

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50347/2023
(22) Anmeldetag: 08.05.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.10.2024

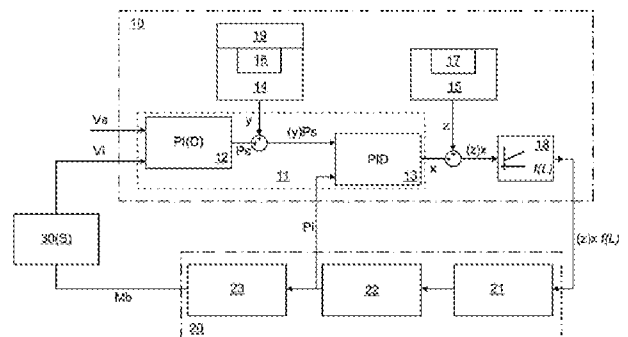
(51) Int. Cl.: **B60T 8/17** (2006.01)
G01M 17/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102017211995 A1
DE 102018112846 A1
DE 10123568 A1
DE 19654769 A1

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
(72) Erfinder:
Aspeck Klaus Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) MSc.
8020 Graz (AT)
Scheidl Stefan
8020 Graz (AT)
(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Bremskontrollvorrichtung**

(57) Die Erfindung betrifft eine Bremskontrollvorrichtung (10) zum Kontrollieren von Bremsvorgängen eines Fahrzeugbremsystems (20), das eine Bremsreibung durch Aufbringen eines Bremsdrucks (P) erzeugt, der durch ein Druckmittel (22) variabel einstellbar ist. Die Bremskontrollvorrichtung (10) weist einen kaskadierten Controller (11) auf mit:
einem Geschwindigkeits-Regler (12) für ein Kontrollieren einer Annäherung des Istwertes (V_i) der Geschwindigkeit auf den Sollwert (V_s) der Geschwindigkeit durch Bestimmung und Ausgabe eines Sollwertes (P_s) des Bremsdrucks, und
einem Bremsdruck-Regler (13) zum Kontrollieren einer Annäherung eines Istwertes (P_i) des Bremsdrucks auf den Sollwert (P_s) des Bremsdrucks durch Bestimmung und Ausgabe eines Einstellparameters (x) für eine Einstellung des Druckmittels (22).
Erfindungsgemäß weist die Bremskontrollvorrichtung (10) ferner einen Druckaufbau-Vorsteuerungsabschnitt (15) auf, der einen Vorsteuer-Einstellparameter (z), der auf einer Funktion eines Anstiegs des Bremsdrucks (P) entlang eines Stellweges des Druckmittels (22) basiert, ausgibt und mit einer Ausgabe des Einstellparameters (x) aus dem Bremsdruck-Regler (13) logisch verknüpft ist.



Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bremskontrollvorrichtung (10) zum Kontrollieren von Bremsvorgängen eines Fahrzeugbremsystems (20), das eine Bremsreibung durch Aufbringen eines Bremsdrucks (P) erzeugt, der durch ein Druckmittel (22) variabel einstellbar ist. Erfindungsgemäß weist die Bremskontrollvorrichtung (10) einen kaskadierten Controller (11) auf mit: einem Geschwindigkeits-Regler (12) für ein Kontrollieren einer Annäherung des Istwertes (V_i) der Geschwindigkeit auf den Sollwert (V_s) der Geschwindigkeit durch Bestimmung und Ausgabe eines Sollwertes (P_s) des Bremsdrucks, und einem Bremsdruck-Regler (13) zum Kontrollieren einer Annäherung eines Istwertes (P_i) des Bremsdrucks auf den Sollwert (P_s) des Bremsdrucks durch Bestimmung und Ausgabe eines Einstellparameters (x) für eine Einstellung des Druckmittels (22).

Fig. 1

Bremskontrollvorrichtung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bremskontrollvorrichtung zum Kontrollieren von Bremsvorgängen eines Fahrzeugbremssystems.

Die erfindungsgemäße Bremskontrollvorrichtung findet Anwendung in einem Testbetrieb in einer Testumgebung, wie z.B. einem Fahrzeug-Prüfstand oder einem Bremssystem-Prüfstand im Kontext einer Produktentwicklung im Fahrzeugbau, oder aber in einem, ggf. nach Testprotokoll vorbestimmten, Fahrbetrieb eines Fahrzeugs auf einer hierzu bereitgestellten Fahrbahn. Dabei kann die Bremskontrollvorrichtung beispielsweise zum Kontrollieren von Bremsvorgängen in einem Verschleißtest verwendet werden. Verschleißtests von Komponenten eines Bremssystems werden u.a. für eine Kommissionierung von Komponenten eines Bremssystems für ein spezifisches Fahrzeugmodell durchgeführt.

Es ist eine Steuerungs- und Regelungstechnik bekannt, die in automatisiert ablaufenden Verschleißtests von Komponenten eines Bremssystems auf einem Prüfstand eine Abfolge von Bremsvorgängen mit vorbestimmten Geschwindigkeitsänderungen und Intensität steuert und regelt. Der bekannte Standard der Steuerungs- und Regelungstechnik in der beschriebenen Anwendung setzt einen einzelnen PID-Controller ein, der eine Geschwindigkeit des Fahrzeugs mittels eines Stellglieds zur Betätigung eines Bremspedals oder direkten Koppelung mit einem Geberzylinder einer Bremshydraulik regelt. Dabei dienen eine Soll-Geschwindigkeit und eine Ist-Geschwindigkeit als Eingangsparameter des PID-Reglers, der eine Stellgröße zur Betätigung des Bremssystems als Ausgangsparameter ausgibt.

Obwohl bei der genannten Steuerungs- und Regelungstechnik eine Justierung von PID Regelungsparametern möglich ist, hat sich in der Praxis herausgestellt, dass selbst eine anwendungs- oder produktspezifische Feineinstellung von PID Regelungsparametern oftmals keine zufriedenstellend homogene Regelungsqualität über ein ausreichend breites Spektrum einer Bremsleistung bereitstellt. Das zeigt sich beispielsweise in einem automatisierten Verschleißtest mit vorbestimmten Abfolgen von Bremsvorgängen mit unterschiedlicher Intensität.

So ergibt sich in der Praxis von Verschleißtests regelmäßig ein Problem der bekannten Steuerungs- und Regelungstechnik, dass Einstellungen von PID Regelungsparametern, die eine gutes Regelungsverhalten über Bremsvorgänge mit hoher Intensität abdecken, andererseits bei Bremsvorgängen mit geringer Intensität zu einer Oszillation des geregelten Bremsmoments führen, d.h. einer Schwankung in einem Regelungsverhalten eines betätigten oder angesteuerten Bremsdrucks zur Erzeugung von Reibung in dem Bremssystem.

Darüber hinaus besteht der Umstand, dass sich ein Reibungskoeffizient zwischen Reibungsflächen des Bremssystems mit einer fortgeschrittenen Laufzeit im Verschleißtest verändert. Da der Reibungskoeffizient einen spezifischen Faktor unter den PID Regelungsparametern darstellt, tritt in der Praxis ein weiteres Problem der bekannten Steuerungs- und Regelungstechnik darin auf, dass eine Veränderung des Reibungskoeffizienten zu einer zu schnellen oder zu langsamen Reaktion der Regelung hierauf führt, d.h. eine Regelungsdynamik sich nicht homogen in einem Verhältnis zu den veränderten Bedingungen verhält.

