes und der Bremspedalstellung einen elektromotorischen Antrieb eines Kolben-Zylinder-Systems, welches zum Druckaufbau in den Bremskreisen dient. Eine mechanische Verbindung zwischen dem Kolben des Kolben-Zylinder-Systems und des Bremspedals ist nicht vorgesehen, so dass in der Rückfallebene kein Druck in den Radbremsen mittels des Bremspedals aufbaubar ist. Mittels den jeweiligen Radbremsen zugeordneten Ein- und Auslassventilen wird der Druck in den Radbremsen eingeregelt.

[0014] DE 19936433 A1 und DE 10057557 A1 offenbaren Bremsanlagen bei denen auf den von Bremspedal verstellbaren Kolben des Hauptbremszylinders mittels elektromagnetischer Antriebe eine unterstützende Kraft aufbringbar ist. Auch bei diesen Bremsanlagen ist der Druck im Hauptbremszylinder die Regelgröße des Bremsdruckregelvorganges.

[0015] Aus der DE 695 15 272 T2 geht eine Bremsanlage hervor, bei der in Abhängigkeit von einer Pedalposition eine Kolbenposition eingestellt wird. Die Einstellung der Kolbenposition erfolgt über die Vorgabe eines Stroms, wobei Fehler der Kolbenposition durch entsprechende Sensoren erfasst werden.

[0016] Ausgehend von der DE 195 00 544 A1 stellt sich die Aufgabe, eine verbesserte Bremsanlage bereitzustellen.

[0017] Diese Aufgabe wird vorteilhaft durch eine Bremsanlage mit den Merkmalen des Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Bremsanlage nach Anspruch 1 ergeben sich durch die Merkmale der Unteransprüche.

[0018] Das erfindungsgemäße Bremssystem zeichnet sich vorteilhaft dadurch aus, dass es die Bremskraftverstärkung und die Servoeinrichtung auf kleinsten Raum pro Bremskreis mittels lediglich einer Kolben-Zylinder-Einheit realisiert. Die Kolben-Zylinder-Einheit dient gleichsam für den Bremsdruckaufbau und Bremsdruckabbau, zur Realisierung der ABS- und Antischlupfregelung sowie bei Ausfall der Energieversorgung oder Fehlfunktion der Antriebsvorrichtung. Somit ergibt sich vorteilhaft eine kleine integrierte und kostengünstige Baueinheit für die Bremskraftverstärkung (BKV) und Regelung, womit eine Einsparung von Bauraum, Montagekosten und zusätzlichen hydraulischen und Vakuum-Verbindungsleitungen einhergeht. Zudem wirkt aufgrund der kurzen Baulänge, vorteilhaft z.B. der Federdom bei einem Frontcrash nicht auf den Hauptzylinder und das Pedalwerk ein.

[0019] Durch das vorteilhafte Vorsehen einer Sensorik sowie eines Wegsimulators, kann eine variable Pedalcharakteristik wie Brake-bywire-Funktion, d.h. Bremsdruckanstieg unabhängig von Pedalbetätigung frei variabel, auch unter Berücksichtigung der Bremswirkung des Generators bei rekuperierbaren Bremsen, eingeregelt werden.

[0020] Ferner erfolgt bei der entsprechenden Ausführung kein nachteiliges Durchfallen des Bremspedals bei Ausfall des Antriebs, da das Pedal direkt auf den Kolben des Systems wirkt. Vorteilhaft ergeben sich hierdurch gleichfalls geringere Pedalkräfte bei Ausfall der Energieversorgung, da die Kolben eine kleinere Wirkfläche haben als konventionelle Hauptbremszylinder. Dies ist möglich durch Trennung des Kolbenweges bei intakter und ausgefallener Verstärkung. Man spricht hier von einem Übersetzungssprung, der die Pedalkraft für dieselbe Bremswirkung um bis zu 40 % reduziert. Durch die Reduzierung des Gesamtaufwandes einschließlich der elektrischen Anschlüsse, ergibt sich zudem vorteilhaft eine Reduzierung der Ausfallrate.

[0021] Durch den elektromotorischen Antrieb ist weiterhin eine Verbesserung der ABS/ESP Regelung durch fein dosierte Drucksteuerung mit variablen Druckanstiegs- und insbesondere Druckabfallsgeschwindigkeiten realisierbar. Auch ist eine Druckabsenkung unter 1 bar im Bereich des Vakuums für Funktion bei kleinsten Reibkraftbeiwerten, z. B. nassem Eis, möglich. Ebenso ist ein schneller Druckanstieg bei Bremsbeginn z.B. 0 - 100 bar in weniger als 50 ms erzielbar, was eine erhebliche Bremswegverkürzung zur Folge hat.

[0022] Durch das vorteilhafte Vorsehen eines 2/2-Wegeventils für die Bremskraftverstärkung und die Regelfunktion benötigt die erfindungsgemäße Bremsanlage erheblich weniger Energie.

[0023] Es ist ferner möglich, für jeden Bremskreis oder jede Radbremse ein eigenes Kolben-Zylinder-System mit jeweils dazugehörigem Antrieb vorzusehen. Ebenso ist es möglich, ein Kolben-Zylinder-System zu verwenden, bei dem zwei Kolben in einem Zylinder axial verschieblich angeordnet sind, wobei die Zylinder hydraulisch gekoppelt sind und lediglich ein Kolben mechanisch von der Antriebsvorrichtung elektromotorisch angetrieben ist.

[0024] Nachfolgend werden verschiedene Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Bremsanlage anhand von Zeichnungen näher erläutert.

[0025] Es zeigen:

Fig. 1 : Eine erste Ausführungsform einer Bremsanlage mit einem Bremskreis für zwei Radbremsen;

Fig. 2: eine zweite Ausführungsform der Bremsanlage mit zwei Kolben-Zylinder-Systemen für zwei Bremskreise für jeweils zwei Radbremsen;

Fig. 3: einen Wegsimulator für das erfindungsgemäße Bremssystem;

Fig. 4: ein Kolben-Zylinder-System mit einem Zylinder und zwei Kolben;

Fig. 5 und **Fig. 5a**: Verbindung zwischen Betätigungseinrichtung und Kolben-Zylinder-Systemen;

Fig. 6: eine Seitenansicht der integrierten Baueinheit mit Gehäuse;

Fig. 7: Kennlinien des Bremssystems;

Fig. 8 und **Fig. 8a**: Kolbenantrieb über eine Kurbelschwinge

Fig. 9: Kolbenantrieb über eine Spindel

Fig. 10: Kolbenbetätigung mit überlagerter Pedalkraft

[0026] Die **Fig. 1** zeigt einen Ausschnitt aus der integrierten Einheit, die für die Druckerzeugung bzw. Bremskraftverstärkung zuständig ist. Hierbei wird der Kolben **1** mit den üblichen Dichtungen **2** und **3** im Zylindergehäuse **4** parallel zum Kolben über eine speziell gestaltete Zahnstange **5a** bewegt. Die Dichtung **2** ist so konzipiert, dass sie auch bei Unterdruck in der Kolbenkammer **4'** abdichtet. Diese Zahnstange **5a** überträgt die Kraft auf das vordere ballige Ende des Kolbens **1**. Dieser hat an dieser Stelle einen Bundbolzen **1a**, über den die Zahnstange **5a** mit Rückstellfeder **9** den Kolben in die Ausgangsstellung bringt. Hier liegt die Zahnstange am Zylindergehäuse 4a an. Diese außenliegende Feder hat den Vorteil, dass der Zylinder kurz baut und wenig Totraum hat, was für die Entlüftung vorteilhaft ist. Die Zahnstange hat wegen der Querkräfte eine Lagerung in den Rollen **10** und **11** mit Gleitstück **12**. Die **Fig. 1** zeigt deutlich, dass die parallele Anordnung der Zahnstange zum Kolben eine kurze Baulänge bewirkt. Die Baueinheit muss sehr kurz bauen, um außerhalb der Crashzone zu sein. Die Zahnstange ist durch ein in **Fig. 5a** dargestelltes H-Profil sehr biegesteif. Die Anordnung der Rollen ist so gewählt, dass die Zahnstange in der Endstellung **5b** (gestrichelt dargestellt) mit der größten Biegekraft durch die versetzt angreifende Druckkraft eine relativ kleine Biegelänge hat. Die Zahnstange wird über Zahnprofil **5a'** und Zahnrad **6** über das Getrieberad **7** vom Ritzel des Motors **8** angetrieben. Dieser Motor mit kleiner Zeitkonstante ist vorzugsweise ein bürstenloser Motor als Glockenläufer mit eisenloser Wicklung oder vorzugsweise ein Motor entsprechend der PCT-Patentanmeldungen PCT/EP2005/002440 und PCT/EP2005/002441. Dieser wird von den Endstufen **21** vorzugsweise über drei Stränge von einem Microcontroller (MC) **22** gesteuert. Hierfür misst ein Shunt **23** den Strom und ein Sensorsignal **24** und gibt die Position des Rotors und über entsprechende Zähler die Position des Kolbens an. Die Strom- und Positionsmessung wird neben der Motorsteuerung zur indirekten Druckmessung genutzt, da das Motormoment proportional zur Druckkraft ist. Hierfür muss im Fahrzeug bei Inbetriebnahme und auch während des Betriebs ein Kennfeld angelegt werden, in dem den verschiedenen Strömstärken die Position des Kolbens zugeordnet wird. Im Betrieb wird dann entsprechend der später beschriebenen Verstärkerkennlinie eine Position des Kolbens angefahren, die entsprechend dem Kennfeld einem bestimmten Druck entspricht. Stimmen Position und Motormoment nicht ganz überein, z. B. durch Temperatureinfluss, so wird das Kennfeld im Betrieb adaptiert. Dadurch wird das Kennfeld laufend adaptiert. Das Ausgangskennfeld wird gebildet aus vorzugsweise Druck-Volumen-Kennlinie der Radbremse, Motorkennwert, Getriebewirkungsgrad und Fahrzeugverzögerung. Mit letzterer kann eine pedalkraftproportionale Fahrzeugverzögerung erreicht werden, damit sich der Fahrer nicht auf unterschiedliche Bremswirkungen einstellen muss.

[0027] Der Kolben **1** erzeugt in der Leitung **13** einen entsprechenden Druck, der über das 2/2-Magnetventil (MV) **14** zur Radbremse **15** bzw. über Magnetventil MV **16** zur Radbremse **17** gelangt. Diese vorbeschriebene Anordnung hat mehrere Vorteile. Anstelle der zwei kostengünstigen kleinen Magnetventile könnte eine weitere Kolben-Motoreinheit eingesetzt werden wie sie in **Fig. 4** dargestellt ist. Dies bedeutet jedoch erheblich mehr Kosten, Gewicht und Bauraum.

[0028] Es genügt, für jeden Bremskreis eine Kolben-Motoreinheit einzusetzen.

[0029] Der zweite Vorteil ist der sehr kleine Energiebedarf und auch die Auslegung des Motors nur für Impulsbetrieb. Dieser wird erreicht, indem bei Erreichen des Sollwertes des Druckes bzw. Motormoments die Magnetventile geschlossen werden und der Motor anschließend nur noch mit geringer Stromstärke betrieben wird, bis vom Bremspedal ein neuer Sollwert vorgegeben wird. Damit wird der Energiebedarf bzw. die mittlere Leistung extrem klein. Z.B. würde bei einer herkömmlichen Auslegung bei einer Vollbremsung aus 100 km/h der Motor **3** einen hohen Strom aufnehmen. Entsprechend der Erfindung benötigt der Motor für den Kolbenweg nur ca. 0,05 s Strom, was 1,7 % ausmacht. Wenn die Werte auf die Leistung bezogen werden, so würde im herkömmlichen Fall das Bordnetz mit >1000 W über mindestens 3 s belastet und beim vorgeschlagenen Impulsbetrieb nur ca. 50 W mittlerer Leistung. Eine noch größere Energieeinsparung ergibt sich bei einer Vollbremsung aus 250 km/h mit Bremszeiten bis zu 10 s auf trockener Straße. Zur Entlastung der Impulsbelastung des Bordnetzes kann hier ein Speicherkondensator **27** in der Stromversorgung verwendet werden, der auch entsprechend der Linie mit Pfeil für die weiteren Elektromotoren verwendet werden kann.

