

(12)

(22) Anmeldetag: 15.11.2023

(22) Anmeldetag: 15.11.2023

(43) Veröffentlicht am: 15.01.2025

(51) Int. Cl.: **G01M 13/025** (2019.01)

G01M 15/02 (2006.01)

(2006.01)

(56) **Entgegenhaltungen:**

EP 3172550 A1

DE 102018103433 A1

DE 102021206778 A1

DE 102010052261 A1

(71) Patentanmelder:

AVL List GmbH

8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:

Quick Andreas Dipl.-Ing. (FH)

68305 Mannheim (DE)

Schyr Christian Dr.-Ing.

69120 Heidelberg (DE)

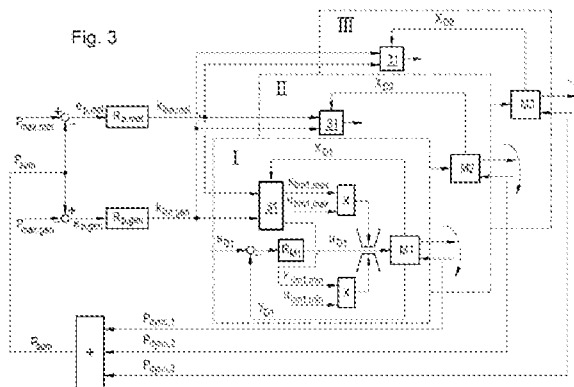
(74) Vertreter:

Patentanwälte Pinter & Weiss OG

1040 Wien (AT)

(54) Prüfstand und Verfahren zur leistungsbegrenzten Prüfung eines Prüflings

(57) Um eine im Vergleich zum bekannten Stand der Technik verbesserte Methode zur Leistungsbegrenzung auf einem Prüfstand (100) anzugeben, wird aus einer Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) einer Belastungsmaschine (M1) des Prüfstandes (100) und einem vorgegebenen Leistungsgrenzwert (P_{max}) ein Leistungsvergleichswert (e_P) ermittelt, aus dem Leistungsvergleichswert (e_P) ein Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) ermittelt und der ermittelte Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) dazu herangezogen, um in Abhängigkeit zumindest einer Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) der Belastungsmaschine (M1) einen oberen Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim1,max}}$) und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim1,min}}$) zur Begrenzung einer Dyno-Stellgröße ($u_{D,1}$) zum Regeln der Belastungsmaschine (M1) zu skalieren.



Zusammenfassung

- Um eine im Vergleich zum bekannten Stand der Technik verbesserte Methode zur Leistungsbegrenzung auf einem Prüfstand (100) anzugeben, wird aus einer Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) einer Belastungsmaschine (M1) des Prüfstandes (100) und einem vorgegebenen
- 5 Leistungsgrenzwert (P_{max}) ein Leistungsvergleichswert (e_P) ermittelt, aus dem Leistungsvergleichswert (e_P) ein Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) ermittelt und der ermittelte Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) dazu herangezogen, um in Abhängigkeit zumindest einer Dyno-
- Zustandsgröße ($X_{D,1}$) der Belastungsmaschine (M1) einen oberen Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim1,max}}$) und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim1,min}}$) zur Begrenzung einer Dyno-
- 10 Stellgröße (u_{D1}) zum Regeln der Belastungsmaschine (M1) zu skalieren.

Fig. 3

Prüfstand und Verfahren zur leistungsbegrenzten Prüfung eines Prüflings

Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Verfahren zur Leistungsbegrenzung auf einem Prüfstand, wobei ein Prüfling durch eine Belastungsmaschine belastet wird und die Belastungsmaschine durch eine Antriebsregeleinheit geregelt wird, wobei die Antriebsregeleinheit aus zumindest einem einzuregelnden Dyno-Sollwert eine Dyno-Stellgröße zum Regeln der Belastungsmaschine ermittelt, und wobei zumindest ein Leistungsgrenzwert zur Begrenzung einer Dyno-Leistung der Belastungsmaschine vorgegeben wird. Weiters betrifft die Erfindung einen Prüfstand mit einer Belastungsmaschine, einem Prüfling und einer Antriebsregeleinheit, wobei in der Antriebsregeleinheit ein Leistungsgrenzwert zur Begrenzung einer Dyno-Leistung der Belastungsmaschine hinterlegt ist.

Bei Prüfständen unterschiedlichster Art ist es üblich, gleichzeitig mehrere, mitunter in ihrer Type verschiedene Lasteinheiten einzusetzen, um einen oder mehrere Prüflinge zu belasten und damit zu testen. Bei einem Prüfstand kann es sich dabei um einen Motorprüfstand handeln, oder um einen Antriebsstrangprüfstand, um einen Getriebeprüfstand, einen Kupplungsprüfstand, oder aber auch um Prüfstände aus dem Bereich der Elektromobilität, wie hochdrehende E-Motor-Prüfstände, Zelltester bzw. Batterietester, oder auch um Prüfstände aus dem Bereich der Brennstoffzellentechnik. Bei einer Lasteinheit kann es sich wiederum um eine elektrische Belastungsmaschine handeln, konkret um eine elektrische Synchron- oder Asynchronmaschine, die einen Prüfling in bekannter Weise belastet, wie beispielsweise einen Antriebsstrang oder einen Motor eines Automobils. Derartige Prüfkonzeppte sind aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt, sodass für weiterführende diesbezügliche Details auf das Schrifttum verwiesen werden kann, z.B. auf EP 3 172 550 B1, AT 520179 B1 oder DE 10 2021 125 156 B3.