Somit besteht Bedarf an einer Steuerungs- und Regelungstechnik für Bremsvorgänge zur Lösung der genannten Problemstellungen im Speziellen sowie zur Verbesserung eines Regelungsverhaltens im Allgemeinen.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung eine Steuerungs- und Regelungstechnik für Bremsvorgänge, insbesondere einer vorbestimmten Abfolge von Bremsvorgängen in einem automatisierten Testbetrieb zu schaffen, die ein verbessertes oder homogeneres Regelungsverhalten bei Bremsvorgängen mit unterschiedlicher Intensität, d.h. beispielsweise über ein breites Spektrum der Bremsleistung sowie der Raddrehzahl ermöglicht.

Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung eine Steuerungs- und Regelungstechnik für Bremsvorgänge, insbesondere einer vorbestimmten Abfolge von Bremsvorgängen in einem automatisierten Testbetrieb zu schaffen, die ein verbessertes oder homogeneres Regelungsverhalten in Reaktion auf Parameterveränderungen über eine Vielzahl von Bremsvorgängen, d.h. beispielsweise auf eine Veränderung eines Reibungskoeffizienten ermöglicht.

Die voranstehenden Aufgaben werden gelöst durch eine Bremskontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

Die Bremskontrollvorrichtung dient zum Kontrollieren von Bremsvorgängen eines Fahrzeugbremssystems. Dabei erzeugt das Fahrzeugbremssystem eine Bremsreibung durch Aufbringen eines Bremsdrucks, der durch ein Druckmittel variabel einstellbar ist. Die Bremskontrollvorrichtung ist dazu eingerichtet, eine Absenkung eines Istwertes einer Geschwindigkeit eines Fahrzeugs auf einen Sollwert der Geschwindigkeit durch eine Einstellung des Druckmittels zu kontrollieren.

Erfindungsgemäß umfasst die Bremskontrollvorrichtung einen kaskadierten Controller, aufweisend einen Geschwindigkeits-Regler für ein Kontrollieren einer Annäherung des Istwertes der Geschwindigkeit auf den Sollwert der Geschwindigkeit durch Bestimmung und Ausgabe eines Sollwertes des Bremsdrucks, und einen Bremsdruck-Regler zum Kontrollieren einer Annäherung eines Istwertes des Bremsdrucks auf den Sollwert des Bremsdrucks durch Bestimmung und Ausgabe eines Einstellparameters für eine Einstellung des Druckmittels.

Gemäß einer Definition der vorliegenden Offenbarung umfasst der Begriff des Kontrollierens ein Steuern oder ein Regeln sowie alternativ ein Steuern und Regeln im Sinne der etablierten Begriffe der Steuerungs- und Regelungstechnik.

Die Erfindung sieht somit erstmals zur Regelung einer Geschwindigkeitsabsenkung während eines Bremsvorgangs eine zweistufige Kaskaden-Regelung in einer logischen Verknüpfung einer Regelungs- und Steuerungstechnik anhand eines zweistufig kaskadierten Controllers vor.

Dabei stellt die erfindungsgemäße Bremskontrollvorrichtung für die besagte Anwendung erstmals eine Steuerungslogik mit einem Regelungskreis für die Regelung der Geschwindigkeit und einem Regelungskreis für die Regelung des Bremsdrucks bereit.

Durch die getrennte Architektur der Steuerungslogik innerhalb eines gesamten Regelungskreises des kaskadierten Controllers zwischen dem Eingangsparameter einer Geschwindigkeit und dem Ausgangsparameter für eine Bremsbetätigung, wird

ferner erstmals erfindungsgemäß eine Definition eines Bremsdrucks als zwischengeordneten Regelungsparameter vorgesehen. Dieser wird in Form eines Sollwertes zwischen den beiden Reglern übergeben.

Der Bremsdruck steht als physikalischen Größe in direktem Zusammenhang mit einer Bremsleistung, insbesondere einem Bremsmoment, zu dem über einen möglichst großen Wertebereich desselben hinweg ein oszillationsarmes oder -freies Regelungsverhalten erzielt werden soll.

Da der Bremsdruck als zwischengeordneter Regelungsparameter Bestandteil in zwei verknüpften Regelungsfunktionen der beiden separaten Regler oder Regelungskreisen ist, basiert ein aus beiden Regelungsfunktionen zusammengesetztes Regelungsverhalten des gesamten Regelkreises des kaskadierten Controllers auf einem differenzierten Verhältnis des Ausgabeparameters zu dem Bremsdruck. Unter dem direkten Zusammenhang zwischen dem Bremsdruck und der Bremsleistung resultiert aus dem zusammengesetzten Regelungsverhalten beider Regelungsfunktionen ebenso ein differenziertes Verhältnis des Ausgabeparameters zu der Bremsleistung, was sich in der Praxis in einem homogenen Regelungsverhalten über einen breiten Wertebereich der Bremsleistung widerspiegelt.

Als ein großer Vorteil der Erfindung, insbesondere im Vergleich zu einem einstufigen Controller oder PID Regler zur Regelung einer Geschwindigkeit mittels Bremsbetätigung, der keine zwischengeordnete Definition des Bremsdrucks als zwischengeordneten Regelungsparameter implementiert, erzielt das zusammengesetzte Regelungsverhalten aus der zweistufigen Regelung des erfindungsgemäßen kaskadierten Controllers ein verbessertes, gleichbleibendes, insbesondere oszillationsarmes oder oszillationsfreies Regelungsverhalten in Bremsvorgängen mit sowohl hoher als auch geringer Intensität.

Als ein weiterer Vorteil der Erfindung ergibt sich durch die getrennte Architektur der Steuerungslogik an der Verknüpfung zwischen den beiden Reglern oder Regelschleifen die Möglichkeit zur Einflussnahme, z.B. mittels Eingabe eines veränderlichen Faktors auf den zwischengeordneten Regelungsparameter des Bremsdruck-Sollwertes oder einen anderen PID Regelungsparameter wie den

Bremsdruck-Istwert, der lediglich in der inneren Regelungsschleife zur Bremsdruckregelung Berücksichtigung finden soll.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann in einem Regelungskreis der Bremskontrollvorrichtung der Geschwindigkeits-Regler des kaskadierten Controllers einen Hauptregler bilden, der in einer äußeren Regelungsschleife logisch verknüpft ist, und der Bremsdruck-Regler des kaskadierten Controllers einen Folgeregler bilden, der in einer inneren Regelungsschleife logisch verknüpft ist.