[0030] In der Druckleitung **13** können vor oder nach dem Magnetventil Druckgeber eingesetzt werden, welche nicht dargestellt sind, da diese dem Stand der Technik entsprechen.

[0031] Der Kolben **1** wird über das Schnüffelloch mit Flüssigkeit aus dem Vorratsbehälter **18** versorgt. In dieser Leitung ist ein Magnetventil **19** eingeschaltet. Erfolgt eine schnelle Kolbenbewegung zur Druckreduzierung, so könnte die Dichtung **3** insbesondere bei kleinen Drücken Flüssigkeit aus dem Vorratsbehälter nachschnüffeln, was bekannter weise nachteilig ist. Hierzu wird das Niederdruck-Magnetventil **19** eingeschaltet und die Verbindung zum Vorratsbehälter unterbrochen. Mit dieser Schaltung kann auch Unterdruck in den Radkreisen **15**/**17** erzielt werden, was der Radregelung bei sehr kleinen Reibbeiwerten z. B. auf nassem Eis zugute kommt, da in der Radbremse kein Bremsmoment erzeugt wird. Andererseits kann das Nachschnüffeln bei Dampfblasenbildung bewusst genutzt werden, bei der der Kolben bereits am Anschlag ist ohne dass der entsprechende Druck erreicht ist. Hierbei werden die Kolben mit den Magnetventilen entsprechend gesteuert, so dass der oszillierende Kolben Druck aufbaut. Beim Verzicht auf diese Funktion kann an Stelle des Magnetventils **19** eine schnüffelfeste Dichtung **3** eingesetzt werden.

[0032] Die Magnetventile **14**, **16**, **19** werden über Endstufen **28** vom Microcontroller **22** gesteuert.

[0033] Bei Ausfall der Energieversorgung oder des Elektromotors wird der Kolben von einem Hebel **26** der Betätigungseinrichtung bewegt. Zwischen diesem und dem Kolben ist ein Spiel eingebaut, das verhindert, dass bei schneller Pedalbetätigung der Hebel auf den Kolben auftrifft, bevor der Motor den Kolben bewegt.

[0034] Die Regelfunktion bezüglich Radgeschwindigkeit und Raddruck bei ABS / ASR oder Gierrate und Raddruck bei ESP wurde in verschiedenen Publikationen dargestellt, so dass auf eine erneute Beschreibung verzichtet wird. In einer Tabelle sollen die wesentlichen Funktionen des neuen Systems gezeigt werden:

		Druck		Druck	
Funktionen	Elektromotor	Radbremse 15	Magnet-ventil 14 1	Radbremse 17	Magnet-ventil 15 1
	Ein	Aufbau	0	Aufbau	0
BKV	teilbestromt	P = konstant	1	P = konstant	1
	teilbestromt	Abbau	0	Abbau	0
	Ein	Aufbau	0	Aufbau	0
	teilbestromt	P = konstant	1	P = konstant	0
Bremsregelung	Ein	Aufbau	0	P = konstant	1
	teilbestromt	Abbau	0	P = konstant	1
	teilbestromt	Abbau	0	Abbau	0

[0035] Die Höhe der Teilbestromung richtet sich nach der von dem BKV oder der Bremsregelung gewünschten Druckanstiegs- oder Abbaugeschwindigkeit. Entscheidend ist hierfür eine extrem kleine Zeitkonstante des Elektromotors, d. h. ein zeitlich schneller Momentanstieg und Momentreduzierung über kleine bewegliche Massen des gesamten Antriebs, da die Kolbengeschwindigkeit die Druckänderungsgeschwindigkeit bestimmt. Zusätzlich ist für eine Bremsregelung eine schnelle und genaue Positionsregelung der Kolben notwendig. Bei der schnellen Momentenreduzierung wirkt zusätzlich die von den Bremssattel herrührende Druckkraft unterstützend, welche aber bei kleinen Drücken gering ist. Aber gerade hier soll auch die Druckabfallgeschwindigkeit groß sein, um große Regelabweichungen von der Radgeschwindigkeit auf z. B. Eis zu vermeiden.

[0036] Bei diesem Konzept besteht ein entscheidender Vorteil gegenüber der herkömmlichen Drucksteuerung über Magnetventile, da die Kolbengeschwindigkeit die Druckänderungsgeschwindigkeit bestimmt. Z. B. ist bei kleinem Differenzdruck am Druckabbau bestimmenden Auslassventil der Durchfluss und damit die Druckabsenkungsgeschwindigkeit gering. Die Kolbeneinheit kann wie bereits erwähnt für jedes Rad getrennt mit und ohne Magnetventil eingesetzt werden. Um die Vorteile des geringen Energieverbrauches zu nutzen, müsste der Elektromotor mit einer schnellen elektromagnetischen Bremse erweitert werden, welche aber aufwändiger ist. Die gezeigte Ausführung mit einer Kolbeneinheit und zwei Magnetventilen ist vom Bauraum und den Kosten her zu bevorzugen. Regelungstechnisch gilt jedoch hier die Einschränkung, dass bei einem Druckabbau an einem Rad das andere Rad keinen Druck aufbauen kann. Da jedoch die Druckabbauzeit ca. < 10 % der Druckaufbauzeit im Regelzyklus beträgt, ist diese Einschränkung ohne nennenswerten Nachteil. Die Regelalgorithmen müssen entsprechend angepasst werden z.B. muss nach einer Phase konstanten Drucks

von Öffnung des Magnetventils der Elektromotor mit einem Strom erregt werden, dem der passende Druck in der Radbremse gemäß der BKV-Kennlinie zugeordnet ist oder z.B. 20% höher ist als der vorausgegangene Blockierdruck im Regelzyklus. Alternativ kann z.B. auch während der Regelung ein adaptives Druckniveau eingesteuert werden, welches 20 % höher liegt als der höchste Blockierdruck der Achse oder des Fahrzeugs. Als Blockierdruck gilt der Druck, bei dem das Rad instabil in größerem Schlupf läuft.

[0037] Das Konzept bietet zusätzlich regelungstechnisch neue Möglichkeiten zur Druckabsenkung. Regelungstechnisch gilt, dass die Druckabsenkung und Bremsmomentreduzierung im Wesentlichen proportional zur Drehbeschleunigung des Rades, der Hysterese der Dichtung und umgekehrt proportional zum Trägheitsmoment des Rades sind. Aus diesen Werten kann jeweils der Betrag der erforderlichen Druckabsenkung berechnet werden und der Kolben kann bei geschlossenen MV bereits das entsprechende Volumen unter Berücksichtigung des beschriebenen Kennfeldes bereitstellen. Wenn dann das MV öffnet, erfolgt eine sehr schnelle Druckabsenkung praktisch in das Vakuum. Hierbei wird zugrunde gelegt, dass das MV durch entsprechende Öffnungsquerschnitte im Gegensatz zu heutigen Lösungen eine kleinere Drosselwirkung besitzt. Hierbei kann der Druckabbau schneller als bei konventionellen Lösungen über ein speziell bereitgestelltes Kammervolumen entsprechend der Druckvolumenkennlinie erfolgen. Alternativ ist eine Druckabsenkung in ein Kammervolumen, welches geringfügig größer als der notwendige Druckabbau ist, möglich, z.B. durch entsprechende Verstellgeschwindigkeit des Kolbens. Zur genauen Regelung des Druckabbaus ist hier eine sehr kleine Schaltzeit zum Schließen des Magnetventils notwendig, was vorzugsweise durch Vorerregung und/oder Übererregung gelöst werden kann. Außerdem ist es für Spezialfälle der Regelung vorteilhaft, Magnetanker des 2/2 Magnetventils über bekannte PWM-Verfahren in eine Zwischenstellung zu bringen, um eine Drosselwirkung zu erzeugen.

[0038] Der sehr schnelle Druckabbau kann möglicherweise Druckschwingungen erzeugen, die auf das Rad zurückwirken. Um diese schädliche Wirkung zu vermeiden, kann der Kolbenweg als weitere Alternative entsprechend, z.B. 80% des erforderlichen Druckabbaus angesteuert werden (schneller Druckabbau). Die restlichen erforderlichen 20% des Druckabbaus können dann durch eine anschließend gesteuerte langsame Kolbenbewegung langsam geschehen oder bei der Alternative mit der Druckabbausteuerung über Magnetventile durch Taktung des Magnetventils und gestuften Abbau. So werden schädliche Radschwingungen vermieden. Der langsame Druckabbau kann so lange fortgesetzt werden, bis das Rad bei der ABS-Regelung wieder beschleunigt.

[0039] Damit sind sehr kleine Regelabweichungen der Radgeschwindigkeit möglich. Sinngemäß kann die oben beschriebene Methode auch auf den Druckaufbau angewendet werden. Die Geschwindigkeiten der Druckerhöhung können nach regelungstechnischen Kriterien optimiert werden. Damit kann das Ziel erreicht werden, dass das Rad in unmittelbarer Nähe des Reibkraftmaximums gebremst wird und so optimale Bremswirkung bei optimaler Fahrstabilität erreicht wird.

[0040] Vorstehend wurden Spezialfälle der Regelung erwähnt, bei der eine Drosselwirkung vorteilhaft ist. Dies ist z.B. der Fall, wenn bei beiden Rädern gleichzeitig ein Druckabbau notwendig ist. Hier ist die Drosselwirkung vorteilhaft, bis der Stellkolben ein so großes Kammervolumen bereitgestellt hat, so dass von unterschiedlichem Druckniveau der dann anschließend schnelle Druckabbau in das Vakuum erfolgen kann. Ähnlich kann verfahren werden, d.h. wenn die Magnetventile im Ventilquerschnitt eine eingebaute Drossel haben und an beiden Radkreisen gleichzeitig Druckaufbau stattfinden soll. Der individuelle alternierende Druckaufbau ist jedoch zu bevorzugen wegen des dosierten Druckaufbaus mit Auswertung des Kennfeldes und geregelter Verstellgeschwindigkeit des Kolbens. Dasselbe alternierende Verfahren kann alternativ zu o.g. mit der Drosselwirkung für den Druckabbau angewandt werden. Als weitere Möglichkeit kann der Kolben bereits mit einem Regelsignal mit geringerer Ansprechschwelle als das Regelsignal für den Druckabbau zurückgefahren werden. Nach dem Stand der Technik ist dies das Signal, bei der der Regler eine Blockierneigung erkennt und das MV auf Druckhalten schaltet (siehe Bremsenhandbuch S. 52-53). Dieses Signal wird 5-10 ms vor dem Signal zum Druckabbau ausgegeben. Der vorgeschlagene schnelle Antrieb ist in der Lage, innerhalb von ca. 5ms ein Kammervolumen für 10 bar Druckabsenkung bereitzustellen.

[0041] Anhand der Kolbenstellung zum Druckabbau kann der Regler entscheiden, ob genügend Kammervolumen für den gleichzeitigen Druckabbau für beide Radbremsen bereit steht.

[0042] Diese Ausführungen zeigen, dass das Konzept mit dem schnellen und variabel geregelten elektromotorischen Kolbenantrieb und dem Magnetventil mit der Auswertung des Druckes und Kennfeldes ein hohes Potenzial für den Regler darstellt, was zusätzliche Bremswegverkürzungen und Fahrstabilität ermöglicht.

[0043] Die **Fig. 2** zeigt die gesamte integrierte Einheit für BKV und Regelfunktionen. Die Einheit besteht aus zwei Kolbeneinheiten mit zugehörigem Elektromotoren und Getrieben gem. **Fig. 1** für zwei Bremskreise und vier Radbremsen. Die Kolbeneinheiten sind im Gehäuse **4** untergebracht. Dieses Gehäuse ist an der Stirnwand **29** befestigt.

[0044] Das Bremspedal **30** überträgt die Pedalkraft und Bewegung über den Lagerbolzen **31** auf ein Gabelstück **32**, welches über ein Kugelgelenk auf die Betätigungseinrichtung **33** wirkt. Diese hat einen zylinderförmigen Fortsatz **34** mit einer Stange **35**.