Elektrische Lasteinheiten, wie insbesondere elektrische Belastungsmaschinen (Dynamometer, nachfolgend kurz „Dyno“), eines Prüfstandes, insbesondere aber auch elektrische Lasteinheiten von verschiedenen Prüfständen, welche zusammen ein Prüffeld bilden, sind typischerweise über einen gemeinsamen DC-Bus mit einem gemeinsamen netzseitigen elektrischen Umrichter verbunden. Der netzseitige Umrichter ist dabei auf seiner den Lasteinheiten abgewandten Seite mit einem Energieversorgungsnetz verbunden, um entweder Energie zum Versorgen der Lasteinheiten aus dem Netz zu beziehen, oder aber um beim Prüfen eines Prüflings, z.B. eines Verbrennungsmotors, generierte Energie an das Netz abzugeben, d.h. in das Netz zurückzuspeisen. Der netzseitige Umrichter ist häufig für eine geringere Antriebs- oder Erzeugungsleistung ausgelegt als die verwendeten Lasteinheiten. Abhängig von Betriebszuständen der mit dem netzseitigen Umrichter verknüpften Lasteinheiten können dabei für den Betrieb des netzseitigen Umrichters vorgesehene Leistungsgrenzen erreicht oder mitunter überschritten werden, was offensichtlich unerwünscht ist und je nach Schwere der

Überschreitung zu Fehlern am Prüfstand führen kann. Fehler am Prüfstand können wiederum ungewollte Abbrüche von Prüfprogrammen zur Folge haben, und Abbrüche von Prüfprogrammen können letztlich zu einem Verlust wichtiger Messergebnisse führen, die mitunter aus bereits lange laufenden Dauerlauftests stammen.

- 5 Diese Problematik ist im Stand der Technik bekannt, z.B. aus den Schriften DE 10 2018 103 433 A1, welche einen Prüfstand für eine Verbrennungskraftmaschine mit zwei Lastreglern zeigt, und DE 10 2021 206 778 A1, welche ein leistungsbegrenzendes Verfahren zum Betreiben eines Antriebsstrangs einer Arbeitsmaschine lehrt.

Den aus dem Stand der Technik bekannten Ansätzen ist allerdings gemein, dass auf Spezi-
 10 fika, die sich insbesondere aus verschiedenen Betriebszuständen eines Prüflings, eines Prüfstands oder einer oder mehrerer Lasteinheiten ergeben, nur unzureichend und vor allem nur ungenau eingegangen wird. In vielen Fällen kommt es so im Betrieb eines Prüfstandes zu stärkeren Einschränkungen des Prüfbetriebes als es erforderlich wäre, um vorgegebenen Leistungsgrenzen zu entsprechen. Daraus resultieren Performance-Einbußen und/oder Ver-
 15 schlechterungen von Prüfergebnissen.

Es ist demnach Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, eine verbesserte Methode zur Leistungsbegrenzung auf einem Prüfstand anzugeben.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe für das eingangs genannte Verfahren zur Leistungsbe-
 grenzung gelöst, indem aus der Dyno-Leistung und dem Leistungsgrenzwert ein Leistungs-
 20 vergleichswert ermittelt wird, aus dem Leistungsvergleichswert ein Stellgrößen-Begrenzungsfaktor ermittelt wird und der ermittelte Stellgrößen-Begrenzungsfaktor dazu herangezogen wird, um in Abhängigkeit zumindest einer Dyno-Zustandsgröße der Belastungsmaschine einen oberen Stellgrößen-Grenzwert und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert zur Begrenzung der Dyno-Stellgröße zu skalieren.

25 Durch diese erfindungsgemäße Vorgehensweise wird erreicht, dass Grenzwerte für eine Stellgröße nicht starr in Abhängigkeit einer Differenz zwischen einer zu überwachenden Leistung und einer vorgegebenen Leistungsgrenze modifiziert werden, sondern dass zusätzliche Information berücksichtigt wird, konkret Information über zumindest eine Zustandsgröße der Belastungsmaschine. Auf diese Weise kann in vielen Fällen eine wesentlich akkuratere Be-
 30 einflussung von Stellgrößen-Grenzen erfolgen, und oftmals eine unnötige Reduktion von zur Verfügung gestelltem Stellbereich vermieden werden.

Sich auf eine Belastungsmaschine („Dyno“, „Dynamometer“) beziehende Größen (Dyno-Leistung, Dyno-Sollwert, Dyno-Stellgröße, Dyno-Zustandsgröße, ...) erhalten im Rahmen der gegenständlichen Ausführungen zur Abgrenzung von anderen Größen das Präfix „Dyno-“.

35 Das Präfix „Dyno-“ dient lediglich der sprachlichen Präzisierung, sodass beispielsweise eine Dyno-Zustandsgröße einer Belastungsmaschine einer beliebigen geeigneten, üblichen

Zustandsgröße einer Belastungsmaschine entsprechen kann, wie einer Drehzahl einer Belastungsmaschine, einem elektrischen Strom einer Belastungsmaschine, einem Drehmoment einer Belastungsmaschine, einem magnetischen Fluss einer Belastungsmaschine, oder beispielsweise ein Dyno-Sollwert bzw. eine Dyno-Stellgröße als ein zum Regeln einer Belastungsmaschine geeigneter Sollwert bzw. Stellgröße zu verstehen sind usw.

Hinsichtlich der erfindungsgemäß herangezogenen Dyno-Leistung besteht im Rahmen dieser Erfindung Flexibilität, sodass eine von der Belastungsmaschine an die Antriebsregeleinheit abgegebene, generatorische elektrische Leistung als Dyno-Leistung der Belastungsmaschine verwendet werden kann oder eine von der Antriebsregeleinheit an die Belastungsmaschine abgegebene, motorische elektrische Leistung als Dyno-Leistung der Belastungsmaschine verwendet werden kann, oder eine an einer Dynowelle der Belastungsmaschine zur mechanischen Verbindung der Belastungsmaschine mit dem Prüfling auftretende mechanische Wellenleistung als Dyno-Leistung der Belastungsmaschine verwendet wird.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung, die insbesondere eine präzise Abstimmung des erfindungsgemäßen Konzeptes auf unterschiedliche Anwendungen und damit unterschiedliche Anforderungen ermöglichen, ergeben sich durch eine Ermittlung des Stellgrößen-Begrenzungsfaktors aus dem Leistungsvergleichswert mittels eines geeigneten Begrenzungs-Regelgesetzes, z.B. eines Regelgesetzes aus dem Bereich der P-, PI- oder PID-Regler, aus dem Bereich der flachheitsbasierten Regelung oder aus dem Bereich der modellprädiktiven Regelung, wofür die Dyno-Leistung zur Ermittlung des Leistungsvergleichswertes vom Leistungsgrenzwert bevorzugt subtrahiert werden kann, oder durch die Ermittlung der Dyno-Zustandsgröße der Belastungsmaschine als Dyno-Drehzahl der Belastungsmaschine.