Dadurch wird der gesamte Regelungskreis zwischen einer Geschwindigkeit als Eingangsparameter und einer Bremsbetätigung als Ausgangsparameter derart aufgeteilt, dass die Geschwindigkeitsregelung in einer äußeren Regelungsschleife erfolgt und eine Funktion als Hauptregler übernimmt, der auch als Master- oder Führungsregler bezeichnet wird, und die Bremsdruckregelung in einer inneren Regelungsschleife erfolgt und eine Funktion als Folgeregler übernimmt, der auch als Slave- oder Hilfsregler bezeichnet wird.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der Geschwindigkeits-Regler des kaskadierten Controllers als ein PI-Regler oder als ein PID-Regler ausgebildet sein. Ebenso kann der Bremsdruck-Regler des kaskadierten Controllers als ein PID-Regler ausgebildet sein. Diese Ausführung stellt eine etablierte Konfiguration an Regelgliedern in den kaskadierten Regelungskreisen bereit.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann die Bremskontrollvorrichtung einen Linearisierungsabschnitt aufweisen, der mit der Ausgabe des Einstellparameters aus dem Bremsdruck-Reglers, vorzugsweise nach einer Ausgabe des Vorsteuer-Einstellparameters aus dem Druckaufbau-Vorsteuerungsabschnitt logisch verknüpft ist. Dabei dient der Linearisierungsabschnitt zur Annäherung einer nichtlinearen Funktion des ausgegebenen Einstellparameters durch eine lineare Funktion. Eine lineare Funktion vereinfacht und verbessert im Allgemeinen die Reaktion und das Verhalten einer Steuerung oder Regelung eines Stellgliedes. Somit verbessert der Linearisierungsabschnitt durch Linearisierung des ausgegebenen Einstellparameters ebenso eine Regelung des Druckmittels, in welcher der Einstellparameter zur Ansteuerung eines mit dem Druckmittel gekoppelten Stellglieds verwendet wird.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann die Bremskontrollvorrichtung einen Druckaufbau-Vorsteuerungsabschnitt aufweisen, der einen Vorsteuer-Einstellparameter, der auf einer, ggf. als Vorsteuerkurve hinterlegten, Funktion eines Anstiegs des Bremsdrucks entlang eines Stellweges des Druckmittels basiert, ausgibt und mit einer Ausgabe des Einstellparameters aus dem Bremsdruck-Regler logisch verknüpft ist, d.h. additiv verbunden ist. Durch diese Vorsteuerung fließt ein weiterer Parameter ein, der physikalische Voraussetzungen abbildet. So wirken sich beispielsweise eine Kompensation einer Abnutzung eines Bremsbelags, oder eine Temperatur in einer Hydraulik auf den Drucksensibilitätsparameter aus. Durch die physikalisch basierte Vorsteuerung wird ein Regelungsanteil des P-Regelgliedes und des I-Regelgliedes in einem PID-Regler des Bremsdruck-Reglers verringert, wodurch einer Instabilität des Regelungsverhaltens während Bremsvorgängen von geringer Intensität noch besser vorgebeugt wird.

Gemäß einem darauf aufbauenden, vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann die Bremskontrollvorrichtung einen Druckaufbau-Erfassungsabschnitt für eine Erfassung des Bremsdrucks im Verhältnis zu dem Stellweg des Druckmittels aufweisen. Der Druckaufbau-Erfassungsabschnitt führt diesen Vorgang vorzugsweise im Stillstand des Fahrzeugbremsystems nach einer vorbestimmten Anzahl von Bremsvorgängen wiederholt durch und stellt die erfassten Messwerte für eine Bestimmung des Vorsteuer-Einstellparameters durch den Druckaufbau-Vorsteuerungsabschnitt bereit. So können Veränderungen an der Bremsanlage oder äußeren Betriebsbedingungen in beliebig häufiger Aktualisierung des Status Quo fortlaufend Berücksichtigung finden.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann die Bremskontrollvorrichtung einen Reibungs-Vorsteuerungsabschnitt aufweisen, der einen Vorsteuer-Bremsdruck ausgibt und mit einer Ausgabe des Sollwertes des Bremsdrucks aus dem Geschwindigkeits-Regler logisch verknüpft, d.h. additiv verbunden ist. Der Vorsteuer-Bremsdruck wird vorab berechnet basierend auf einem Reibwert und einer Geometrie zu einem erwarteten Bremsdruck und ggf. aus einer hinterlegten Vorsteuerkurve auf eine gewünschte Verzögerung ausgegeben. Durch diese Vorsteuerung fließt ein weiterer Parameter ein, der physikalische Voraussetzungen abbildet. So wirken sich beispielsweise eine Abnutzung eines Bremsbelags oder einer Bremsscheibe, eine Temperatur derselben sowie ggf. auftretende Nässe auf

den Reibungskoeffizienten aus. Aus dem zuvor genannten Verhältnis der Parameter wird ein Kehrwert gebildet, d.h. invertiert, womit aus einer gewünschten Bremsleistung in Form eines erforderlichen Bremsmoments der erforderliche Bremsdruck berechnet werden kann. Durch die physikalisch basierte Vorsteuerung wird ein Regelungsanteil des P-Regelgliedes und des I-Regelgliedes in einem PID-Regler des Geschwindigkeits-Reglers verringert, wodurch einer Instabilität des Regelungsverhaltens während Bremsvorgängen von geringer Intensität nochmals besser vorgebeugt wird.

Gemäß einem darauf aufbauenden, vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann die Bremskontrollvorrichtung einen Reibungs-Berechnungsabschnitt für eine Berechnung des variablen Reibungskoeffizienten aufweisen. Der Reibungskoeffizient wird basierend auf einem physikalischen Verhältnis zwischen geometrischen Parametern, insbesondere Abmessungen von Bauteilen mit Kontaktfläche für die Bremsreibung, dem Bremsmoment und dem Bremsdruck berechnet. Die Werte des Bremsdrucks und des Bremsmoments werden in vorausgegangenen Bremsvorgängen erfasst. Der Reibungs-Berechnungsabschnitt führt diesen Vorgang vorzugsweise in einem oder mehreren vorausgegangenen Bremsvorgängen wiederholt durch und berechnet anhand der erfassten Messwerte den Reibungskoeffizienten, der danach für eine Bestimmung des Vorsteuer-Bremsdrucks durch den Reibungs-Vorsteuerungsabschnitt bereitgestellt wird. So können Veränderungen and der Bremsanlage oder äußeren Betriebsbedingungen in beliebig häufiger Aktualisierung des Status Quo fortlaufend Berücksichtigung finden.

Gemäß einem darauf aufbauenden vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann die Bremskontrollvorrichtung einen Lernabschnitt aufweisen, für ein Abspeichern und Vergleichen von Verläufen des variablen Reibungskoeffizienten aus aufeinanderfolgenden vorausgegangenen Bremsvorgängen aus dem Reibungs-Berechnungsabschnitt. Vorteilhafterweise weist die Bremskontrollvorrichtung in diesem Zusammenhang auch einen Prognoseabschnitt auf für ein Prognostizieren einer Veränderung des Reibungskoeffizienten in einem nachfolgenden Bremsvorgang basierend auf einer Korrelation aus den Vergleichen von Verläufen des variablen Reibungskoeffizienten aus dem Lernabschnitt auf. Somit wird mittels eines automatisierten Lernprozesses ein selbstständiges Erlernen eines Parameters umgesetzt. Durch das Maschinenlernen des Verhaltens des Reibungskoeffizienten

während des Betriebs, fließt ein weiterer antizipierender Faktor zur Verbesserung des Regelverhaltens autonom in die Regelung der Bremskontrollvorrichtung mit ein.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der Sollwert der Geschwindigkeit den Wert Null betragen. Dadurch wird in jedem Bremsvorgang eine maximale Bremsarbeit und Reibung verrichtet, was einem Zeitrahmen von Verschleißtests zuträglich ist.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann die Bremskontrollvorrichtung der Einstellparameter eine ausgegebene elektrische Spannung sein, die für eine Stellwegposition eines elektrischen Stellgliedes zur Betätigung des Druckmittels entlang des Stellweges bezeichnend ist. Somit kann beispielsweise mittels eines Potentiometers eine Spannung als analoge Stellgröße für ein elektromotorisches Stellglied wie einen Stellmotor oder ein elektromagnetisches Stellglied wie einen Elektromagnet verwendet werden, ohne Erfordernis eines weiteren Digital-Analog-Wandlers.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann die Bremskontrollvorrichtung Bestandteil eines Fahrzeugprüfstands sein, der zur Durchführung von Bremsvorgängen des Fahrzeugbremssystems in einer vorbestimmten Testumgebung eingerichtet ist. Diese Ausführungsform bringt insbesondere den Vorteil der Reproduzierbarkeit und gezielten Auswahl von Betriebseinflüssen in vorbestimmten oder genormten Abläufen von Verschleißtests in einer Produktentwicklung mit sich.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnung ein Ausführungsbeispiel im Einzelnen beschrieben ist. Es zeigen schematisch:

Fig. 1 Ein Blockdiagramm, das eine Steuerungslogik und Schaltungstopologie der Steuerungs- und Regelungstechnik in der erfindungsgemäßen Bremskontrollvorrichtung schematisch darstellt;

Fig. 2 ein Diagramm, in dem ein zeitlicher Verlauf einer Geschwindigkeitsabsenkung während eines Bremsvorgangs qualitativ dargestellt ist;

Fig. 3 ein Diagramm, in dem jeweils ein zeitlicher Verlauf des Einstellparameters x zur Betätigung des Druckmittels und der resultierenden Bremsdruck P während eines Bremsvorgangs qualitativ dargestellt sind; und

Fig. 4 ein Diagramm, in dem ein Verlauf des Einstellparameters x als Funktion des Bremsdrucks P nach einer abschnittswiseen Linearisierung durch partiell angenäherte lineare Funktionen $f(L)$ qualitativ dargestellt ist.

Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform der Bremskontrollvorrichtung 10 und einem Systemumfeld, in dem diese an einem Fahrzeugbremsssystem 20 angeschlossen ist, um dieses während einer Abfolge von Bremsvorgängen eines Fahrzeugs 30, insbesondere wie später erläutert eines Fahrzeugsimulators 30S im Rahmen eines vorbestimmten Ablaufs eines Verschleißtests zu kontrollieren, d.h. zu steuern und zu regeln.

Das Fahrzeugbremsssystem 20 umfasst ein elektrisches Stellglied 21 zur Betätigung eines Druckmittels 22, welches einen Bremsdruck P erzeugt, und ein Reibungsmittel 23, das mit Hilfe des Bremsdrucks P eine Bremsreibung erzeugt. Das Stellglied 21 ist z.B. ein elektrisch ansteuerbarer Stellmotor, der mit dem Druckmittel 22 entlang eines Stellweges zur Einstellung des Druckmittels 22 gekoppelt ist. Das Druckmittel 22 ist z.B. ein Hauptbremszylinder, d.h. ein hydraulischer Geberzylinder, der in einer Bremsleitung einen Bremsdruck, d.h. einen hydraulischen Druck erzeugt. Das Reibungsmittel 23 ist z.B. eine Baugruppe aus einem Bremsrotor und einer Bremszange mit Bremsbelägen, die unter Aufnahme des Bremsdrucks P durch Bremskolben, d.h. hydraulische Nehmerzylinder, Bremsreibung erzeugen und somit eine Bremsleistung, d.h. ein Bremsmoment erzielen.

Wie in Fig. 2 gezeigt ist, hat die Bremskontrollvorrichtung 10 die Steuerungsaufgabe, eine Betätigung des Fahrzeugbremssystems 20 derart zu steuern, dass eine Geschwindigkeit V des Fahrzeugs, d.h. ein Istwert V_i derselben auf eine vorgegebene Zielgeschwindigkeit, d.h. einen Sollwert V_s geregelt wird. Dabei kann V_s oftmals den Wert Null betragen, sodass ein Bremsvorgang bis zum Stillstand durchgeführt wird.

Die Bremskontrollvorrichtung 10 erhält als einen Eingangsparameter den Geschwindigkeits-Sollwert V_s , beispielsweise vorgegeben aus einem Protokoll für

einen zu absolvierenden, reproduzierbaren Testablauf. Der Istwert V_i der Geschwindigkeit wird als ein weiterer Eingangsparameter aus einem Geschwindigkeitsmesser des realen Fahrzeugs 30 oder des Fahrzeugsimulators 30S als Feedback an die Bremskontrollvorrichtung 10 zurückgeführt. Zur Betätigung des Fahrzeugbremssystems 20 gibt die Bremskontrollvorrichtung 10 als Ausgangsparameter einen Einstellparameter x aus, der beispielsweise mittels eines Potentiometers in Form einer elektrischen Spannung, wie einem für eine Elektronik geeigneten Spannungspotential zwischen 0 V und 10 V als eindeutige Stellgröße an das elektrische Stellglied 21 des Fahrzeugbremssystems 20 ausgegeben wird.

Wie in Fig. 1 schematisch dargestellt ist, umfasst die Bremskontrollvorrichtung 10 einen kaskadierten Controller 11, der eine zweistufige kaskadierte Regelung durchführt. Ein Geschwindigkeits-Regler 12 bildet einen Hauptregler, dessen Ausgang mit einem Eingang eines Bremsdruck-Reglers 13 verbunden ist, der einen Folgeregler bildet. Somit bildet der Geschwindigkeits-Regler 12 einen Hauptregelungskreis des kaskadierten Controllers 11, der bezüglich der logischen Verknüpfung und Funktion in der Steuerungs- und Regelungstechnik auch als Master- oder Führungsregelkreis bezeichnet wird. Dementsprechend bildet der Bremsdruck-Regler 13 einen Hilfsregelungskreis des kaskadierten Controllers 11, der bezüglich der logischen Verknüpfung und Funktion auch als Slave- oder Folgeregelkreis bezeichnet werden kann.

Der Geschwindigkeits-Regler 12 und der Bremsdruck-Regler 13 sind jeweils als ein PID-Regler implementiert. Alternativ kann der Geschwindigkeits-Regler 12 auch lediglich als ein PI-Regler implementiert sein. In einer Steuerungslogik eines gesamten Regelungskreises der Bremskontrollvorrichtung 10 sind der Geschwindigkeits-Regler 12 als eine äußere Regelungsschleife und darin angeordnet, der Bremsdruck-Regler 13 als eine innere Regelungsschleife verknüpft.

Der Geschwindigkeits-Regler 12 regelt den Istwert V_i der Geschwindigkeit des Fahrzeugs 30 auf den vorgegebenen Sollwert V_s , welche die Eingangsparameter an dem Geschwindigkeits-Regler 12 darstellen. Als Ausgangsparameter, der eine entsprechende Geschwindigkeitsabsenkung bewirken soll, bestimmt der Geschwindigkeits-Regler 12 einen Sollwert P_s für den Bremsdruck P_s . Um diesen bestimmen zu können, wird zunächst eine erforderliche Bremsleistung oder mit

anderen Worten ein Bremsmoment M_b bestimmt, das für die spezifische Geschwindigkeitsabsenkung von dem Istwert V_i auf den Sollwert V_s in Abhängigkeit einer Intensität des Bremsvorgangs aus hinterlegten spezifischen Parametern des Fahrzeugs wie einer Fahrzeugmasse usw. berechnet wird. Der Bremsdruck P zur Erlangung der erforderlichen Bremsleistung oder des Bremsmomentes M_b wird aus einem Verhältnis der beiden Werte berechnet, das ferner einen Reibungskoeffizienten μ sowie geometrische Parameter des Reibungsmittels 23 umfasst. Alternativ können beide Berechnungsschritte oder zumindest ein Berechnungsschritt durch ein Nachschlagen von Werten in einem hinterlegten Kennfeld umgesetzt werden. Anschließend wird der Sollwert P_s für den Bremsdruck an den Bremsdruck-Regler 13 ausgegeben. Für den Reibwert kann auch ein Regressionsmodell angelernter Reibwert in Abhängigkeit von z.B. Raddrehzahl und Wunschverzögerung hinterlegt sein.