[0045] Zylinder **34** und Stange **35** sind in einer Buchse **37** gelagert. Diese nimmt die Wegsimulatorfedern **36** und **36a** auf, wobei eine Feder schwach und die andere Feder stark progressiv im Kraftanstieg wirkt. Der Wegsimulator kann auch aus noch mehr Federn oder Gummielementen aufgebaut sein. Dieser gibt die Pedalkraftcharakteristik vor. Der Pedalweg wird von einem Sensor **38** erfasst, welcher im gezeichneten Beispiel nach dem Wirbelstromprinzip aufgebaut ist, in den die Stange **35** mit einem Target eintaucht.

[0046] Die Pedalbewegung wird auf die Elemente **32** und **33** übertragen, der Kolben **34** bewegt sich mit der Stange **35** in der Buchse **37**. An der Betätigungseinrichtung ist ein Hebel **26** drehbar gelagert, welcher bei Ausfall der Energieversorgung auf die Kolben trifft. Der Pedalwegsensor liefert das Wegsignal zum elektronischen Steuergerät, welches entsprechend der BKV Kennlinie, wie sie in **Fig. 7** beschrieben ist, eine Bewegung der Kolben über den Elektromotor bewirkt. Die Parameter dieser Kennlinie werden in **Fig. 7** näher beschrieben. Zwischen dem Hebel **26** und den beiden Kolben **1** ist ein Spiel s_o vorgesehen, wie in **Fig. 1** dargestellt. Die Betätigungseinrichtung hat über den Bolzen **39**, der versetzt dargestellt ist, eine Verdrehsicherung und eine Rückstellfeder **40**, welche die nicht gezeichnete Pedalrückstellfeder unterstützt. Nach dem Stand der Technik sind viele Wegsimulatorlösungen bekannt, welche auch teilweise hydraulisch über Kolben betätigt werden und über Magnetventile abgesperrt werden, wenn die Energieversorgung ausfällt. Diese Lösung ist aufwändig und hysteresebehaftet. Auch sind Lösungen bekannt, bei denen der Wegsimulatorweg bei Ausfall der Energieversorgung als Verlustweg eingeht bei Betätigung der Kolben zur Bremsdruckerzeugung.

[0047] Ziel der Erfindung ist eine einfache Lösung, bei der bei Ausfall der Energieversorgung der Wegsimulator ausgeschaltet wird. Zu diesem Zweck wird auf die Buchse **37** bei intakter Energieversorgung über den Ankerhebel **41** mit großem Übersetzungsverhältnis und den Haltemagneten **42** eine Gegenkraft ausgeübt, die entfällt, wenn die elektrische Energieversorgung ausfällt. Zur Reduzierung des Magneten können auch zweistufige Hebel eingesetzt werden. Im einzelnen wird dies in **Fig. 3** beschrieben. In diesem Fall kommt der Hebel über das Bremspedal mit den beiden Kolben nach Durchlaufen des Spiels so in Kontakt und kann somit die Pedalkraft auf die Kolben übertragen. Die Kolben sind so dimensioniert, dass sie bei vollem Pedalhub einen Druck erzeugen, welcher noch eine gute Bremswirkung ergibt, z. B. 80 %. Der Kolbenhub ist jedoch erheblich größer als der Pedalhub und kann bei intakter Energieversorgung und elektrischem Antrieb viel höhere Bremsdrücke erzeugen. Die entsprechende Pedalkraft kann jedoch der Fahrer nicht aufbringen. Man spricht bei dieser Auslegung von einem Übersetzungssprung, der mit Entkopplung der Betätigungseinheit mit Wegsimulator vom Kolben möglich ist. Bei konventioneller Bauweise, bei der BKV und Hauptbremszylinder mit Kolben hintereinander geschaltet sind, steigt die erforderliche Pedalkraft bei Ausfall der Energieversorgung bis zum Faktor **5** für denselben Radbremsdruck an. Bei der neuen Auslegung kann z. B. der Faktor auf 3 reduziert werden. Dieser Fall ist z. B. beim Abschleppen eines Fahrzeugs bei ausgefallener Batterie relevant.

[0048] Der Hebel **26** ist drehbar gelagert, damit er Toleranzen bei der Bewegung der Kolben berücksichtigen kann, z. B. infolge unterschiedlicher Entlüftung. Dieser Ausgleich kann auch begrenzt werden, so dass der Hebel auf einen Anschlag **33a** der Betätigungseinrichtung zur Anlage kommt.

[0049] Es müssen jedoch noch weitere Fehlerfälle betrachtet werden.

Ausfall eines Elektromotors.

[0050] In diesem Fall ist die Verstärkung und Regelung beim benachbarten intakten Kolbenantrieb voll wirksam. Über den Hebel **26** wird im ausgefallenen Kreis Bremsdruck erzeugt, nachdem er am Anschlag **33a** anliegt. Hier kann zusätzlich noch die Verstärkerkennlinie des zweiten Kreises erhöht werden, was die erforderliche Pedalkraft reduziert. Dies kann jedoch auch ohne Anschlag erfolgen.

Ausfall eines Bremskreises.

[0051] Hier fährt der Kolben auf Anschlag im Gehäuse **4**. Der intakte zweite Kreis ist voll wirksam. Es entsteht nicht wie bei konventionellen heutigen Systemen ein durchfallendes Pedal, welches den Fahrer bekanntlich sehr irritiert. Die Irritation kann auch zu einem vollen Verlust der Bremswirkung führen, wenn er das Pedal nicht durchtritt.

[0052] Die **Fig. 3** beschreibt die Funktion der Wegsimulatorarretierung. Im Grenzfall kann der Fahrer hohe Pedalkräfte aufbringen, was die Arretierung über den Ankerhebel **41** aufbringen muss. Um zu vermeiden, dass der Magnet **42** mit Erregerspule **43** diese Kräfte voll aufbringen muss, greift das obere ballige Ende **41a** des Hebels asymmetrisch an der Buchse **37** an. Wird nun das Pedal bis zum Auftreffen der Stange **35** auf den Boden **37b** ausgelenkt, so bewirkt diese Hebelwirkung eine leichte Verdrehung der Buchse **37**, was Reibung in der Führung erzeugt, wobei zusätzlich die Nase **37a** sich am Gehäuse **4** abstützen kann. Somit kann die Magnetkraft relativ klein gehalten werden. Der Magnet wird außerdem als Haftmagnet **42** ausgelegt, so dass infolge des kleinen Luftspaltes eine kleine Halteleistung notwendig ist. Bei Ausfall der Energieversorgung wird der Ankerhebel 41 von der Buchse **37** in die strichpunktierte Position **41'** ausgelenkt. Wenn die Betätigungseinrichtung **33** wieder in die Ausgangsstellung zurückgeht, bringt die Rückstellfeder **44** den Ankerhebel wieder in Ausgangsstellung.

[0053] Der Sensor **38** wurde an das Ende der Bohrung der Buchse im Gehäuse **4** versetzt, was Vorteile für die Kontaktierung mit dem el. Steuergerät hat, wie dies in **Fig. 6** dargestellt ist. Dasselbe gilt für den Bremslichtschalter **46**. In diesem Ausführungsbeispiel ist das Target **45** für den Wirbelstromsensor gezeichnet.

[0054] Die Arretierung des Wegsimulators über die Buchse **37** kann verändert werden, um die in **Fig. 7** beschriebene Pedalrückwirkung bei ABS zu vermeiden. Hierzu kann der Hebel **41** mit seiner Lagerung und Magnet **42** mit Aufnahme **42a** über einen Elektromotor **60** bewegt werden, der eine Spindel **60a** über ein Getriebe **60b** antreibt. An der Verlängerung der Spindel ist der Hebel gelagert und das Magnetgehäuse befestigt.

[0055] Die **Fig. 4** zeigt eine prinzipielle Darstellung einer Lösung mit nur einem E-Motor **7a**. Diese Beschreibung baut auf **Fig. 1** und **Fig. 2** auf. Das Antriebsritzel des Motors bewegt die Zahnstange **5c**, welche ähnlich **Fig. 1** auch parallel versetzt werden kann. Diese ist mit einem Kolben **1a** verbunden, welcher Druck im Bremskreis **13a** aufbaut und zugleich über den Druck den Kolben **1a** verschiebt, der im Bremskreis **13** Druck aufbaut. Diese Kolbenanordnung entspricht einem konventionellen Hauptbremszylinder für dessen Kolben und Dichtungsausführungen viele Varianten existieren. In den Bremskreisen sind wie bei den vorstehenden Figuren die 2/2-Wege-Magnetventile **14**, **14a**, **15'**, **15a** angeordnet. Die ABS Druckmodulation erfolgt in der zuvor beschriebenen Weise. Die BKV-Funktion erfolgt über einen parallel angeordneten Wegsimulation **36** und Wegsensor **38**. Auch hier ist zwischen Kolben **1a** und Bremspedal ein Spiel oder Leerhub s_0 vorgesehen. Die Bremsflüssigkeit gelangt vom Vorratsbehälter **18**, **18a** in die Kolbenkammern. Diese Anordnung ist kostengünstig. Die Dynamik der BKV-Funktion im Druckaufbau ist geringer als bei der Variante mit zwei Motoren, da der E-Motor das doppelte Moment aufbringen muss. Es entfällt außerdem die Redundanzfunktion des 2. Motors wie sie in **Fig. 7** beschrieben ist, einschließlich eines durchfallenden Pedals bei Bremskreisausfall.

[0056] Die **Fig. 5** zeigt die Ansicht von der Stirnwand auf die integrierte Baueinheit, deren Flansch **4b** mittels Schrauben **47** mit der Stirnwand verschraubt ist. Zu sehen sind hier die Betätigungseinheit **33**, Hebel **26** und ein nicht versetzt gezeichneter Bolzen **39** als Verdrehsicherung. Zum Größenvergleich ist hier die Umrisskontur eines 10"-Vakuum-BKV eingezeichnet. Hier zeigt sich ein wichtiger Vorteil in der Bauhöhe mit dem Deckel **48** des Vorratsbehälters. Entsprechend dem Abstand A könnte die Stirnwand abgesenkt werden, was die Designer wünschen. Auf der linken Seite des Flansches ist, mit Hinweis auf **Fig. 5a**, gestrichelt der Antrieb der Zahnstange **5** gezeichnet. Dieses Detail ist vergrößert als **Fig. 5a** auf der rechten Bildhälfte dargestellt. Das Ritzel des Zahnrades **6** greift auf beiden Seiten in die H-förmige Gestaltung der Zahnstange **5**. Die beschriebenen Querkräfte werden von der Rolle **10** bzw. **11** entsprechend **Fig. 1** mit Lagerung **10a** abgestützt. Aus Kostengründen kann die Zahnstange aus Kunststoff hergestellt werden. Da dessen Flächenpressung nicht ausreicht, werden hier harte Blechstreifen **49** eingelegt, die sich bei leicht balliger Ausbildung der Auflage an die Rollen anpassen. In das Ritzel **6** ist das Getrieberad **7** eingepresst, welches mit dem Motorritzel im Eingriff ist. Vorzugsweise ist das Ritzel im Motorgehäuse **8a** gelagert.

[0057] Die **Fig. 6** zeigt die Seitenansicht der integrierten Baueinheit mit Gehäuse **4**, Gabelstück **32** für Bremspedal **30**, Betätigungseinheit **33**, Flansch **45**, Befestigungsschrauben **47**, Deckel **48**. Diese Ansicht zeigt die kurze Baulänge, bei der auf der Vorderseite das elektronische Steuergerät **50** angebracht ist. Dieses ist nach dem Stand der Technik mit den Spulen bzw. einem Teil des Magnetkreises der Magnetventile **14** u. 16 ver-

bunden, um zusätzlich Kontaktierungs- und elektrische Verbindungsleitungen einzusparen. Dieses Merkmal kann erweitert werden, indem alle elektrischen Komponenten wie Elektromotor **8**, Magnetspule **43**, Wegsensor **38**, Bremslichtschalter **46**, Bremsflüssigkeitsniveaugeber **53** direkt mit dem Steuergerät ohne elektrische Verbindungsleitungen kontaktiert werden. In diesem Fall müsste das Steuergerät von oben Richtung **50a** eingebaut werden. Es ist jedoch auch in Richtung **50b** möglich, was eine geänderte Anordnung der Magnetspule zur Folge hat.