In einer besonders vorteilhaften Weise kann die Dyno-Zustandsgröße der Belastungsmaschine hierbei aus einer Dyno-Drehzahl der Belastungsmaschine ermittelt werden, welche in vorteilhafter Weise bei der Berechnung der Dyno-Zustandsgröße gefiltert wird, z.B. durch ein Hysterese-Glied, und es kann der obere Stellgrößen-Grenzwert skaliert werden, wenn die Dyno-Zustandsgröße einen vorgegebenen Drehzahl-Schwellwert überschreitet, und/oder es kann der untere Stellgrößen-Grenzwert skaliert werden, wenn die Dyno-Zustandsgröße einen vorgegebenen Drehzahl-Schwellwert unterschreitet. Aufgrund der typischerweise gegebenen Verfügbarkeiten von hochwertigen (d.h. sowohl zeitlich als auch wertmäßig hochaufgelösten) Messdaten von Dyno-Drehzahlen von Belastungsmaschinen ist die Verwendung von Drehzahlen oftmals vorteilhaft. Grundsätzlich ist aber auch die Verwendung eines Drehmoments, eines elektrischen Stromes oder einer elektrischen Spannung einer Belastungsmaschine als Dyno-Zustandsgröße denkbar.

Eine weitere, besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ergibt sich, indem ein oberer Stellgrößenvergleichswert zur Beschreibung einer Abweichung zwischen dem oberen

Stellgrößen-Grenzwert und der Dyno-Stellgröße sowie ein unterer Stellgrößenvergleichswert zur Beschreibung einer Abweichung zwischen dem unteren Stellgrößen-Grenzwert und der Dyno-Stellgröße ermittelt werden, wobei in dem Fall, dass der ermittelte obere Stellgrößenvergleichswert einen vorgegebenen oberen Abweichungsschwellwert überschreitet und
 5 der obere Stellgrößen-Grenzwert erfindungsgemäß zu skalieren ist, der obere Stellgrößen-Grenzwert zu einem adaptierten oberen Stellgrößen-Grenzwert geändert wird, dessen Abweichung von der Dyno-Stellgröße unter dem vorgegebenen oberen Abweichungsschwellwert liegt, oder in dem Fall, dass der ermittelte untere Stellgrößenvergleichswert einen vorgegebenen unteren Abweichungsschwellwert überschreitet und der untere Stellgrößen-
 10 Grenzwert erfindungsgemäß zu skalieren ist, der untere Stellgrößen-Grenzwert zu einem adaptierten unteren Stellgrößen-Grenzwert geändert wird, dessen Abweichung von der Dyno-Stellgröße unter dem vorgegebenen unteren Abweichungsschwellwert liegt. Wie nachfolgend im Detail erläutert wird, kann auf diese Weise in vielen Anwendungsfällen eine schnellere Wirkung auf eine Dyno-Stellgröße erreicht werden, was insbesondere in Situationen mit Netz-Umrichtern mit nur geringer Überlastfähigkeit vorteilhaft sein kann.

Ein weiterer, wesentlicher Vorteil der gegenständlichen Erfindung besteht darin, dass die Anwendbarkeit keineswegs auf nur eine einzelne Belastungsmaschine beschränkt ist. Tatsächlich können im Rahmen dieser Erfindung auch die Leistungen mehrerer Belastungsmaschinen, die von einem oder von mehreren Prüfständen stammen können, kombiniert überwacht
 20 werden, wozu in einer vorteilhaften Weise die Dyno-Leistungen der zu überwachenden Belastungsmaschinen zu einer Summen-Dyno-Leistung summiert werden und die Summen-Dyno-Leistung mit dem Leistungsgrenzwert verglichen wird, um den Leistungsvergleichswert zu ermitteln. Gerade im Fall mehrerer Belastungsmaschinen, ebenso aber auch in Situationen mit nur einer Belastungsmaschine, kann es hierbei von Vorteil sein, für eine generatorische Summen-Dyno-Leistung und für eine motorische Summen-Dyno-Leistung separate
 25 Grenzwerte vorzusehen, was im Rahmen der Erfindung aber ebenso problemfrei möglich ist.

Weiters wird die genannte Aufgabe für einen eingangs genannten Prüfstand gelöst, indem die Antriebsregeleinheit weiters ausgestaltet ist, aus der Dyno-Leistung und dem Leistungsgrenzwert einen Leistungsvergleichswert und aus dem Leistungsvergleichswert einen Stellgrößen-Begrenzungsfaktor zu ermitteln und den ermittelten Stellgrößen-Begrenzungsfaktor dazu heranzuziehen, um in Abhängigkeit zumindest einer Dyno-Zustandsgröße der Belastungsmaschine einen oberen Stellgrößen-Grenzwert und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert zur Begrenzung der Dyno-Stellgröße zu skalieren.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 4
 35 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1 ein Beispiel eines Antriebsstrangprüfstandes,

Fig.2 einen erfindungsgemäßen Regelkreis zur Regelung einer Belastungsmaschine,

Fig.3 eine Ausgestaltung der Erfindung zur Leistungsbegrenzung mehrerer Belastungsmaschinen,

5 Fig.4 eine Ausgestaltung einer Zuordnungseinheit.

Fig.1 zeigt beispielhaft eine Anordnung eines Prüflings 1, hier ein Antriebsstrang, auf einem Prüfstand 100, hier ein Antriebsstrangprüfstand. Antriebsstrangprüfstände wie der in Fig.1 gezeigte sind aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt, z.B. aus EP 3 327 875 B1, und eignen sich in besonderer Weise für einen Einsatz der gegenständlichen Erfindung.

10 Im Antriebsstrangprüfstand gemäß Fig.1 ist der Prüfling 1 als reale Hardware physisch am Prüfstand 100 aufgebaut. Der Antriebsstrang umfasst eine Antriebseinheit 12, wie z.B. einen Verbrennungsmotor oder einen Elektromotor, der ein Getriebe 13 antreibt. Eine Antriebswelle 15 verbindet das Getriebe 13 mit einem Differenzialgetriebe 14, das in bekannter Weise zwei Seitenwellen 16 antreibt. An den Seitenwellen 16 sind im Normalbetrieb Radträger und Reifen angeordnet. Am vorliegenden Prüfstand 100 wird das Fahrzeuggrad allerdings
15 durch Belastungsmaschinen M1, M2 ersetzt, in der Regel durch Elektromotoren wie Synchronmaschinen oder Asynchronmaschinen, welche in der einschlägigen Literatur und so auch nachfolgend insbesondere als „Dynamometer“ oder kurz „Dyno“ bezeichnet werden. Sich auf eine Belastungsmaschine M1, M2 beziehende Größen, z.B. eine Drehzahl einer Belastungsmaschine, eine Stellgröße zum Regeln einer Belastungsmaschine usw., werden, wie
20 erwähnt, zur Abgrenzung von anderen Größen am Prüfstand 100 mit dem Präfix „Dyno-“ versehen.