Der Sollwert P_s für den Bremsdruck stellt einen Eingangsparameter für den Bremsdruck-Regler 13 dar, ebenso wie ein Istwert P_i des tatsächlichen Bremsdrucks, der z.B. durch einen Hydraulikdrucksensor oder einen an dem Reibungsmittel 23 angeordneten Drucksensor erfasst wird, und als weiterer Eingangsparameter, d.h. als Feedback an den Bremsdruck-Regler 13 zurückgeführt wird. Der Bremsdruck-Regler 13 regelt den Istwert P_i des Bremsdrucks auf den Sollwert P_s des Bremsdrucks und berechnet hierzu basierend auf spezifischen Parametern, insbesondere einer geometrische bedingten Funktion eines hydraulischen Druckaufbaus aus dem Druckmittel 22 einen Einstellparameter x in Bezug auf einen Stellweg des Druckmittels 22. Alternativ kann der Einstellparameter x anstelle des Berechnungsschrittes durch ein Nachschlagen von Werten in einem Kennfeld bestimmt werden, das vorab für eine Funktion des Druckaufbaus in Abhängigkeit des Stellweges hinterlegt ist. Fig. 3 zeigt einen zeitlichen Verlauf des geregelten Einstellparameters x und des resultierenden Bremsdrucks P während eines Bremsvorgangs.

Da die Einstellung des Druckmittels 22 durch das Stellglied 21 umzusetzen ist, wird der Einstellparameter x von dem Bremsdruck-Regler 13 in Form einer geeigneten Stellgröße oder Stellsignal, wie zuvor beschrieben als ein Spannungspotential an das Stellglied 21 des Fahrzeugbremssystems 20 ausgegeben. Der Fahrzeugsimulator 30S setzt in Reaktion auf eine Betätigung des Fahrzeugbremssystems 20 eine

Geschwindigkeitsabsenkung basierend auf einem modellspezifischen Verhalten des Fahrzeugs 30 um und gibt den Istwert der resultierenden Geschwindigkeit an den Eingang der Bremskontrollvorrichtung 10, genauer genommen an den Eingang des Geschwindigkeits-Reglers 12 aus. Somit ist ein Regelungskreis zur Regelung der Geschwindigkeitsabsenkung von dem Istwert V_i auf den Sollwert V_s der Geschwindigkeit mittels Ansteuerung und Regelung des erforderlichen Bremsmoments M_b durch die Bremskontrollvorrichtung 10 abgeschlossen.

Darüber hinaus berücksichtigt die Bremskontrollvorrichtung 10 durch eine Integration von physikalisch basierten Vorsteuerungen in dem Regelungskreis weitere veränderliche Betriebsfaktoren, wodurch eine Instabilität des Regelungsverhaltens zusätzlich unterdrückt wird.

So umfasst die Bremskontrollvorrichtung 10 einen Reibungs-Vorsteuerabschnitts 14, wobei in der Steuerungslogik der Bremskontrollvorrichtung 10 ein Parameterausgang des Reibungs-Vorsteuerabschnitts 14 mit dem Parameterausgang des Geschwindigkeits-Reglers 12 verknüpft ist. Der Reibungs-Vorsteuerabschnitts 14 berücksichtigt eine mögliche Veränderung des Reibungskoeffizienten μ und gibt in Abhängigkeit desselben einen vorab berechneten, ggf. in einer Vorsteuerkurve hinterlegten Vorsteuer-Bremsdruck y aus, der mit dem von dem Geschwindigkeits-Regler 12 ausgegebenen Sollwert P_s des Bremsdrucks entsprechend dem Vorsteuerungseinfluss zur Berücksichtigung von Veränderungen in der Reibung addiert wird. Mögliche Einflüsse, die zu einer Veränderung der Reibung führen, bestehen in einer Temperatur oder Abnutzungserscheinungen von Komponenten des Reibungsmittels 23 des Fahrzeugbremsystems 20, in auftretende Nässe, usw.. Nach Einfluss der Vorsteuerung wird ein mit dem Vorsteuer-Bremsdruck y addierter Bremsdruck-Sollwert $(y) P_s$ gebildet, der in den Bremsdruck-Regler 13 eingegeben wird.

In diesem Zusammenhang verfügt die Bremskontrollvorrichtung 10 ferner über einen Reibungs-Berechnungsabschnitt 16, der zur Feststellung von Schwankungen der Reibung periodisch fortlaufend den Reibungskoeffizienten μ aus erfassten Parametern von vorhergehenden Bremsvorgängen berechnet. Dabei wird der Reibungskoeffizienten μ aus dem zuvor genannten physikalischen Verhältnis oder einer Funktion zwischen dem Bremsmoment, dem Bremsdruck anhand zuvor

erfasster Werte sowie festen geometrischen Parametern ermittelt. So wird durch den Reibungs-Berechnungsabschnitt 16 eine Informationsgrundlage für den Reibungs-Vorsteuerabschnitts 14 hinsichtlich einer Schwankung der variablen Reibung fortlaufend aktualisiert.

Darüber hinaus ist an dem Reibungs-Vorsteuerungsabschnitt 14 ein Lernabschnitt 19 angebunden. Der Lernabschnitt 19 erlangt die von dem Reibungs-Berechnungsabschnitt 16 berechneten Werte des Reibungskoeffizienten μ und speichert einen Verlauf derselben ab. Ferner vergleicht der Lernabschnitt 19 neu erlangte Werte und eine Veränderung zwischen denselben mit den abgespeicherten Verläufen der Werte des Reibungskoeffizienten μ . Dazu weist der Lernabschnitt 19 optional einen Prognoseabschnitt zum Prognostizieren einer Veränderung des Reibungskoeffizienten μ während eines nachfolgenden Bremsvorgangs auf. Die optionale Prognose fließt in Form eines Prognosefaktors in einen aktuell berechneten Reibungskoeffizienten μ ein, der dem Reibungs-Vorsteuerungsabschnitt 14 als aktuelle Informationsgrundlage zur variablen Reibung zur Verfügung gestellt wird.

Zur Berücksichtigung weiterer veränderlicher physikalischer Bedingungen ist in dem Regelungskreis der Bremskontrollvorrichtung 10 noch eine weitere Vorsteuerung integriert. So umfasst die Bremskontrollvorrichtung 10 einen Druckaufbau-Vorsteuerabschnitt 15, wobei in der Steuerungslogik der Bremskontrollvorrichtung 10 ein Parameterausgang des Druckaufbau-Vorsteuerabschnitts 15 mit dem Parameterausgang des Bremsdruck-Reglers 13 verknüpft ist. Der Druckaufbau-Vorsteuerabschnitts 15 berücksichtigt eine mögliche Veränderung eines Anstiegsverhaltens des Druckaufbaus, d.h. eine Drucksensitivität des Bremsdrucks, den das Druckmittel 22 bei Betätigung und Einstellung entlang des Stellwegs erzeugt. Mögliche Einflüsse, die zu einer Veränderung des Anstiegsverhaltens des Druckaufbaus führen, bestehen in einer Temperatur oder einem Druckausgleich im hydraulischen System, einer Nachstellung eines Bremsbelags, usw.. Der Druckaufbau-Vorsteuerabschnitts 15 gibt in Abhängigkeit des Anstiegsverhaltens des Druckaufbaus einen vorab berechneten und ggf. als Vorsteuerkurve hinterlegten Vorsteuer-Einstellparameter z aus, der mit dem von dem Bremsdruck-Regler 13 ausgegebenen Einstellparameter x entsprechend dem Vorsteuerungseinfluss zur Berücksichtigung von Veränderungen der Druck-Sensitivität addiert wird. Nach

Einfluss der Vorsteuerung wird ein mit dem Vorsteuer-Stellparameter z addierter Wert des Einstellparameters $(z) \cdot x$ gebildet.