[0058] Die Magnetventile werden vorzugsweise auf einer Trägerplatte **51** befestigt, da diese aus Kostengründen in Aluminium mit hoher Bruchdehnung eingepresst werden. In diese Trägerplatte werden die Verschlussschrauben **52** für die Bremsleitungen eingeschraubt. Im mittleren Teil des Steuergerätes ist die Kontaktierung eingezeichnet, welche im Bereich **54** eine redundante Stromversorgung, im Bereich **55** die Busleitung, bei 56 die Sensoren für ABS und ESP beinhaltet.

[0059] Die **Fig. 7** zeigt die wesentlichen Kennlinien des Bremssystems. Dargestellt sind Pedalkraft F_P, Bremskraftdruck p und Pedalweg an der Betätigungseinheit. Üblicherweise wird von hier zum Pedalfuß eine Übersetzung von 4 bis 5 gewählt. Der Pedalweg hat sein Maximum bei $\mathbf{S_P}$ und die Kolben, wie bereits erwähnt, bei einem höheren Wert $\mathbf{s_K}$. Mit **57** ist die sog. Druck-Weg-Kennlinie dargestellt, welche hier z. B. einem Bremskreis entspricht. Der nicht lineare Verlauf resultiert aus verschiedenen Elastizitäten wie denen von Bremssattel, Dichtungen, Leitungen, Restlufteinschlüssen und Kompressibilität der Flüssigkeit. Diese Linie zeigt den Mittelwert eines Streubandes, das auch temperaturabhängig ist, insbesondere beim Bremssattel. Daher muss für die stromproportionale Drucksteuerung ein Kennfeld angelegt werden.

[0060] Die Kennlinien **59** zeigen den Ausfall des elektrischen Antriebs, bei dem nach dem Spiel $\mathbf{s_0}$ die Kolben betätigt werden. Zur Erreichung von z.B. 100 bar sind hier die beschriebenen erheblich höheren Pedalkräfte F_{PA} von ca. 600 N notwendig, was einer mehr als 40% geringeren Pedalkraft gegenüber den heutigen Lösungen entspricht.

[0061] Aus der Pedalstellung und dem Bremsdruck ist erkennbar, dass die Druckmodulation von 10 bar bei Blockierdrücken > 50 bar nicht auf das Pedal rückwirkt, da das Pedal bei $\mathbf{S_s}$ auf die Arretierung stößt. Bei kleineren Blockierdrücken erfolgt bei Druckabsenkung und Aufbau eine Rückwirkung auf das Pedal, wenn das Pedal voll durchgetreten ist, und ist damit vergleichbar mit heutigen Systemen ESP und ABS. Es ist jedoch möglich, die Rückwirkung zu reduzieren oder zu vermeiden durch Einsatz eines in **Fig. 4** beschriebenen Elektromotors **60**, der die Arretierung des Wegsimulators über einen Antrieb verstellt. Über den Kolbenantrieb **6** wird zur Druckabsenkung das Pedal zurückbewegt. Zu diesem Zeitpunkt verstellt der Motor den Antrieb mit kleiner Kraft. Damit ist auch eine Pedalbewegung zur Warnung des Fahrer möglich, z. B. bei Stau oder ähnlichem. Auch ohne diesen zusätzlichen Motor ist eine Rückwirkung möglich, wenn die Pedalbewegung größer als das Spiel S_o ist und die Kolben zur Warnung kurzzeitig zurückgefahren werden.

[0062] Die dickeren Linien sind die Verstärkerlinien **58** und **58a**, welche die Zuordnung von Pedalkraft F_P zum Bremsdruck zeigt. Bei ca. 50 % des maximalen Pedalweges ist der Wegsimulator bei Ss voll ausgesteuert. Dies hat den Vorteil, dass eine Vollbremsung mit kurzem Pedalweg möglich ist. Der Pedalweg wird dabei vom Sensor **38** erfasst. Die Zuordnung des Druckes zur Pedalkraft ist frei variabel und kann z. B. in der gestichelten Linie die Fahrzeugverzögerung mitberücksichtigen, indem diese als Korrekturwert in die Verstärkung eingeht, so dass bei Fading der Bremse bei derselben Pedalkraft ein höherer Druck eingesteuert wird. Diese Korrektur ist auch bei Systemen mit Rekuperation der Bremsenergie über den Generator notwendig, da die Bremswirkung des Generators berücksichtigt werden muss. Ähnliches gilt bei einer Panikbremsung mit hoher Pedalgeschwindigkeit. Hier kann überproportional zur Pedalkraft ein viel höherer Druck eingespeist werden, der mit einem Zeitverzug wieder der gezeigten statischen Kennlinie folgt (ausgezogene Linie) .

[0063] Bei F_{P1} wird in der Regel eine Fußkraft von 200 N für den Bremsdruck von 100 bar festgelegt. Dieser Druck entspricht der Blockiergrenze bei trockener Straße. In diesem Bereich ist die Wegsimulatorkennlinie fast linear, damit eine gute Dosierbarkeit gewährleistet ist. In der Regel genügt ein Maximaldruck von 160 bar, nach dem die Dauerstandfestigkeit der Elemente dimensioniert wird. Für seltene Beanspruchungen kann jedoch eine Reserve R vorgehalten werden, die z.B. wirksam werden kann, wenn bei 160 bar noch nicht die Blockiergrenze erreicht ist.

[0064] Der elektrische Antrieb kann für den Fall des Ausfalls der Energieversorgung als ausfallsicherer als der Vakuum-BKV angesehen werden, da für die vorgeschlagene Erfindung mindestens zwei Elektromotorenantriebe eingesetzt werden, d.h. einer redundant wirkt und bekanntlich als Gesamtausfallrate $\lambda_g = \lambda_1 \cdot \lambda_2$ gilt. Ein Ausfall der Energieversorgung während der Fahrt ist nahezu auszuschließen, da Generator und Batterie

gleichzeitig praktisch nicht ausfallen. Einem Bruch der elektrischen Stromversorgung wird durch die in **Fig. 7** beschriebene redundante Stromversorgung vorgebeugt. Der Vakuum-BKV ist mit Verstärkerelementen, Zuleitungen und ggf. Pumpe nicht redundant.

[0065] Die **Fig. 8** zeigt eine weitere Lösung des Kolbenantriebes. Anstelle der Zahnstange kann eine Kurbelschwinge **60** eingesetzt werden, welche über eine Zugstrebe **61** über den Lagerbolzen **62** mit dem Kolben verbunden ist. Die Rückstellfeder **9** wirkt auf die Kurbelschwinge, deren Ausgangsstellung durch den Anschlag **65** gegeben ist. Die Kurbelschwinge wird über ein mehrstufiges Getriebe **63** vom Motor **11** angetrieben.

[0066] Die **Fig. 8a** zeigt eine zweiarmige Kurbelschwinge **60** und **60a** mit zwei Zugstreben **61** und **61a**. Damit wirken auf den Kolben nur geringe Querkräfte. Das Getriebe **63** ist hier gekapselt in einem erweiterten Motorgehäuse **64** und wird von dem Antriebsritzel **11a** des Motors **11** angetrieben. Der Vorteil dieser Lösung liegt in der Kapselung des Getriebes, was Öl- oder Fettfüllung ermöglicht, Schrägverzahnung zulässt und damit höher belastbar und geräuschärmer ist.

[0067] Die **Fig. 9** zeigt eine weitere Alternative mit einem Spindelantrieb, welcher innerhalb des Rotors des Elektromotors angeordnet ist. Diese Anordnung ist aus der DE 195 11 287 B4 bekannt, die sich auf elektromechanisch betätigte Scheibenbremse bezieht. Bei der vorgestellten Lösung befindet sich die Mutter **67** als getrenntes Bauelement in der Bohrung des Rotors **66** und stützt sich auf den Flansch **66a** des Rotors ab. Auf diesen wirken die Druckkräfte des Kolbens **1**. Der Spindelantrieb wirkt zusätzlich als Untersetzungsgetriebe, wobei die Spindel **65** die Kraft auf den Kolben überträgt. Alle bisher gezeigten Antriebe haben ein fest mit dem Kolben gekoppeltes Untersetzungsgetriebe, welches bei Ausfall der Energieversorgung vom Bremspedal bewegt und bei schneller Pedalbetätigung mit Motor beschleunigt werden muss. Diese Massenträgheitskräfte verhindern eine schnelle Pedalbetätigung und irritieren den Fahrer. Um dies zu vermeiden, ist die Mutter in der Bohrung des Rotors axial beweglich, so dass bei Pedaleingriff der Kugelgewindetrieb ausgeschaltet ist. Die Mutter ist für den Normalbetrieb mit Elektromotor von einem Hebel 70 mm fixiert, welcher wirksam ist bei schneller Zurückstellung des Kolbens, insbesondere, wenn in der Kolbenkammer Vakuum herrscht. Dieser Hebel ist über die Welle **71** im Rotor gelagert und wird bei nicht drehendem Motor über die Feder **72** in eine Stellung bewegt, bei der die Mutter frei ist. Da der Antriebsmotor extrem schnell beschleunigt, wirkt hierbei die Fliehkraft auf den Hebel, und die Mutter ist für die Bewegung des Kolbens vom Hebel umschlossen.

[0068] Diese Bewegung kann auch durch einen gestrichelt gezeichneten Elektromagneten, bei dem der Hebel einen Drehanker darstellt, bewerkstelligt werden. Das von der Mutter erzeugte Verdrehmoment auf die Spindel wird von zwei Lagerstiften **69** und **69a** aufgefangen. Diese Stifte sind zugleich Träger der Rückstellfeder **9**. Der Rotor ist vorzugsweise in einem Kugellager **74** gelagert, welches die Axialkräfte des Kolbens aufnimmt und in einem Gleitlager **75**, was auch ebenfalls ein Wälzlager sein kann. Diese Lösung bedingt eine größere Baulänge, was im Vergleich mit **Fig. 9** deutlich wird, da die Eintauchlänge der Spindel in die Mutter gleich dem Kolbenhub ist. Um diese Verlängerung klein zu halten, ist das Motorgehäuse **74** unmittelbar am Kolbengehäuse **4** angeflanscht. Dies hat zusätzlich den Vorteil der unterschiedlichen Materialauswahl von Motor und Kolbengehäuse.

[0069] Die Mutter **67** kann auch direkt mit dem Rotor **66** verbunden werden, z. B. durch Einspritzen. Für die erforderlichen Kräfte kann eine Kunststoffmutter mit kleinem Reibungskoeffizienten eingesetzt werden.

[0070] Bei Ausfall eines Motors oder der Energieversorgung wirkt das nicht gezeichnete Pedal auf das Gabelstück entsprechend **Fig. 2** und über den Hebel **26** nach dem Leerweg so auf die Spindel **65** bzw. Kolben **1**. Da ein Blockieren des Antriebes bei dieser Lösung auszuschalten ist, kann der Anschlag **33** einen kleineren Abstand zum Hebel haben. Dies hat den Vorteil, dass die Pedalkraft voll auf den Kolben wirkt, wenn z. B. ein Elektromotor ausfällt. Sobald sich der Hebel bei der Verdrehung auf das gegenüber liegende Ende abstützt, wirkt nur noch die halbe Pedalkraft auf den Kolben. In der konstruktiven Ausgestaltung sind Spindel und Kolben entkoppelt, was nicht getrennt ausgeführt wurde.

[0071] Von Bedeutung ist die Rückstellung des Kolbens in die Ausgangsposition. Fällt der Motor in einer Zwischenstellung aus, so kann die Kolbenrückstellfeder zusätzlich unterstützt werden durch eine Spiralfeder **66a**, welche am Ende des Rotors **66** und dem Motorgehäuse **74** angeordnet und an diese angekoppelt ist. Diese soll das Rast- und Reibungsmoment des Motors ausgleichen. Dies ist besonders vorteilhaft für kleine Rückstellkräfte der Kolben, die bei Ausfall der Energieversorgung auf das Pedal wirken in Verbindung mit dem in **Fig. 9** beschriebenen Kupplungshebel.