Die Belastungsmaschinen M1, M2 sind in geeigneter Weise mit den Radträgern 18 verbunden, z.B. formschlüssig durch einen Verbindungsflansch 19 und eine Dynowelle 20. Über die
25 Dynowellen 20 wird dabei jeweils ein Belastungsdrehmoment M_D transportiert, welches von den Belastungsmaschinen M1, M2 zum Belasten des Prüflings 1 eingestellt wird. Die Belastungsdrehmomente M_{D1} , M_{D2} haben je eine Dyno-Drehzahl n_{D1} , n_{D2} zur Folge, die durch Produktbildung mit dem entsprechenden Belastungsdrehmoment M_D jeweils eine mechanische Wellenleistung beschreiben.

30 Bei einem der Darstellung von Fig.1 entsprechenden Prüfling 1 ist in der Regel weiters ein Bremssystem vorgesehen, um zum Bremsen ein Bremsmoment M_B in den Antriebsstrang einzuprägen. Ebenso können im Antriebsstrang noch weitere Drehmomente wirken, z.B. ein Drehmoment eines Radnabenmotors oder eines Elektromotors in einem Hybridantriebsstrang, die ein weiteres Antriebsmoment erzeugen, was die Anwendung der Erfindung nicht
35 einschränkt. Es sei angemerkt, dass es sich beim Antriebsstrangprüfstand gemäß Fig.1

lediglich um eine beispielhafte Anwendung der Erfindung handelt, und dass die Erfindung in gleicher Weise auch bei anderen Prüfstandstypen eingesetzt werden kann, z.B. bei Motorprüfständen, bei Getriebeprüfständen, bei Kupplungsprüfständen, bei Brennstoffzellenprüfständen, und generell in Fällen, in denen ein Prüflingsantrieb durch eine Belastungsmaschine bzw. durch eine Antriebsmaschine ersetzt wird, usw.

Damit die Belastungsmaschinen M1, M2 den Prüfling 1 belasten können, sind diese elektrisch zu versorgen. Zu diesem Zweck sind im Ausführungsbeispiel nach Fig.1 ein elektrisches Energie-Übertragungsnetz N, einen Netz-Umrichter N-UR und ein DC-Bus B_{DC} vorgesehen. Das Energie-Übertragungsnetz N ist über den Netz-Umrichter N-UR mit dem DC-Bus B_{DC} verbunden. Auf diese Weise werden im Energie-Übertragungsnetz N transportierte, elektrische Wechselgrößen (insbesondere Netz-Wechselspannung mit einer Frequenz von 50Hz oder 60Hz und einer Spannungshöhe von 400V, 690V, 10kV, 20kV oder 30kV) zunächst in elektrische Gleichgrößen, d.h. elektrische Gleichspannung und elektrischer Gleichstrom, gewandelt, welche über den DC-Bus B_{DC} transportiert werden. Die über den DC-Bus B_{DC} transportierten Gleichgrößen werden in weiterer Folge unterschiedlichen Antriebsregleinheiten AR1, AR2 zugeführt, die aus den Gleichgrößen erneut Wechselgrößen, d.h. Wechselspannung und Wechselstrom, erzeugen. Die von den Antriebsregleinheiten AR1, AR2 generierten Wechselgrößen werden in bekannter Weise an die Belastungsmaschinen M1, M2 zur Regelung angelegt. Die Frequenzen und Amplituden dieser an den Belastungsmaschinen M1, M2 angelegten Wechselgrößen sind dabei präzise gewählt, und insbesondere an sich aus vorgegebenen Prüfscenarien oder Prüfläufen ergebende Drehmoment- und/oder Drehzahlverläufe angepasst, um die Drehmoment- und/oder Drehzahlverläufe zum Prüfen des Prüflings 1 präzise nachzubilden und den Prüfling 1 damit zu belasten. Bei einer direkten Verbindung einer Belastungsmaschine M1, M2 mit dem Energie-Übertragungsnetz N, d.h. ohne zwischengeschaltete Antriebsregleinheit AR1, AR2 und ohne zwischengeschalteten Netz-Umrichter N-UR, wäre eine Anpassung und/oder Änderung von Frequenz und/oder Amplitude aus offensichtlichen Gründen nicht möglich.

Die Antriebsregleinheiten AR1, AR2 erfüllen folglich die Funktion eines Frequenzumrichters (FU), was beispielsweise in den Schriften DE 10 2010 052 261 B4 und AT 519261 B1 hinlänglich behandelt wird. Um ein Belastungsdrehmoment MD exakt auf einen vorgegebenen Sollwert-Zeitverlauf einregeln zu können, sind in den Antriebsregleinheiten AR1, AR2 typischerweise vielfältige elektronische Komponenten verbaut, z.B. Komponenten zur Signalverarbeitung von Messsignalen, die sich aus der Messung von Drehmomenten, Drehzahlen, Strömen usw. ergeben. Ebenso ist in einer zeitgemäßen Antriebsregleinheit AR1, AR2 typischerweise eine Steuereinheit zum Steuern und Regeln vorgesehen. Eine Steuereinheit (nicht gezeigt) einer Antriebsregleinheit AR1, AR2 kann dabei bevorzugt durch

mikroprozessorbasierte Hardware realisiert werden, wie beispielsweise durch Mikrocontroller und/oder integrierte Schaltungen (ASIC, FPGA).