In diesem Kontext verfügt die Bremskontrollvorrichtung 10 ebenso über einen Druckaufbau-Erfassungsabschnitt 17, der zur Feststellung von Schwankungen in der Druck-Sensitivität diese periodisch fortlaufend erfasst. Hierzu betätigt der Druckaufbau-Erfassungsabschnitt 17 während eines Stillstands zwischen zwei Bremsvorgängen das Druckmittel 22 über das Stellglied 21 und misst währenddessen einen Anstieg des Druckaufbaus, der als Werteverlauf des Bremsdrucks in Bezug zu einer Strecke des Stellweges abgespeichert wird. So wird durch den Druckaufbau-Erfassungsabschnitt 17 eine Informationsgrundlage für den Druckaufbau-Vorsteuerabschnitt 15 hinsichtlich einer Schwankung der variablen Druck-Sensitivität fortlaufend aktualisiert.

Ferner verfügt die Bremskontrollvorrichtung 10 über einen Linearisierungsabschnitt 18, der einen Verlauf des Einstellparameters x als Funktion des Bremsdrucks P zur Verbesserung eines Ansteuerungsverhaltens des Stellgliedes 21 linearisiert. Wie in Fig. 4 dargestellt ist, wird der Verlauf des Einstellparameters x durch den Linearisierungsabschnitt 18 zumindest abschnittsweise durch angenäherte lineare Funktionen $f(L)$ partiell ersetzt. Als Eingangsparameter wird dem Linearisierungsabschnitt 18 der mit Vorsteuerung addierte Wert $(z) \cdot x$ des Einstellparameters x zugeführt, welcher nach der abschnittweisen Linearisierung als addierter und linearisierter Wert $(z) \cdot x \cdot f(L)$ des Einstellparameters aus der Bremskontrollvorrichtung 10 an das Stellglied 21 des Fahrzeugbremssystems 20 ausgegeben wird.

In der dargestellten Ausführungsform werden die Bremskontrollvorrichtung 10 und das Fahrzeugbremssystem 20 in Verbindung mit einem vollständigen Fahrzeugsimulator 30S betrieben, wobei das Fahrzeugbremssystem 20 mit rotierenden Komponenten eines Prüfstandaufbaus des Fahrzeugsimulators 30S mechanisch gekoppelt ist, welche die physikalischen Kräfte einer Fahrdynamik während der Bremsvorgänge auf das Fahrzeugbremssystem 20 übertragen. In dieser Ausführungsform entfällt das Erfordernis eines realen Fahrzeugs 30.

In einer alternativen Ausführungsform werden die Bremskontrollvorrichtung 10 und das Fahrzeugbremssystem 20 in Verbindung mit einem hybriden Fahrzeugsimulator

30S betrieben, der ein reales Fahrzeug 30 und einen Prüfstand (nicht weiter dargestellt) umfasst. Dabei ist zumindest das Fahrzeugbremssystem 20 Bestandteil des Fahrzeugs 30, wobei das Fahrzeugs 30 Bremsvorgänge auf einer simulierten Testumgebung des Prüfstands ausführt.

In einer weiteren alternativen Ausführungsformen wird die Bremskontrollvorrichtung 10 an Bord des Fahrzeugs 30 und das Fahrzeugbremssystem 20 als Bestandteil des realen Fahrzeugs 30 betrieben, wobei das Fahrzeug 30 Bremsvorgänge auf einer Fahrbahn ausführt.

Bezugszeichenliste

10	Bremskontrollvorrichtung
11	kaskadierter Controller
12	Geschwindigkeits-Regler
13	Bremsdruck-Regler
14	Reibungs-Vorsteuerungsabschnitt
15	Druckaufbau-Vorsteuerungsabschnitt
16	Reibungs-Berechnungsabschnitt
17	Druckaufbau-Erfassungsabschnitt
18	Linearisierungsabschnitt
19	Lernabschnitt
20	Fahrzeugbremssystem
21	Stellglied
22	Druckmittel
23	Reibungsmittel
30	Fahrzeug oder Fahrzeugsimulator
Vi	Geschwindigkeit-Istwert
Vs	Geschwindigkeit-Sollwert
Pi	Bremsdruck-Istwert
Ps	Bremsdruck-Sollwert
Mb	Bremsmoment
x	Einstellparameter
y	Vorsteuer-Bremsdruck
z	Vorsteuer-Einstellparameter
μ	Reibungskoeffizient
$f(L)$	linearisierte Funktion

- (y)Ps mit dem Vorsteuer-Bremsdruck addierter Bremsdruck-Sollwert
- (z)x mit dem Vorsteuer-Einstellparameter addierter Wert des
Einstellparameters
- (z)x $f(L)$ addierter und linearisierter Wert des Einstellparameters

Patentansprüche

1. Bremskontrollvorrichtung (10) zum Kontrollieren von Bremsvorgängen eines Fahrzeugbremsystems (20), das eine Bremsreibung durch Aufbringen eines Bremsdrucks (P) erzeugt, der durch ein Druckmittel (22) variabel einstellbar ist, wobei

die Bremskontrollvorrichtung (10) dazu eingerichtet ist, eine Absenkung eines Istwertes (V_i) einer Geschwindigkeit eines Fahrzeugs (30) auf einen Sollwert (V_s) der Geschwindigkeit durch eine Einstellung des Druckmittels (22) zu kontrollieren;

dadurch gekennzeichnet, dass

die Bremskontrollvorrichtung (10) einen kaskadierten Controller (11) umfasst, aufweisend:

einen Geschwindigkeits-Regler (12) für ein Kontrollieren einer Annäherung des Istwertes (V_i) der Geschwindigkeit auf den Sollwert (V_s) der Geschwindigkeit durch Bestimmung und Ausgabe eines Sollwertes (P_s) des Bremsdrucks, und

einen Bremsdruck-Regler (13) zum Kontrollieren einer Annäherung eines Istwertes (P_i) des Bremsdrucks auf den Sollwert (P_s) des Bremsdrucks durch Bestimmung und Ausgabe eines Einstellparameters (x) für eine Einstellung des Druckmittels (22).

2. Bremskontrollvorrichtung (10) nach Anspruch 1, wobei in einem Regelungskreis der Bremskontrollvorrichtung (10) der Geschwindigkeits-Regler (12) des kaskadierten Controllers (11) einen Hauptregler bildet, der in einer äußeren Regelungsschleife logisch verknüpft ist, und der Bremsdruck-Regler (13) des kaskadierten Controllers (11) einen Folgeregler bildet, der in einer inneren Regelungsschleife logisch verknüpft ist.

3. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Geschwindigkeits-Regler (12) des kaskadierten Controllers (11) als ein PI-Regler oder als ein PID-Regler ausgebildet ist.
4. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Bremsdruck-Regler (13) des kaskadierten Controllers (11) als ein PID-Regler ausgebildet ist.
5. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Druckaufbau-Vorsteuerungsabschnitt (15), der einen Vorsteuer-Einstellparameter (z), der auf einer Funktion eines Anstiegs des Bremsdrucks (P) entlang eines Stellweges des Druckmittels (22) basiert, ausgibt und mit einer Ausgabe des Einstellparameters (x) aus dem Bremsdruck-Regler (13) logisch verknüpft ist.
6. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Druckaufbau-Erfassungsabschnitt (17) für eine Erfassung des Bremsdrucks (P) im Verhältnis zu dem Stellweg des Druckmittels (22).
7. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Linearisierungsabschnitt (18), der mit der Ausgabe des Einstellparameters (x) aus dem Bremsdruck-Regler (13), vorzugsweise nach einer Ausgabe des Vorsteuer-Einstellparameter (z) aus dem Druckaufbau-Vorsteuerungsabschnitt (15), logisch verknüpft ist, für eine zumindest abschnittsweisen Annäherung eines Verlaufs des ausgegebenen Einstellparameters (x) durch wenigstens eine lineare Funktion.
8. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Reibungs-Vorsteuerungsabschnitt (14), der einen Vorsteuer-Bremsdruck (y), welcher auf einem variablen Reibungskoeffizienten (μ) basiert, ausgibt und mit einer Ausgabe des Sollwertes (P_s) des Bremsdrucks aus dem Geschwindigkeits-Regler (12) logisch verknüpft ist.
9. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Reibungs-Berechnungsabschnitt (16) für eine Berechnung des variablen Reibungskoeffizienten (μ) basierend auf einen

physikalischen Verhältnis zwischen geometrischen Parametern sowie einem erfassten Wert des Bremsmoments (M_b) und einem erfassten Wert des Bremsdruck (P) aus einem Bremsvorgang.

10. Bremskontrollvorrichtung (10) nach Anspruch 9, ferner aufweisend einen Lernabschnitt (19) für ein Abspeichern und Vergleichen von Verläufen des variablen Reibungskoeffizienten (μ) aus aufeinanderfolgenden Bremsvorgängen aus dem Reibungs-Berechnungsabschnitt (16).
11. Bremskontrollvorrichtung (10) nach Anspruch 10, wobei der Lernabschnitt (19) ferner einen Prognoseabschnitt für ein Prognostizieren einer Veränderung des Reibungskoeffizienten (μ) in einem nachfolgenden Bremsvorgang aufweist, wobei der Prognoseabschnitt basierend auf einer Korrelation aus den Vergleichen der abgespeicherten Verläufe des variablen Reibungskoeffizienten prognostiziert.
12. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Sollwert (V_s) der Geschwindigkeit den Wert Null beträgt.
13. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Einstellparameter (x) eine ausgegebene elektrische Spannung ist, die für eine Stellwegposition eines elektrischen Stellgliedes (21) zur Betätigung des Druckmittels (22) entlang des Stellweges bezeichnend ist.
14. Fahrzeugprüfstand, eingerichtet zur Durchführung von Bremsvorgängen des Fahrzeugbremssystems (20) in einer vorbestimmten Testumgebung, aufweisend die Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 14.
15. Fahrzeugprüfstand nach Anspruch 14, ferner aufweisend einen Fahrzeugsimulator (30S), der eine Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeugs (30) gemäß spezifischen Parametern eines hinterlegten Fahrzeugmodells in Reaktion auf eine Bremsleistung des Fahrzeugbremssystems (20) simuliert.