[0072] Die **Fig. 10** zeigt eine weitere vereinfachte Ausführung mit einem elektromotorischen Kolbenantrieb, bei dem wiederum der Kolben **1** die Bremskraftverstärkung und Druckmodulation für ABS durchführt. Die Kolbenkammern **1'** sind entsprechend der **Fig. 1** bis **Fig. 9** über Leitungen **13** und **13a** mit den Radbremsen (nicht dargestellt) und mit den ebenfalls nicht dargestellten Magnetventilen verbunden. Der Aufbau entspricht **Fig. 8** mit Spindelantrieb **65** und mit Rotor **66**, fest verbundener Mutter **67**, Trennung von Motor und Kolben, Gehäuse **74** bzw. **4**, Kolbenrückstellfedern **9** und Lagerstift **69**, Spiralfeder **66a** zur Motorrückstellung. Die Pedalkraft wird ähnlich **Fig. 2** von einem Gabelstück **26** auf eine Betätigungseinrichtung **34** mit Stange **35** übertragen. Diese ist im Motorgehäuse **74** gelagert und trägt in der Verlängerung ein Target **45** z.B. für einen Wirbelstromsensor 38, welcher den Pedalweg misst. Die Betätigungseinrichtung wird über eine Feder **79** zurückgestellt. An der Betätigungseinrichtung **35** ist wiederum ein Hebel **26** gelagert, welcher am Ende in der Verbindung zum Kolben vorzugsweise Blattfedern **76** trägt, welche bei einer starken Blattfeder mit einem Weggeber **77** oder bei einer weicheren Feder mit einem Kraftgeber **77a** verbunden sind. In beiden Fällen soll hier die vom Hebel bzw. Pedal übertragene Kraft gemessen werden. Die Blattfeder **76** hat die Aufgabe bei Pedalbetätigung, eine harte Rückwirkung bevor der Motor losläuft zu vermeiden. Die Funktion erfolgt in der Weise, dass in einer bestimmten Funktion dieser Pedalkraft die Motore eine verstärkende Kraft auf den Kolben ausüben, wobei diese Kraft wiederum aus Strom und Kolbenweg oder einem Druckgeber ermittelt werden kann. Hierbei kann der Pedalweg über den Wegsensor **38** in dieser Verstärkerfunktion bzw. Kennlinie mitverarbeitet werden. Dieser Sensor kann auch zu Beginn der Bremsung bei kleinen Drücken in Verbindung mit der Rückstellfeder **76** die Verstärkerfunktion übernehmen. Hier übernimmt die Feder **79** die Funktion der Wegsimulatorfeder.

[0073] Das Motorgehäuse besitzt einen Flansch zur Befestigung der Einheit über die Schraubenbolzen **78** in der Stirnwand. Dieses vereinfachte Konzept hat nicht den Aufwand des Wegsimulators und Arretierung. Nachteilig ist die eingeschränkte Pedalwegcharakteristik der Verstärkerkennlinie, ein Durchfallen des Pedals bei Bremskreisausfall und höhere Pedalkräfte bei Ausfall der Verstärkung, da Pedalweg und Kolbenweg identisch sind. Diese Ausführung ist vorwiegend für kleine Fahrzeuge geeignet.

[0074] Bei der Ausführungsform gem. **Fig. 10** sind stellvertretend für alle Lösungen Sicherheitsventile **80** eingezeichnet, die wirksam werden, wenn z.B. ein Kolbenantrieb klemmt, wenn das Pedal in die Ausgangsstellung zurückgeht. Bei Pedalbewegung werden von einer konischen Verlängerung der Betätigungseinrichtung **35** die zwei Sicherheitsventile **80** betätigt, welche die Verbindung vom Bremskreis **13** bzw. **13a** zum Rücklauf schließen. Damit wird sichergestellt, dass bei Pedal in der Ausgangsstellung kein Bremsdruck im Bremskreis aufgebaut ist. Diese Ventile können auch elektromagnetisch betätigt sein.

[0075] Sicherheitsrelevante Systeme haben meistens eine getrennte Abschaltmöglichkeit für Fehler in den Endstufen, z.B. voller Stromfluss durch Durchlegierung. Für diesen Fall ist eine Abschaltmöglichkeit, z.B. durch ein herkömmliches Relais eingebaut. Der Diagnoseteil der elektrischen Schaltung erkennt diesen Fehler und schaltet das Relais ab, welches die Endstufen im Normalfall mit Strom versorgt. Auch bei den hier vorgeschlagenen Konzepten muss eine Abschaltmöglichkeit enthalten sein, welche durch ein Relais oder einen zentralen MOSFET realisiert ist.

[0076] In Anbetracht der Impulsansteuerung der Elektromotoren kann auch eine Schmelzsicherung eingesetzt werden, da das Puls-Aus-Verhältnis sehr groß ist.

Patentansprüche

1. Bremsanlage, eine Betätigungseinrichtung (30) und eine Steuer- und Regeleinrichtung (22) aufweisend, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung (22) anhand der Bewegung und/oder Position der Betätigungseinrichtung (30) eine elektromotorische Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) steuert, wobei die elektromotorische Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) einen Kolben (1) eines Kolben-Zylinder-Systems über eine nicht-hydraulische Getriebevorrichtung verstellt, so dass sich im Arbeitsraum (4', 4a', 4b') des Zylinders ein Druck einstellt, wobei der Arbeitsraum (4', 4a', 4b') über eine Druckleitung (13) mit einer Radbremse (15, 17) in Verbindung ist, wobei bei Ausfall der elektromotorischen Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) die Betätigungseinrichtung (30) den Kolben (1) verstellt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Druckregelung unter Verwendung eines Kennfelds erfolgt, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung (22) mittels mindestens eines ersten Sensors die Kolbenposition und mittels eines zweitens Sensors den Strom ermittelt und unter Verwendung des Kennfelds die Position des Kolbens (1) einstellt, wobei das Kennfeld im Betrieb adaptiert wird.

2. Bremsanlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Regeleinrichtung (22) den Kolben (1) im Betrieb anhand des Kennfeldes in eine Position fährt, die entsprechend des Kennfeldes einem bestimmten Druck entspricht.

3. Bremsanlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Regeleinrichtung (22) die Strom- und Positionsmessung neben der Motorsteuerung zur indirekten Druckmessung nutzt.

4. Bremsanlage nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Inbetriebnahme und auch während des Betriebes ein Kennfeld angelegt werden, in dem den verschiedenen Stromstärken die Position des Kolbens (1) zugeordnet wird.

5. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Regeleinrichtung (22) bei mit dem Motormoment nicht übereinstimmender Position des Kolbens (1) das Kennfeld adaptiert.

6. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kennfeld aus Druck-Volumen-Kennlinie der Radbremse, Motorkennwert, Getriebewirkungsgrad und Fahrzeugverzögerung gebildet ist.

7. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Regeleinrichtung (22) die Druckänderungsgeschwindigkeit über die Geschwindigkeit des Kolbens (1) unter Berücksichtigung der Druck-Volumen-Kennlinie der Radbremse einregelt.

8. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Sensoreinrichtung die Stellung der Betätigungseinrichtung (30) ermittelt.

9. Bremsanlage nach Anspruch 1 oder 8 **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Einrichtung, nämlich eine Haptikeinrichtung, zur Vorgabe oder Einstellung einer Kraft/Weg-Charakteristik der Betätigungseinrichtung (30) mit dieser in Wirkverbindung ist.

10. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Druckleitung (13) zur Radbremse (15, 17) ein von der Steuer- und Regeleinrichtung (22) gesteuertes Ventil (14, 16) angeordnet ist.

11. Bremsanlage nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ventil (14, 16) nach Erreichen des erforderlichen Bremsdrucks im Bremszylinder (15, 17) schließt und zur Einstellung eines neuen Bremsdrucks geöffnet ist.

12. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kolben (1) die erforderliche Druckänderung für die Bremskraftverstärkung (BKV) und das Antiblockiersystem (ABS) erzeugt.

13. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Feder (9) den Kolben (1) oder die elektromotorische Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) kraftbeaufschlagt, wobei die Federkraft in die Richtung wirkt, das der Arbeitsraum vergrößert wird.

14. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektromotorische Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) mindestens einen bürstenlosen Elektromotor (8) mit kleiner Zeitkonstante und/oder ein großes Beschleunigungsvermögen aufweist.

15. Bremsanlage nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Elektromotor (8) bei geschlossenem Ventil (14, 16) mit einem Erregerstrom bestromt wird, der dazu ausreicht, den Kolben (1) gegen die Federkraft in Position zu halten.

16. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Bremskreis ein Kolben-Zylinder-System aufweist.

17. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitsraum (4') über zwei oder mehr Druckleitungen (13) mit mehreren Bremszylindern in Verbindung ist, wobei jeweils ein Ventil (14, 16) in jeder Druckleitung (13) angeordnet ist.

18. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ventil (14, 16) ein 2/2-Wegeventil ist.

19. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kolben-Zylinder-System einen ersten und einen zweiten Kolben (1a, 1b) aufweist, welche in einem Zylinder axial verschieblich angeordnet sind, wobei der erste Kolben (la) mechanisch mit der elektromotorischen Antriebsvorrichtung (7a, 6, 5c) und der zweite Kolben (1b) hydraulisch mit dem ersten Kolben (la) gekoppelt ist, wobei die beiden Kolben (la, 1b) zwischen sich einen Arbeitsraum (4a') bilden, der über mindestens eine Druckleitung (13a) mit mindestens einem Bremszylinder verbunden ist, und der zweite Kolben (1b) mit dem Zylinder einen zweiten Arbeitsraum (4b') bildet, der über mindestens eine weitere Druckleitung (13) mit mindestens einem weiteren Bremszylinder verbunden ist.

20. Bremsanlage nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den Druckleitungen (13, 13a) von der Steuer- und Regeleinrichtung (22) gesteuerte Ventile (14, 15', 14a, 15a), nämlich 2/2-Wegeventile, angeordnet sind.

21. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Erzeugung der Bremskraftverstärkung die Betätigungseinrichtung (30) nicht oder nicht in direkter mechanischer Verbindung mit dem Kolben (la) oder der elektromotorischen Antriebseinrichtung (5c, 6, 7, 7a) ist, und lediglich bei Ausfall der elektromotorischen Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) oder bei Aktivierung des ABS der Kolben (la) in mechanischer Verbindung mit der Betätigungseinrichtung (30) ist.

22. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei Kolben-Zylinder-Systeme mit jeweils dazugehöriger Antriebsvorrichtung nebeneinander angeordnet sind, wobei die Betätigungseinrichtung (30) direkt oder über zwischengeschaltete Mittel bei Ausfall mindestens einer Antriebsvorrichtung mindestens einen der beiden Kolben (1) verstellt.

23. Bremsanlage nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Betätigungseinrichtung (30) einen Hebel oder den Drehpunkt einer Wippe (26) parallel zum Verstellweg der Kolben (1) der Kolben-Zylinder-Systeme verstellt, und jedes freie Ende eines Arms der Wippe (26) jeweils einem Kolben (1) zugeordnet ist.

24. Bremsanlage nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Begrenzungselement (33) den Verschwenkbereich der Wippe (26) begrenzt.

25. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 22 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wippe (26) an einem Kolben (34) gelagert ist, welcher in einem Zylinder parallel zu den von den Antreiben angetriebenen Kolben (1) verschiebbar gelagert ist, wobei der Kolben (34) mittels mindestens einer Feder (36, 36a) in Richtung Bremspedal druckbeaufschlagt ist, und die Feder (36, 36a) zusammen mit dem Kolben (34) einen sog. Wegsimulator bildet, und ein Sensor die Position des Kolben (34) bestimmt.

26. Bremsanlage nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kolbenhub des mit der Wippe (26) verbundenen Kolbens (34) durch einen Anschlag begrenzt ist, wobei der Anschlag über eine Stelleinrichtung abschaltbar ist.

27. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kanal den Arbeitsraum (4') der Kolben-Zylindereinheit mit einem Reservoir (18) verbindet, wobei der Kolben (1) den Kanal (20) beim Einfahren in den Zylinder verschließt und der Kanal (20) in der Ausgangsstellung bei fast oder vollständig zurückgefahrenem Kolben (1) geöffnet ist.

28. Bremsanlage nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Absperrventil, nämlich ein 2/2-Wegeventil (19) im Kanal (20) angeordnet ist.