Zwischen den Belastungsmaschine M1, M2 und den Antriebsregeleinheiten AR1, AR2 werden die elektrischen Leistungen $P_{\text{sup},1}$, $P_{\text{sup},2}$ ausgetauscht. Die vorstehend genannten, sich aus den Wellenmomenten M_{D1} , M_{D2} und Wellendrehzahlen n_{D1} , n_{D2} ergebenden mechanischen Wellenleistungen unterscheiden sich von einer entsprechenden elektrischen Leistung $P_{\text{sup},1}$, $P_{\text{sup},2}$ nur geringfügig, konkret durch interne, in den Belastungsmaschinen M1, M2 auftretende Verluste, die typischerweise in einem Bereich von weniger als 1%, 2%, 3%, 5% oder 10% einer entsprechenden Wellenleistung liegen. In bekannter Weise ergeben sich je nachdem, ob sich der Prüfling 1 in einem motorischen (d.h. Energie aufnehmenden) oder in einem generatorischen (d.h. Energie abgebenden) Betrieb befindet, Energieflüsse mit unterschiedlichen Richtungen. In einem motorischen Betrieb wird Energie vom Netz N über den DC-Bus B_{DC} über die Antriebsregeleinheiten AR1, AR2 hin zu den Belastungsmaschinen M1, M2 transportiert, in einem generatorischen Betrieb geschieht der Energietransport in umgekehrte Richtung. Beispielsweise muss bei einem motorischen Betrieb einer Belastungsmaschine M1, M2 die an den Dynowellen 20 übermittelte Wellenleistung zuvor als elektrische Versorgungsleistung $P_{\text{sup},1,2}$ über den DC-Bus B_{DC} bereitgestellt werden.

Neben der Versorgung von Belastungsmaschinen M1, M2 aus dem Energie-Übertragungsnetz N („motorischer Betrieb“) kann dem DC-Bus B_{DC} demnach insbesondere bei leistungsstarken, aktiven Prüflingen 1 die Aufgabe zukommen, ausgehend von den Belastungsmaschinen M1, M2 Energie in das Energie-Übertragungsnetz N rückzuspeisen. Generiert ein Prüfling 1 beispielsweise ein beschleunigendes Drehmoment, welches z.B. die Drehzahlen der Seitenwellen 16 entgegen einem von den Belastungsmaschinen M1, M2 aufgebrachten Belastungsdrehmoment M_D erhöht, stellt sich ein positiver Energiefluss von der Antriebseinheit 12 über die Antriebsregeleinheiten AR1, AR2 hin zum DC-Bus B_{DC} und weiter zum Energie-Übertragungsnetz N ein („generatorischer Betrieb“).

Wie bereits an früherer Stelle ausgeführt, stellt in diesem Zusammenhang insbesondere der Netz-Umrichter N-UR eine limitierende Komponente dar. Da ein Netz-Umrichter N-UR typischerweise elektrische Energie von und für eine Mehrzahl von Belastungsmaschinen M1, M2 wandeln muss, da aber auch die in einem Netz-Umrichter N-UR verbauten Komponenten, wie insbesondere Halbleiterschaltmodule oder Dioden oder Widerstände oder sonstige leistungselektronische Komponenten, nicht beliebig stark belastet werden dürfen und demnach ebenso Beschränkungen unterliegen, werden Netz-Umrichter N-UR regelmäßig im Bereich ihrer Belastungsgrenzen betrieben. Belastungsgrenzen werden üblicherweise in Form von Maximalleistungen P_{max} ausgedrückt. Wie erwähnt, können abhängig von den Betriebszuständen von mit dem Netz-Umrichter N-UR verbundenen Belastungsmaschinen vorgesehene Leistungsgrenzen P_{max} erreicht und mitunter überschritten werden, was offensichtlich

unerwünscht ist und je nach Schwere der Überschreitung zu Fehlern am Prüfstand, mithin aber auch zu Beschädigungen führen kann.

Wie erfindungsgemäß vorgegangen werden kann, um derartige, sich insbesondere aus den Limitierungen von Netz-Umrichter N-UR ergebenden Probleme zu lösen, wird nachfolgend anhand von Fig.2 erläutert, zunächst am Beispiel lediglich einer Belastungsmaschine M1.

Konkret zeigt Fig.2 einen Koppelplan, der insbesondere in einer Antriebsregeleinheit AR1, AR2 umgesetzt werden kann, z.B. als Simulink-Koppelplan, und der dazu herangezogen werden kann, um ein Verfahren zur Leistungsbegrenzung auf einem Prüfstand 100 umzusetzen, bei dem ein Prüfling 1 durch eine Belastungsmaschine M1 belastet wird, z.B. ein Antriebsstrang im Sinne von Fig.1 oder ein anderer Prüfling 1. Die Antriebsregeleinheit AR1 weist zu diesem Zweck einen Belastungsmaschinen-Regler RM1 auf, um aus zumindest einem vorgegebenen Dyno-Sollwert s_{D1} und einer auf den Dyno-Sollwert s_{D1} einzuregelnden Dyno-Istgröße y_{D1} (z.B. eine Drehzahl n_{D1} oder ein Drehoment) eine Dyno-Stellgröße u_{D1} zum Regeln der Belastungsmaschine M1 zu ermitteln. Dabei ist zumindest ein Leistungsgrenzwert $P_{\max}$ zur Begrenzung einer Dyno-Leistung $P_{\text{dyno},1}$ der Belastungsmaschine M1 vorgegeben.

Die Dyno-Leistung $P_{\text{dyno},1}$ der Belastungsmaschine M1 kann hierbei eine von der Belastungsmaschine M1 aufgenommene, umgesetzte, oder abgegebene Leistung beschreiben. Da sich, wie vorstehend ausgeführt, insbesondere eine elektrische Leistung $P_{\text{sup},1}$ und eine mechanische Wellenleistung einer Belastungsmaschine M1 meist nur geringfügig unterscheiden, kann z.B. je nach Anwendungsfall eine mechanische Wellenleistung als Dyno-Leistung $P_{\text{dyno},1}$ herangezogen werden, oder eine elektrische Versorgungsleistung $P_{\text{sup},1}$, $P_{\text{sup},2}$ als Dyno-Leistung $P_{\text{dyno},1}$ herangezogen werden, oder eine Kombination einer mechanischen Wellenleistung und einer elektrischen Versorgungsleistung $P_{\text{sup},1}$, $P_{\text{sup},2}$ als Dyno-Leistung $P_{\text{dyno},1}$ herangezogen werden.