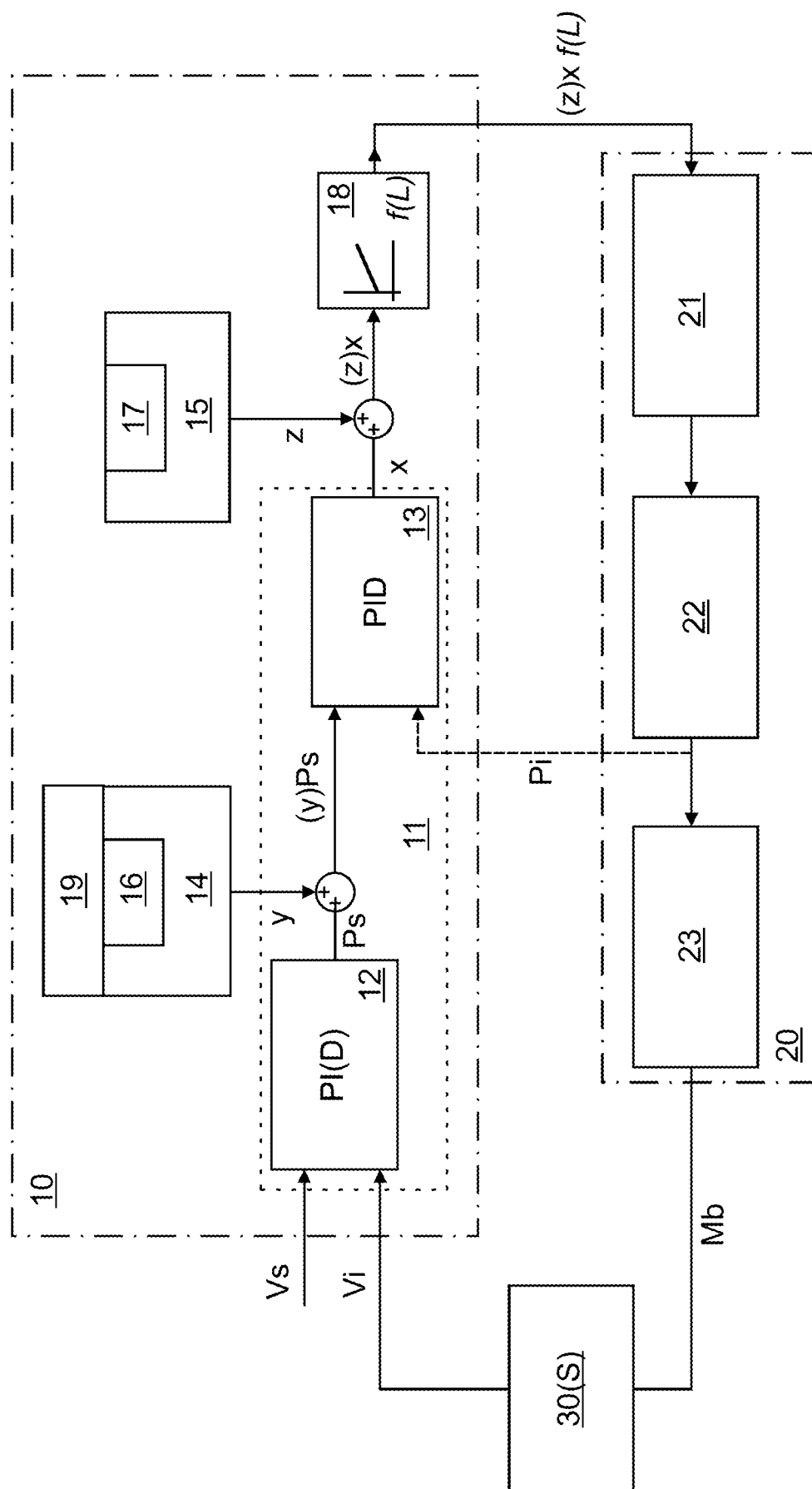


Fig. 1

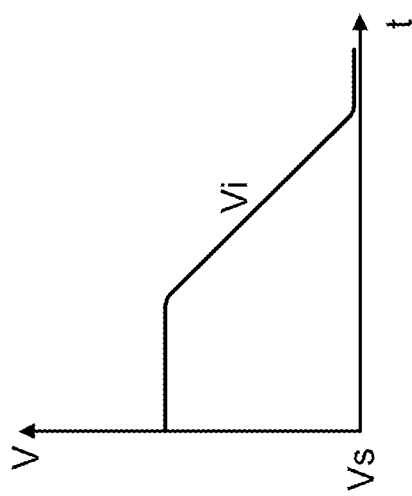


Fig. 2

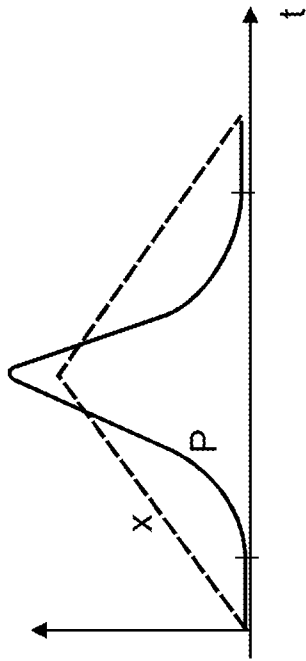


Fig. 3

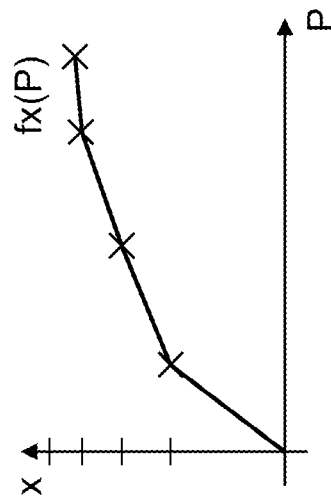


Fig. 4

GEÄNDERTE **Patentansprüche**

1. Bremskontrollvorrichtung (10) zum Kontrollieren von Bremsvorgängen eines Fahrzeugbremssystems (20), das eine Bremsreibung durch Aufbringen eines Bremsdrucks (P) erzeugt, der durch ein Druckmittel (22) variabel einstellbar ist, wobei

die Bremskontrollvorrichtung (10) dazu eingerichtet ist, eine Absenkung eines Istwertes (V_i) einer Geschwindigkeit eines Fahrzeugs (30) auf einen Sollwert (V_s) der Geschwindigkeit durch eine Einstellung des Druckmittels (22) zu kontrollieren, wobei

die Bremskontrollvorrichtung (10) einen kaskadierten Controller (11) umfasst, aufweisend:

einen Geschwindigkeits-Regler (12) für ein Kontrollieren einer Annäherung des Istwertes (V_i) der Geschwindigkeit auf den Sollwert (V_s) der Geschwindigkeit durch Bestimmung und Ausgabe eines Sollwertes (P_s) des Bremsdrucks, und

einen Bremsdruck-Regler (13) zum Kontrollieren einer Annäherung eines Istwertes (P_i) des Bremsdrucks auf den Sollwert (P_s) des Bremsdrucks durch Bestimmung und Ausgabe eines Einstellparameters (x) für eine Einstellung des Druckmittels (22),

dadurch gekennzeichnet, dass

die Bremskontrollvorrichtung (10) ferner einen Druckaufbau-Vorsteuerungsabschnitt (15) aufweist, der einen Vorsteuer-Einstellparameter (z), der auf einer Funktion eines Anstiegs des Bremsdrucks (P) entlang eines Stellweges des Druckmittels (22) basiert, ausgibt und mit einer Ausgabe des Einstellparameters (x) aus dem Bremsdruck-Regler (13) logisch verknüpft ist.

2. Bremskontrollvorrichtung (10) nach Anspruch 1, wobei in einem Regelungskreis der Bremskontrollvorrichtung (10) der Geschwindigkeits-Regler (12) des kaskadierten Controllers (11) einen Hauptregler bildet, der in einer äußeren Regelungsschleife logisch verknüpft ist, und der Bremsdruck-Regler (13) des kaskadierten Controllers (11) einen Folgeregler bildet, der in einer inneren Regelungsschleife logisch verknüpft ist.
3. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Geschwindigkeits-Regler (12) des kaskadierten Controllers (11) als ein PI-Regler oder als ein PID-Regler ausgebildet ist.
4. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Bremsdruck-Regler (13) des kaskadierten Controllers (11) als ein PID-Regler ausgebildet ist.
5. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Druckaufbau-Erfassungsabschnitt (17) für eine Erfassung des Bremsdrucks (P) im Verhältnis zu dem Stellweg des Druckmittels (22).
6. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Linearisierungsabschnitt (18), der mit der Ausgabe des Einstellparameters (x) aus dem Bremsdruck-Regler (13), vorzugsweise nach einer Ausgabe des Vorsteuer-Einstellparameter (z) aus dem Druckaufbau-Vorsteuerungsabschnitt (15), logisch verknüpft ist, für eine zumindest abschnittsweisen Annäherung eines Verlaufs des ausgegebenen Einstellparameters (x) durch wenigstens eine lineare Funktion.
7. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Reibungs-Vorsteuerungsabschnitt (14), der einen Vorsteuer-Bremsdruck (y), welcher auf einem variablen Reibungskoeffizienten (μ) basiert, ausgibt und mit einer Ausgabe des Sollwertes (P_s) des Bremsdrucks aus dem Geschwindigkeits-Regler (12) logisch verknüpft ist.
8. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend einen Reibungs-Berechnungsabschnitt (16) für eine

Berechnung des variablen Reibungskoeffizienten (μ) basierend auf einen physikalischen Verhältnis zwischen geometrischen Parametern sowie einem erfassten Wert des Bremsmoments (M_b) und einem erfassten Wert des Bremsdruck (P) aus einem Bremsvorgang.

9. Bremskontrollvorrichtung (10) nach Anspruch 8, ferner aufweisend einen Lernabschnitt (19) für ein Abspeichern und Vergleichen von Verläufen des variablen Reibungskoeffizienten (μ) aus aufeinanderfolgenden Bremsvorgängen aus dem Reibungs-Berechnungsabschnitt (16).
10. Bremskontrollvorrichtung (10) nach Anspruch 9, wobei der Lernabschnitt (19) ferner einen Prognoseabschnitt für ein Prognostizieren einer Veränderung des Reibungskoeffizienten (μ) in einem nachfolgenden Bremsvorgang aufweist, wobei der Prognoseabschnitt basierend auf einer Korrelation aus den Vergleichen der abgespeicherten Verläufe des variablen Reibungskoeffizienten prognostiziert.
11. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Sollwert (V_s) der Geschwindigkeit den Wert Null beträgt.
12. Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Einstellparameter (x) eine ausgegebene elektrische Spannung ist, die für eine Stellwegposition eines elektrischen Stellgliedes (21) zur Betätigung des Druckmittels (22) entlang des Stellweges bezeichnend ist.
13. Fahrzeugprüfstand, eingerichtet zur Durchführung von Bremsvorgängen des Fahrzeugbremssystems (20) in einer vorbestimmten Testumgebung, aufweisend die Bremskontrollvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 12.
14. Fahrzeugprüfstand nach Anspruch 13, ferner aufweisend einen Fahrzeugsimulator (30S), der eine Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeugs (30) gemäß spezifischen Parametern eines hinterlegten Fahrzeugmodells in Reaktion auf eine Bremsleistung des Fahrzeugbremssystems (20) simuliert.