29. Bremsanlage nach Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichtung (2, 3) des Kolbens bei schneller Rückstellung des Kolbens (1) aus dem Vorratsbehälter (18) keine Flüssigkeit infolge Vakuum im Arbeitsraum (4') nachschnüffelt.

30. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektromotorische Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) eine Zahnstange (5a) antreibt, welche parallel zum Verstellweg des Kolbens (1) verschieblich gelagert ist, wobei die Zahnstange (5a) über ein Koppelglied (5) mit dem Kolben (1) in Verbindung ist.

31. Bremsanlage nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Feder (9) das Koppelglied (5) oder die Zahnstange (5a) druckbeaufschlagt.

32. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerung in Abhängigkeit der Bewegung und/oder Kraftbeaufschlagung des Bremspedals (30) und/oder des Fahrzustandes und/oder Bremswirkung einer elektrischen Maschine eine entsprechende Bremskraftverstärkung einregelt.

33. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerung den Bremsdruck im Arbeitsraum des Zylinders aus dem Antriebsstrom des Antriebs ermittelt.

34. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Drucksensor zur Ermittlung des Bremsdrucks im Arbeitsraum des Zylinders vorgesehen ist.

35. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Regeleinrichtung (22) einen Speicher hat, in dem ein Kennfeld mit verschiedenen Parametern zur Steuerung des Antriebs gespeichert ist.

36. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Sensor einen Inkrementalgeber umfasst.

37. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Antrieb den Kolben aus dem Zylinder herausfährt, damit dieser mechanisch mit dem Bremspedal in Verbindung kommt und eine Kraft auf das Bremspedal (30) ausübt.

38. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerung zur Erzeugung eines schnellen Druckabbaus in der Radbremse vor dem Öffnen des jeweiligen Ventils (19) ein Unterdruck mittels des zugehörigen Kolbens durch Vergrößern des Arbeitsraumes (4') erzeugt.

39. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Regeleinrichtung (22) zum Aufbau eines erhöhten Blockierdrucks vor dem Öffnen des jeweiligen Ventils (19) den Elektromotor der elektromotorischen Antriebsvorrichtung (5c, 6, 7, 7a) mit ca. 120% des im Regelzyklus vorausgegangenen Blockierdrucks bestromt.

40. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass schnelle Energiespeicher für das Speichern von elektrischer Energie, nämlich Kondensatoren mit großer Kapazität, zur Erzeugung von Impulsströmen vorgesehen sind.

41. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein zusätzlicher Antrieb die Betätigungseinrichtung (30) oder den Anschlag des Wegsimulators verstellt, derart, dass im Normalbetrieb die Betätigungseinrichtung (30) nicht in mechanischer Verbindung zum Kolben (1) ist.

42. Bremsanlage nach Anspruch 41, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zusätzliche Antrieb auf einen Wegsimulator wirkt, wobei bei einem niedrigem Blockierdruck der zusätzliche Antrieb den Wegsimulator während der Druckabsenkung in die Ausgangsstellung zurückbewegt, derart, dass die Betätigungseinrichtung (30) mechanisch nicht mit dem Kolben (1) in Verbindung ist.

43. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und Regeleinrichtung (22) das Ventil zum schnellen Schließen vorerregt, so dass das Ventil durch eine kleine Erregungsverstärkung unmittelbar schließt.

44. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektromotorische Antriebsvorrichtung mindestens eine Kurbelschwinge (60, 61) aufweist, mittels derer der Kolben (1) verstellbar ist.

45. Bremsanlage nach Anspruch 44, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kurbelschwinge (60, 61) eine doppelarmige Kurbelschwinge (60, 60a) ist.

46. Bremsanlage nach Anspruch 44 oder 45, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Getriebe ein abgekapseltes Getriebe ist und im Motorgehäuse (4) eingelagert ist.

47. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 43, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kolben (1) mittels eines innerhalb von dem Rotor (66) eines Elektromotors angeordneten Spindelantrieb angetrieben ist.

48. Bremsanlage nach Anspruch 47, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rotor (66) über eine axial im Rotor (66) verschieblich gelagerte Mutter (67) den Kolben (1) antreibt, wobei die Mutter (67) über einen mittels Elektromagnet oder Fliehkraft betätigten Hebel (70) bei Drehung des Rotors (66) in axialer Position gehalten ist, und bei Ausfall des elektrischen Antriebs die Spindel (65) mitsamt der Mutter (67) axial im Rotor (66) verschiebbar ist.

49. Bremsanlage nach Anspruch 47 oder 48, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Verdrehsicherung der Spindel (65) über zwei Lagerstifte (69, 69a) außerhalb des Kolbens (1), welche zugleich die Kolbenrückstellfedern (9) aufnehmen, erfolgt.

50. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 47 bis 49, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Drehfeder (72) den Motor zurückstellt.

51. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bremsanlage eine zur Pedalkraft proportionale Verstärkung einregelt, wobei die Bremsanlage die Pedalkraft am Kolben (1) ermittelt.

52. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen der Betätigungseinrichtung (30) und dem jeweiligen Kolben (1) eine Blattfeder (76) angeordnet ist, wobei die Blattfeder (76) an der Wippe (26) angeordnet ist, und dass an der Wippe oder der Blattfeder (76) ein Kraft und/oder Wegsensor zur Pedalkraftmessung angeordnet ist.

53. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kanal den Arbeitsraum (1') mit dem Reservoir (18) verbindet, in dem ein Sicherheitsventil (80) angeordnet ist, welches im Falle eines klemmenden Kolbens (1) öffnet und den Arbeitsraum (1') zum Druckabbau im Arbeitsraum (1') mit dem Reservoir (18) verbindet.

54. Bremsanlage nach Anspruch 53, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sicherheitsventil (80) ein mechanisch-hydraulisches oder ein elektromagnetisches Ventil ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