Erfindungsgemäß ist im Koppelplan gemäß Fig.2 vorgesehen, aus der Dyno-Leistung $P_{\text{dyno},1}$ der Belastungsmaschine M1 und dem Leistungsgrenzwert $P_{\max}$ einen Leistungsvergleichswert e_P und in weiterer Folge aus dem Leistungsvergleichswert e_P ein Stellgrößen-Begrenzungsfaktor k_{lim} zu ermitteln, und den ermittelten Stellgrößen-Begrenzungsfaktor k_{lim} dazu heranzuziehen, um in Abhängigkeit zumindest einer Dyno-Zustandsgröße $X_{D,1}$ der Belastungsmaschine M1 einen oberen Stellgrößen-Grenzwert $u_{\text{lim},1,\max}$ und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert $u_{\text{lim},1,\min}$ zur Begrenzung der Dyno-Stellgröße u_{D1} zu skalieren.

In der Ausgestaltung gemäß Fig.2 wird zur Umsetzung der Erfindung in einer Zuordnungseinheit 31 in Abhängigkeit der zumindest einen Dyno-Zustandsgröße $X_{D,1}$ ausgewählt, welcher der beiden Stellgrößen-Grenzwerte $u_{\text{lim},1,\min,\max}$ skaliert wird. Ergibt sich beispielsweise, dass der obere Stellgrößen-Grenzwert $u_{\text{lim},1,\max}$ zu skalieren ist, der untere Stellgrößen-

Grenzwert $u_{lim1,min}$ jedoch nicht, so kann dem oberen aus der Zuordnungseinheit 31 ausgehenden Signalkanal der Wert des Stellgrößen-Begrenzungsfaktors k_{lim} zugewiesen werden, dem unteren demgegenüber der Wert 1. Zur Umsetzung dieser Zuordnung sind in Fig.2 weitere Stellgrößen-Begrenzungsfaktoren $k_{lim,max}$ und $k_{lim,min}$ vorgesehen. Ergibt sich, wie eben
 5 erwähnt, dass der obere Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,max}$ zu skalieren ist, der untere Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,min}$ jedoch nicht, kann z.B. $k_{lim,max}=k_{lim}$ und $k_{lim,min}=1$ gewählt werden. Auf eine konkrete Möglichkeit zur Ausgestaltung einer Zuordnungseinheit 31 wird im Zuge der Diskussion von Fig.4 eingegangen.

Die Dyno-Leistung $P_{dyno,1}$ wird im in Fig.2 gezeigten Fall zur Ermittlung des Leistungsvergleichswertes e_P vom Leistungsgrenzwert P_{max} subtrahiert, was einer in der Regelungstechnik üblichen Vorgehensweise entspricht. Grundsätzlich sind aber auch andere Ansätze zur Ermittlung des Leistungsvergleichswertes e_P denkbar, wie eine Filterung der Dyno-Leistung $P_{dyno,1}$ in einem geeigneten Filter, in dem der Leistungsgrenzwert P_{max} berücksichtigt wird, oder durch eine geeignete Produktbildung usw.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung und damit des Koppelplanes gemäß Fig.2, die insbesondere eine präzise Abstimmung des erfindungsgemäßen Konzeptes auf unterschiedliche Anwendungen und damit unterschiedliche Anforderungen ermöglichen, ergeben sich durch die Ermittlung des Stellgrößen-Begrenzungsfaktors k_{lim} aus dem Leistungsvergleichswert e_P mittels eines geeigneten Begrenzungs-Regelgesetzes R_P , z.B. eines Regelgesetzes
 15 aus dem Bereich der P-, PI- oder PID-Regler, aus dem Bereich der flachheitsbasierten Regelung oder aus dem Bereich der modellprädiktiven Regelung, oder weiters durch die Ermittlung der Dyno-Zustandsgröße $X_{D,1}$ der Belastungsmaschine M1 als Dyno-Drehzahl n_{D1} der Belastungsmaschine M1.

Im Fall einer Ermittlung der Dyno-Zustandsgröße $X_{D,1}$ aus einer oder als Dyno-Drehzahl n_{D1}
 25 kann insbesondere der obere Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,max}$ skaliert werden, wenn die Dyno-Zustandsgröße $X_{D,1}$, d.h. in diesem Fall die Dyno-Drehzahl n_{D1} , einen vorgegebenen Drehzahl-Schwellwert überschreitet, oder der untere Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,min}$ kann skaliert werden, wenn die Dyno-Zustandsgröße $X_{D,1}$ einen vorgegebenen Drehzahl-Schwellwert unterschreitet. Eine Dyno-Drehzahl n_{D1} der Belastungsmaschine M1 kann bei der Be-
 30 rechnung der Dyno-Zustandsgröße $X_{D,1}$ in einer besonders vorteilhaften Weise zusätzlich gefiltert werden, wobei sich herausgestellt hat, dass sich zu diesem Zweck insbesondere die Verwendung eines Hysterese-Gliedes H eignet. Auf diese Zusammenhänge wird an späterer Stelle im Detail eingegangen.

Durch die Erfindung wird erreicht, dass Grenzwerte für eine Stellgröße nicht starr in Abhängigkeit einer Differenz zwischen einer zu überwachenden Leistung und einer vorgegebenen Leistungsgrenze modifiziert werden, sondern dass Information, die bei der Adaption von
 35

Stellgrößen-Grenzwerten zur Verfügung steht, über zumindest eine Zustandsgröße X_D der Belastungsmaschine M1 berücksichtigt wird. Auf diese Weise kann in vielen Fällen eine wesentlich akkuratere Beeinflussung von Stellgrößen-Grenzen erfolgen, und oftmals eine unnötige Reduktion von zur Verfügung gestelltem Stellbereich vermieden werden. Auch die Möglichkeit der Verwendung eines auf einen individuellen Anwendungsfall präzise abgestimmten Begrenzungs-Regelgesetzes R_P ermöglicht in vielen Fällen eine signifikante Verbesserung im Vergleich zu aus dem Stand der Technik bekannten Ansätzen.

Es ist zu betonen, dass gerade die Verwendung eines Faktors, d.h. die Verwendung eines Stellgrößen-Begrenzungsfaktor k_{lim} , für die Leistungsreduzierung einen ebenso wichtigen, mitunter entscheidenden Vorteil darstellt, da ein derartiger Stellgrößen-Begrenzungsfaktor k_{lim} auf verschiedene physikalische Sollwertgrößen der Lasteinheiten (Drehmoment, Strom, ...) angewendet werden kann und folglich eine erhöhte Flexibilität sicherstellt. Im Stand der Technik werden typischerweise direkt Absolutwerte von Stellgrößen-Grenzwerten vorgegeben, was vielfach zu offensichtlichen Problemen führen kann. Gilt es z.B. eine elektrische Spannung als Stellgröße zu beschränken, sind üblicherweise völlig andere Wertebereiche zu berücksichtigen, als bei einer Begrenzung eines Drehmoments als Stellgröße. Ein erfindungsgemäßer Stellgrößen-Begrenzungsfaktor k_{lim} kann hier ohne nennenswerte Einschränkung verwendet werden, auch bei Stellgrößen aus unterschiedlichen physikalischen Domänen.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann der Stellgrößen-Begrenzungsfaktor k_{lim} auch auf Prüflingssollwerte angewendet werden, d.h. auf Sollwerte, die beispielsweise in einer Motorsteuerung (ECU) eines Prüflings 1 vorgegeben und durch geeignete Beeinflussung des Prüflings umgesetzt werden (z.B. Änderung einer Gaspedalstellung α , Änderung von Ansteuerzeiten bei Halbleiterschaltern usw.). Auf diese Weise wird es möglich, auch aktive Prüflinge in die Leistungsbegrenzungsmaßnahmen miteinzubeziehen.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ergibt sich, indem ein oberer Stellgrößenvergleichswert zur Beschreibung einer Abweichung zwischen dem oberen Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,max}$ und der Dyno-Stellgröße u_{D1} sowie ein unterer Stellgrößenvergleichswert zur Beschreibung einer Abweichung zwischen dem unteren Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,min}$ und der Dyno-Stellgröße u_{D1} ermittelt werden, wobei in dem Fall, dass der ermittelte obere Stellgrößenvergleichswert einen vorgegebenen oberen Abweichungsschwellwert überschreitet und der obere Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,max}$ erfindungsgemäß zu skalieren ist, der obere Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,max}$ zu einem adaptierten oberen Stellgrößen-Grenzwert geändert wird, dessen Abweichung von der Dyno-Stellgröße u_{D1} unter dem vorgegebenen oberen Abweichungsschwellwert liegt, oder in dem Fall, dass der ermittelte untere Stellgrößenvergleichswert einen vorgegebenen unteren Abweichungsschwellwert überschreitet und der untere Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,min}$ erfindungsgemäß zu skalieren ist, der untere

Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,min}$ zu einem adaptierten unteren Stellgrößen-Grenzwert geändert wird, dessen Abweichung von der Dyno-Stellgröße u_{D1} unter dem vorgegebenen unteren Abweichungsschwellwert liegt.

Durch diese Vorgehensweise wird neben den vorstehenden genannten Vorteilen zusätzlich
 5 das Problem gelöst, dass individuelle Dyno-Stellgrößen u_{D1} selbst oft weit entfernt sein können von einem für sie vorgesehenen Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,max}$, das Erreichen eines Leistungsgrenzwertes P_{max} eine Beschränkung einer Dyno-Stellgrößen u_{D1} aber erforderlich macht. Wird in einem solchen Fall erst (langsam) mit einer Änderung eines Stellgrößen-Begrenzungsfaktors k_{lim} begonnen, kann mitunter beträchtliche Zeit vergehen, bis eine erfindungsgemäße Reduktion eines Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,max,min}$ tatsächlich auf eine Stellgröße zu wirken beginnt. Um hier rascher reagieren zu können, kann im Fall einer großen Abweichung ein Stellgrößen-Grenzwert $u_{lim1,max,min}$ beispielsweise sprunghaft auf einen adaptierten Wert geändert werden, der näher an einem aktuellen Wert der Stellgröße u_{D1} liegt, so dass die erfindungsgemäße Skalierung bereits früher beginnt zu greifen. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem „Springen auf den Druckpunkt“, da auf diese Weise bevorzugt unmittelbar, zumindest aber wesentlich schneller, auf eine Stellgröße gewirkt werden kann. Der Abweichungsschwellwert kann hierbei beispielsweise als Relativwert der Dyno-Stellgröße u_{D1} vorgegeben werden, z.B. als 100% einer Dyno-Stellgröße u_{D1} oder als 50% einer Dyno-Stellgröße u_{D1} oder als 10% einer Dyno-Stellgrößen u_{D1} . Natürlich ist auch die
 15
 20 Vorgabe eines fixen Absolutwertes denkbar.

Bekanntermaßen erfolgt eine Regelung bzw. Steuerung eines Prüfstandes 100 typischerweise digital, d.h. zu diskreten Zeitpunkten. In einer vorteilhaften Weise kann hierbei ein Wert einer Stellgröße u_{D1} zum Ermitteln eines Stellgrößenvergleichswertes herangezogen werden, der zu einem diskreten Zeitpunkt erfasst worden ist, der vorzugsweise unmittelbar
 25 vor jenem diskreten Zeitpunkt liegt, an dem mit der erfindungsgemäßen Skalierung des Stellgrößen-Begrenzungsfaktor k_{lim} begonnen werden soll. Natürlich ist auch denkbar, einen bereits weiter zurückliegenden Wert eines Stellgrößen-Grenzwertes $u_{lim1,max,min}$ zum Vergleich heranzuziehen, ebenso kann ein Mittelwert von mehreren vergangenen Stellgrößen-Grenzwerten $u_{lim1,max,min}$ zum Vergleich herangezogen werden.