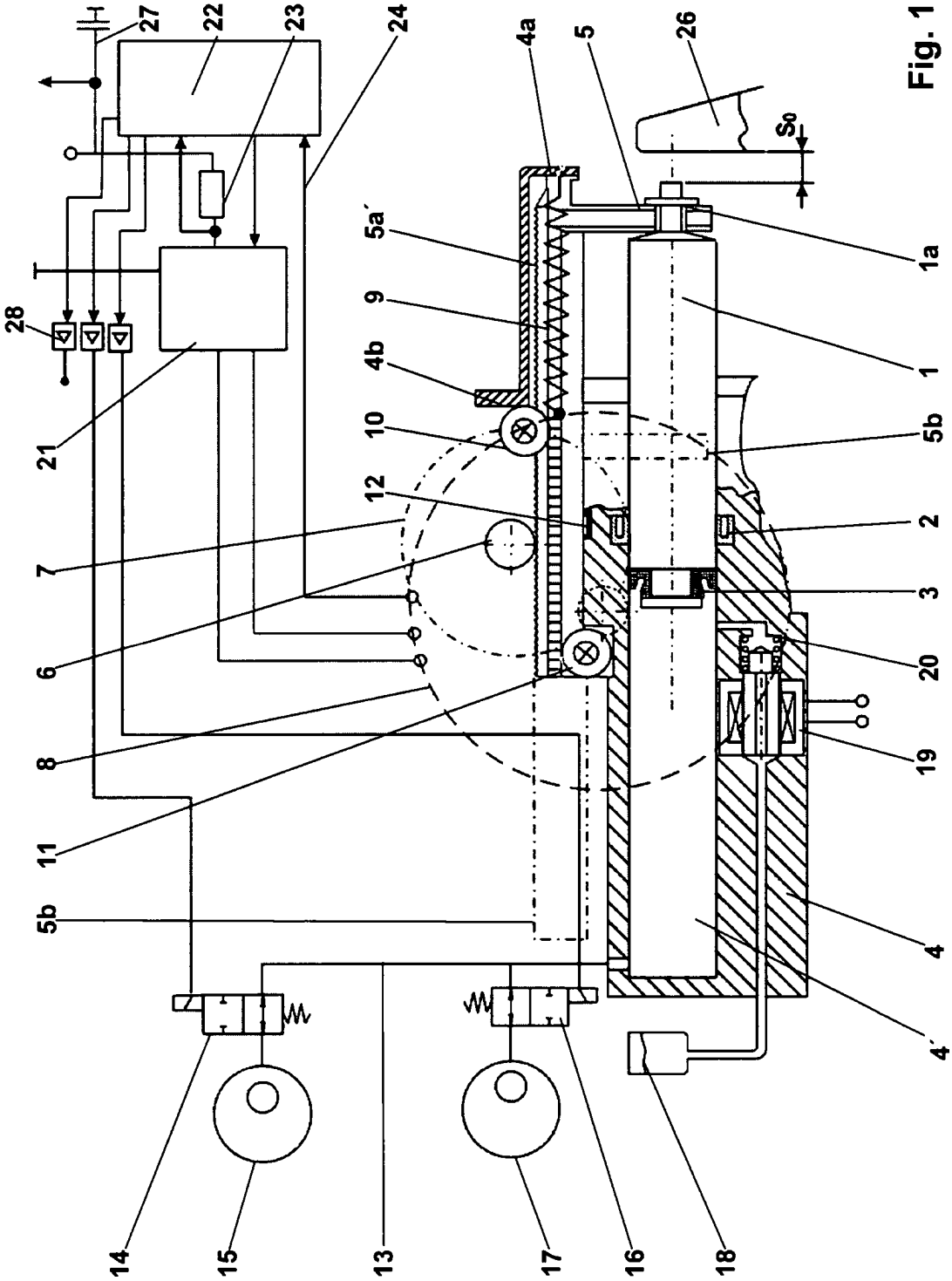


Fig. 1

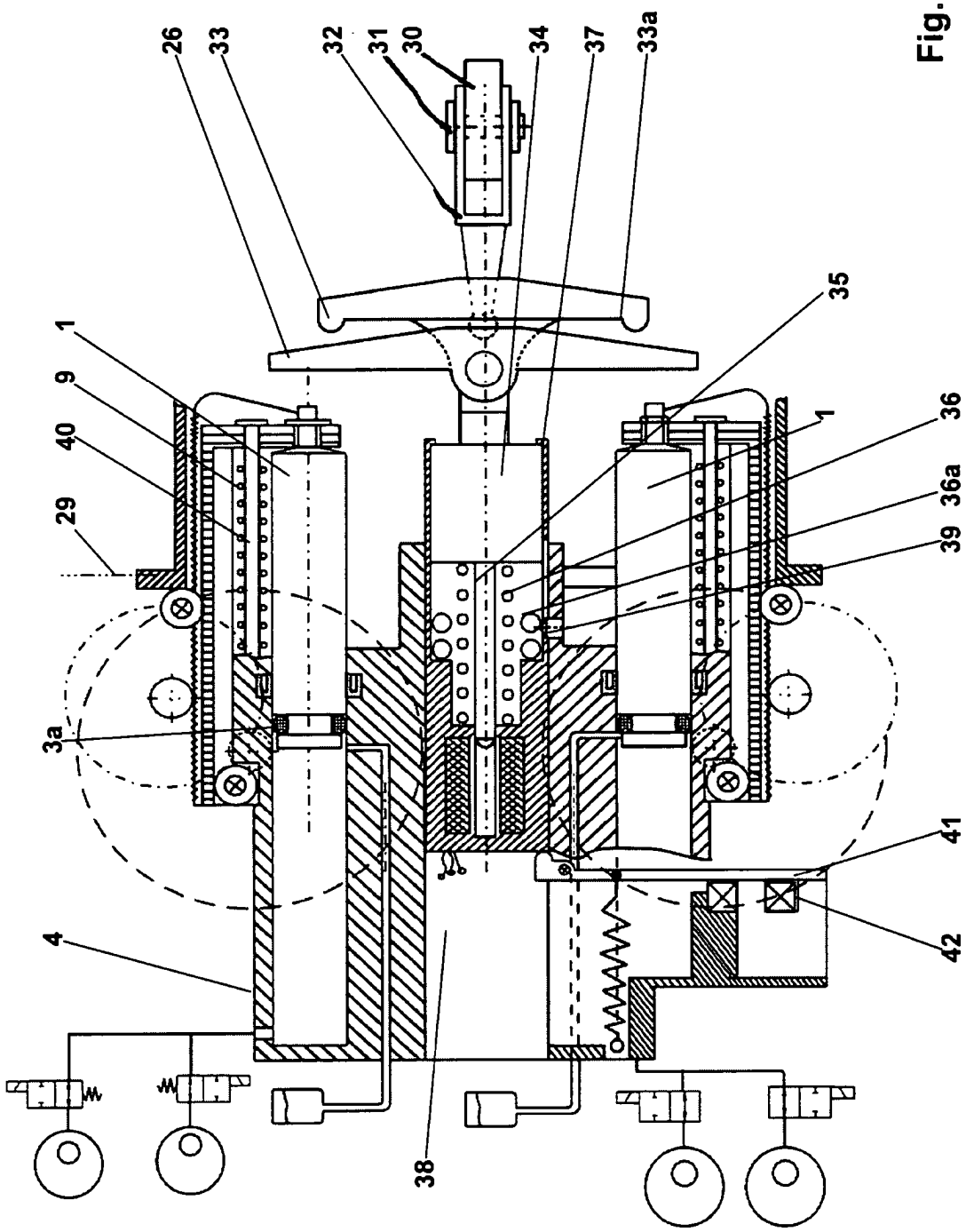


Fig. 2

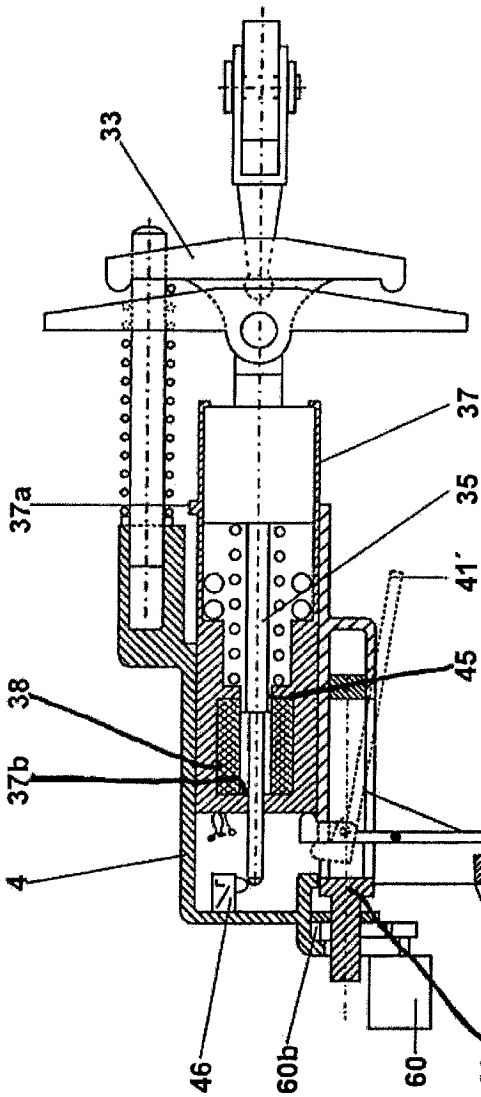

33
37a
38
37b
4
46
60b
60
60a
42a
42
43
41
45
41´
35
37

Fig. 3

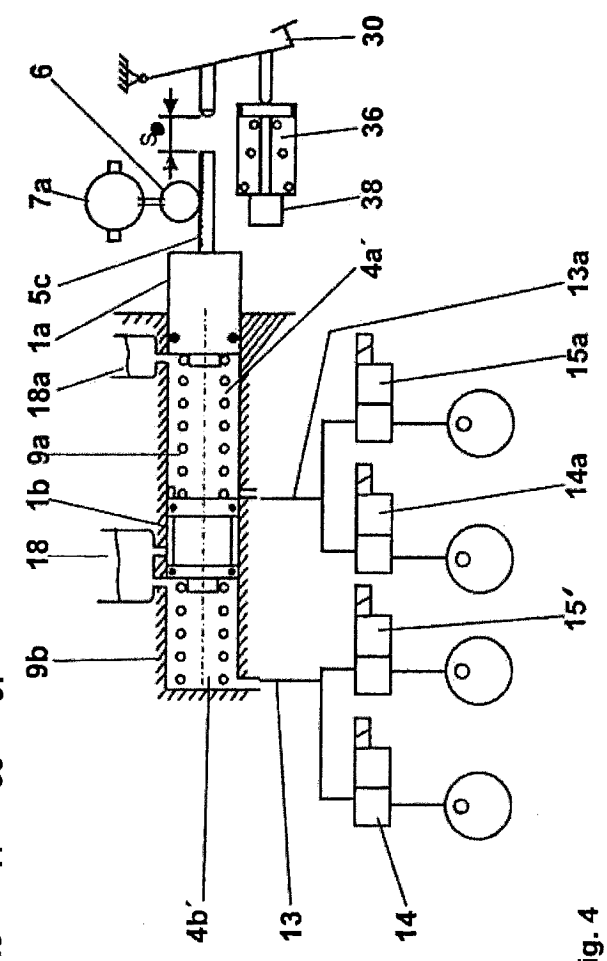

30
36
38
6
7a
5c
1a
18a
9a
1b
18
9b
4a´
4b´
13
14
13a
15a
14a
15´

Fig. 4

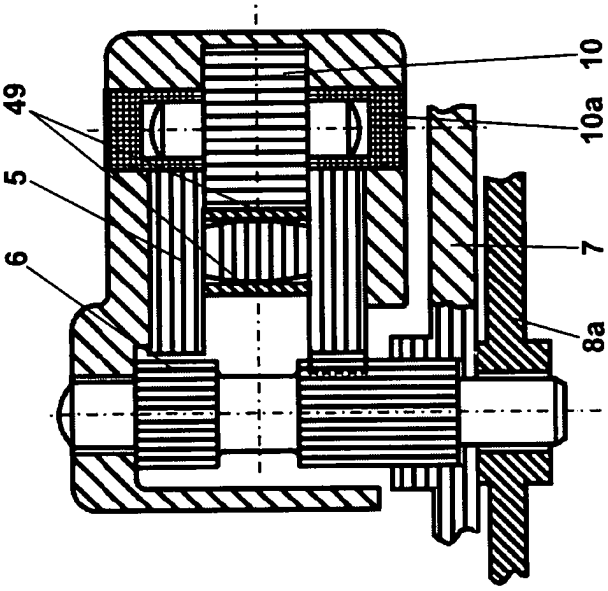


Fig.5a

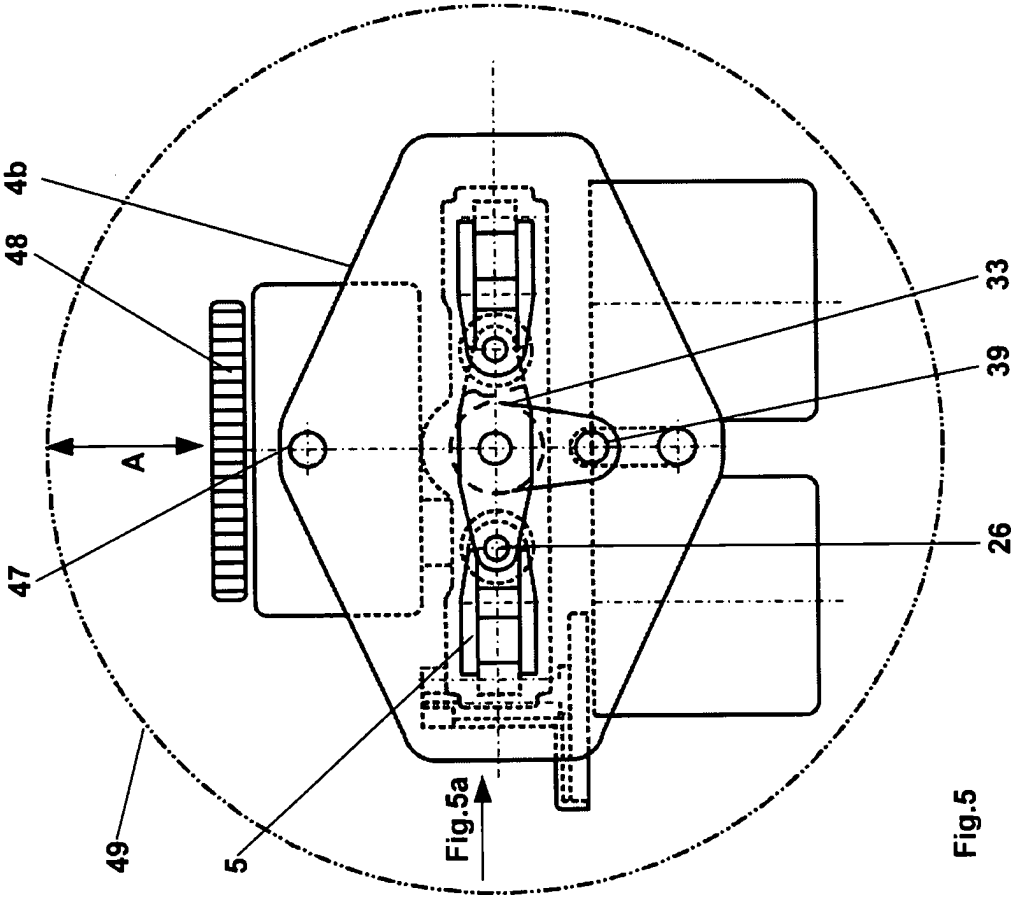


Fig.5

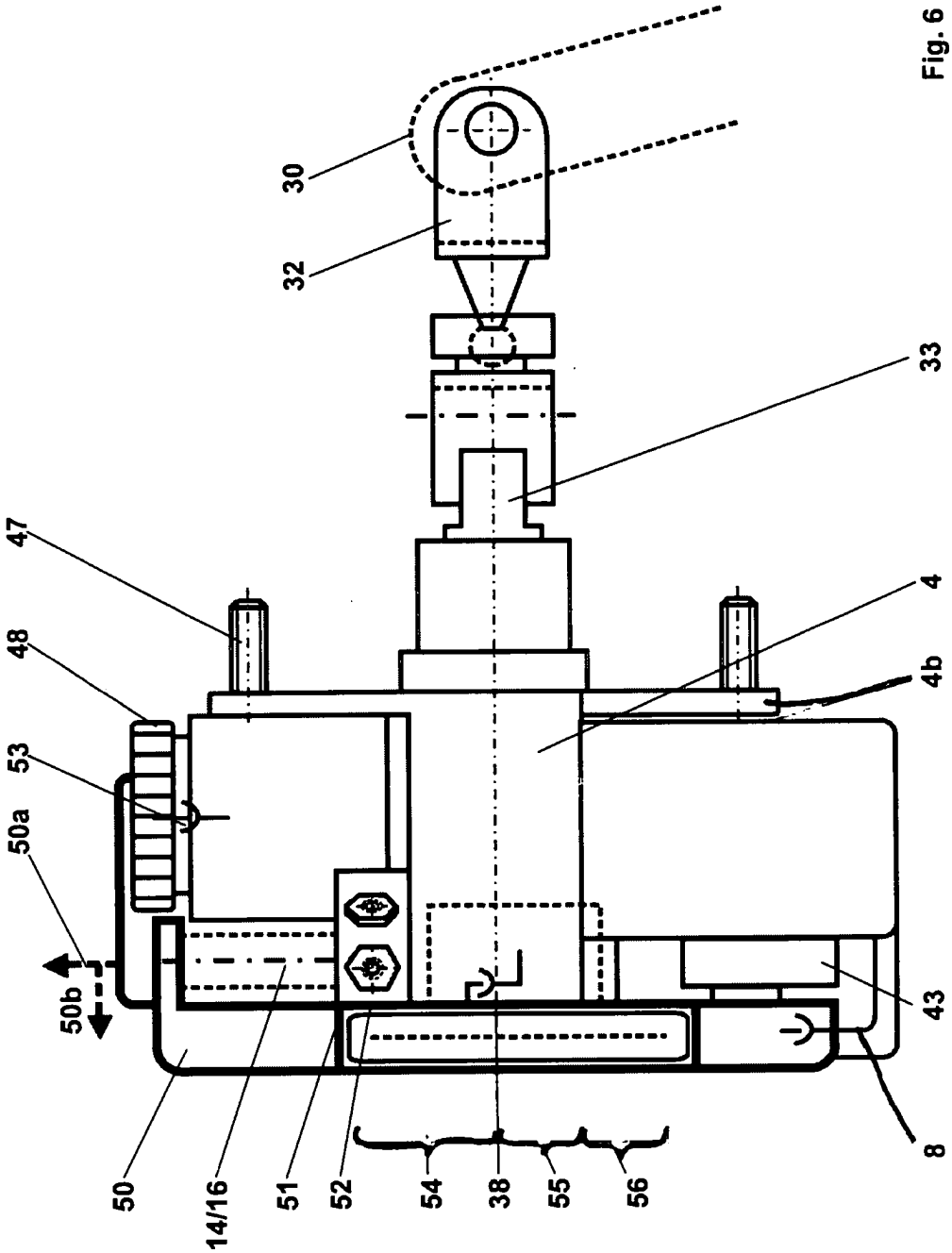


Fig. 6

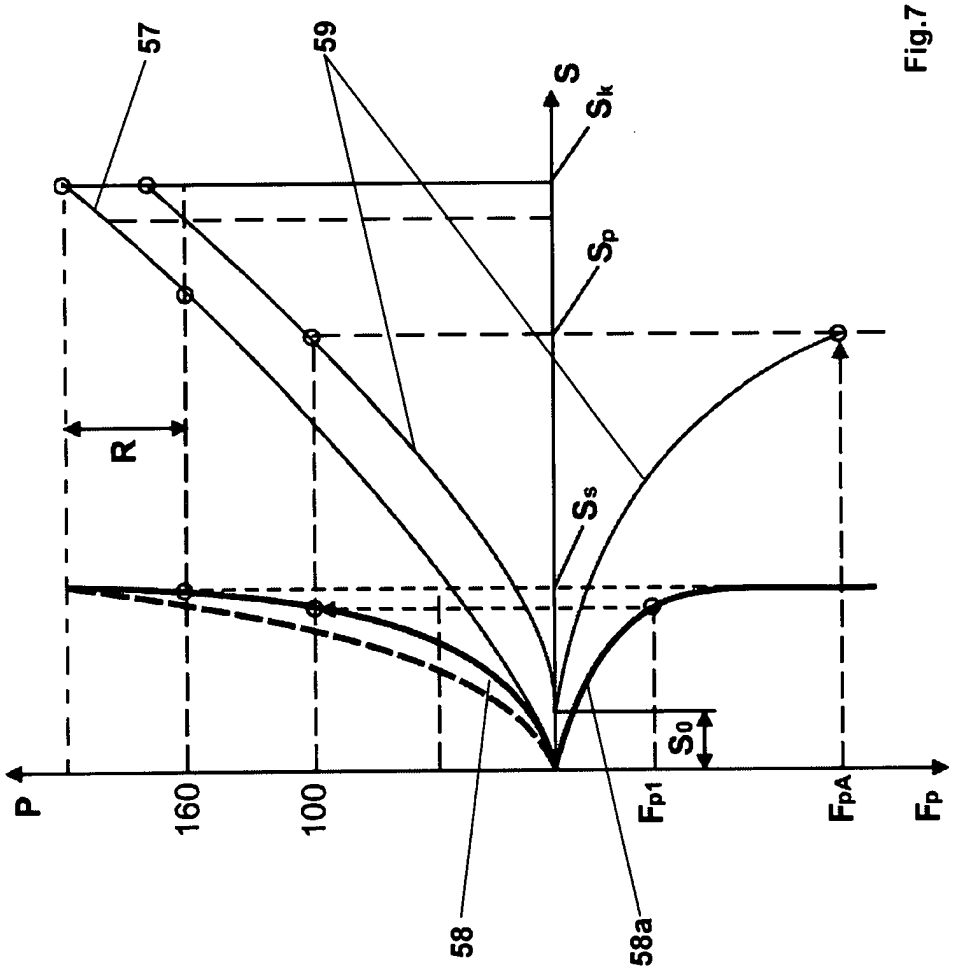


Fig.7

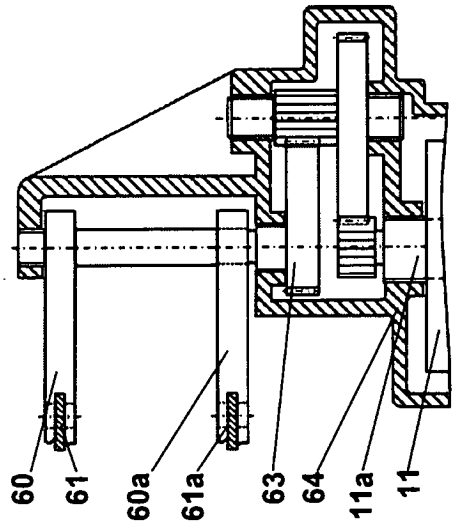


Fig.8a

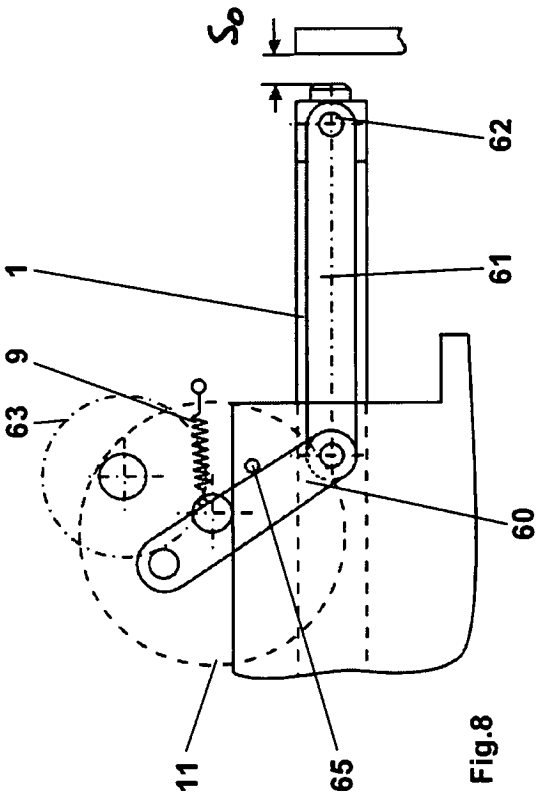


Fig.8

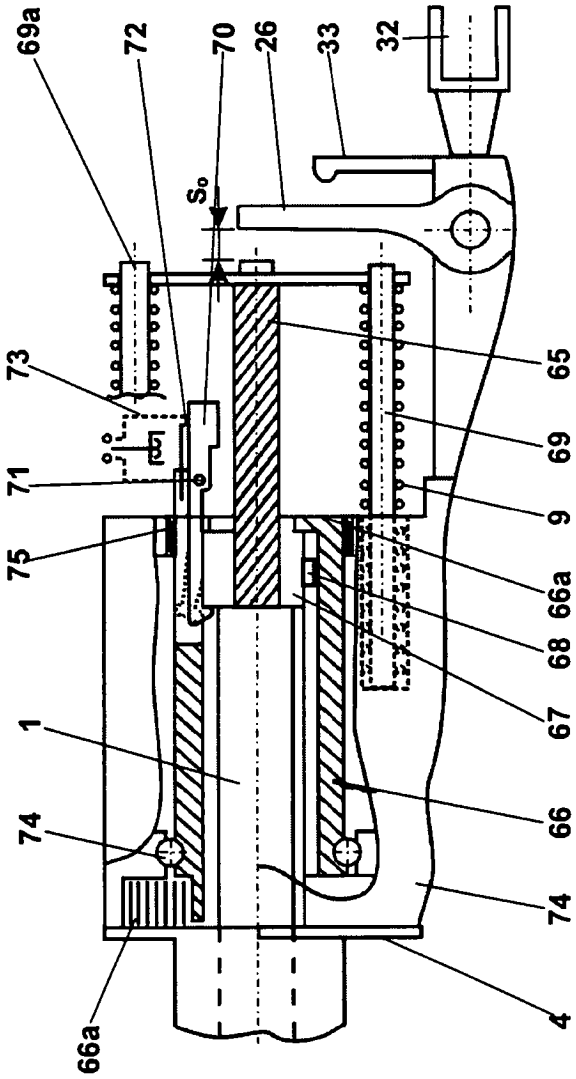


Fig.9

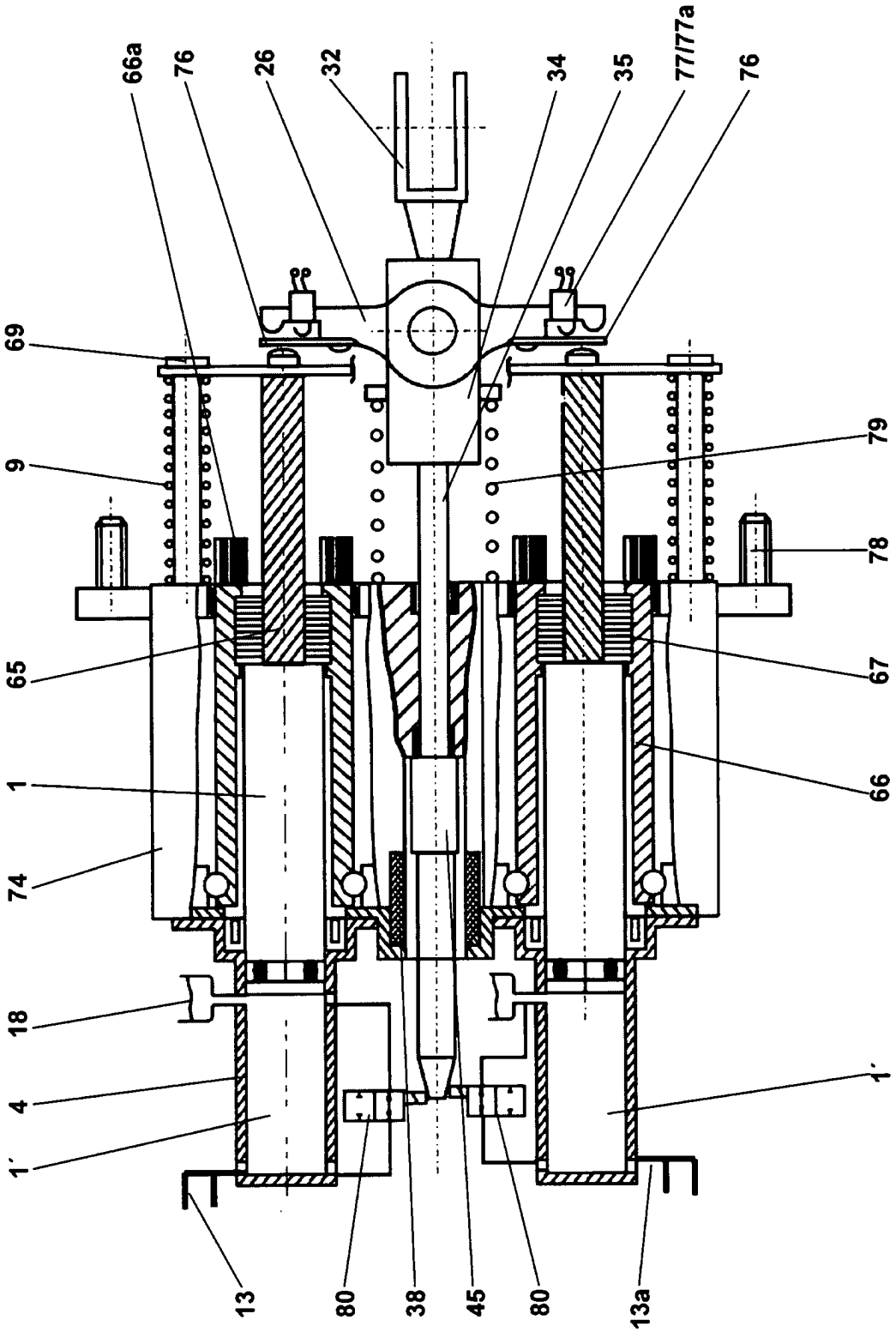

66a
76
26
32
34
35
77/77a
76
69
9
79
78
65
67
1
66
74
18
4
1´
1´
13
80
38
45
80
13a

Fig. 10