30 In einer besonders vorteilhaften Weise kann der adaptierte obere Stellgrößen-Grenzwert dabei gleich einem Wert der Dyno-Stellgröße u_{D1} gewählt werden, d.h. gleich einem gemäß den vorstehenden Ausführungen vergangenen Wert, d.h. einem zu einem vorhergehenden, diskreten Messzeitpunkt erfassten Wert, oder unmittelbar vorhergehenden Wert oder Mittelwert, oder es kann natürlich ebenso der adaptierte untere Stellgrößen-Grenzwert gleich der Dyno-Stellgröße u_{D1} gewählt werden.
 35

Weiterer Gestaltungsspielraum bei der Umsetzung dieser Ausgestaltung der Erfindung ergibt sich, indem der adaptierte obere Stellgrößen-Grenzwert in Abhängigkeit einer Überlastfähigkeit eines mit der Antriebsregeleinheit AR1 verbundenen Netz-Umrichters N-UR oder in Abhängigkeit der zumindest einen Dyno-Zustandsgröße $X_{D,1}$ der Belastungsmaschine M1 gewählt wird, und/oder dass der adaptierte untere Stellgrößen-Grenzwert in Abhängigkeit einer Überlastfähigkeit eines mit der Antriebsregeleinheit AR1 verbundenen Netz-Umrichters N-UR oder in Abhängigkeit der zumindest einen Dyno-Zustandsgröße $X_{D,1}$ der Belastungsmaschine M1 gewählt wird. Ist beispielsweise bekannt, dass die Überlastfähigkeit eines Netz-Umrichters N-UR nur sehr gering ist, kann es von Vorteil sein, eine schnelle, unmittelbare und große Änderung eines Stellgrößen-Grenzwertes $u_{lim1,max,min}$ vorzusehen, damit eine auftretende Dyno-Leistung P_{dyno} schnell reduziert werden kann. Konkret kann beispielsweise in Abhängigkeit der Überlastfähigkeit eines Netz-Umrichters N-UR entschieden, werden, ob unmittelbar auf einen Wert einer Dyno-Stellgröße u_{D1} gesprungen wird, oder auf einen von der Dyno-Stellgröße u_{D1} abweichenden, z.B. um 20% oder 10% oder 5% abweichenden, adaptierten Wert.

Wie vorstehend erläutert, zeigt Fig.2 eine Anwendung der Erfindung zur Leistungsregulierung lediglich einer Belastungsmaschine M1. In einer besonders vorteilhaften Weise kann die Erfindung aber insbesondere dazu eingesetzt werden, um mehrere Leistungen zu regulieren, die mehreren Belastungsmaschinen M1, M2, ... zugeordnet sind. Mehrere Belastungsmaschinen M1, M2, ... können dabei von einem einzelnen Prüfstand stammen, wie die Belastungsmaschinen M1, M2 vom Antriebsstrangprüfstand gemäß Fig.1. Die mehreren Belastungsmaschinen M1, M2, ... können aber auch aus unterschiedlichen Prüfständen aus einem umfassenderen Prüffeld stammen. Insbesondere in der Motorenentwicklung ist es üblich, eine mitunter große Zahl an Motorprüfständen nebeneinander anzuordnen, dabei aber die gegebenen Belastungsmaschinen M1, M2 über einen gemeinsamen DC-Bus B_{DC} zu versorgen. Wie dazu vorgegangen werden kann, ist nachfolgend anhand von Fig.3 gezeigt.

Konkret sind in der Ausführung nach Fig.3 zwei weitere geregelte Belastungsmaschinen M2, M3 zur Belastung eines Prüflings 1 vorgesehen, was jedoch keineswegs als beschränkend zu verstehen ist. In gleicher Weise könnten noch wesentlich mehr weitere Belastungsmaschinen M2, M3, M4, ... vorgesehen sein. Bei einem von einer weiteren Belastungsmaschine M2, M3 belasteten Prüfling 1 kann es sich um den gleichen Prüfling 1 handeln, den bereits die Belastungsmaschine M1 belastet. Gerade bei Antriebsstrangprüfständen sind mitunter bis zu sechs oder sogar mehr Belastungsmaschinen M1, M2 zur Prüfung nur eines Prüflings 1 üblich. Wie erwähnt, kann es sich bei einem von einer weiteren Belastungsmaschine M2, M3 belasteten Prüfling 1 auch um einen anderen Prüfling handeln, d.h. um einen Prüfling, der verschieden ist von jenem Prüfling 1, der von der ersten Belastungsmaschine M1 belastet wird.

Für die weiteren Belastungsmaschinen M2, M3 wird wie für die erste Belastungsmaschine M1 aus einem weiteren einzuregelnden Dyno-Sollwert s_{D2} , s_{D3} eine weitere Dyno-Stellgröße u_{D2} , u_{D3} zum Regeln ermittelt, sodass auch die weiteren Belastungsmaschinen M2, M3 eine Dyno-Leistung $P_{\text{dyno},2}$, $P_{\text{dyno},3}$ umsetzen bzw. aufweisen. Um nun die mehreren gegebenen
 5 Dyno-Leistungen $P_{\text{dyno},2}$, $P_{\text{dyno},3}$ zu verarbeiten, ist im Rahmen einer Ausführung gemäß Fig.3 vorgesehen, die Dyno-Leistung $P_{\text{dyno},1}$ der ersten Belastungsmaschine M1 und die weiteren Dyno-Leistungen $P_{\text{dyno},2}$, $P_{\text{dyno},3}$ zu einer Summen-Dyno-Leistung P_{sum} zu kombinieren, im gegenständlichen Fall zu summieren, um aus der so erhaltenen Summen-Dyno-Leistung P_{sum} und dem Leistungsgrenzwert P_{max} den Leistungsvergleichswert e_P zu ermitteln. Wie gehabt
 10 wird aus dem Leistungsvergleichswert e_P ein Stellgrößen-Begrenzungsfaktor k_{lim} ermittelt, welcher dazu herangezogen wird, um nun in Abhängigkeit weiterer Dyno-Zustandsgröße $X_{D,2}$, $X_{D,3}$ der weiteren Belastungsmaschinen M2, M3 zusätzlich obere Stellgrößen-Grenzwerte $u_{\text{lim}2,\text{max}}$, $u_{\text{lim}3,\text{max}}$ und/oder untere Stellgrößen-Grenzwert $u_{\text{lim}2,\text{min}}$, $u_{\text{lim}3,\text{min}}$ sämtlicher Belastungsmaschinen M1, M2, M3 zur Begrenzung der weiteren Dyno-Stellgrößen u_{D2} , u_{D2} zu
 15 skalieren.

Als besondere, vorteilhafte Maßnahme werden bei der in Fig.3 dargestellten Variante für den generatorischen Fall eine generatorische Maximalleistung $P_{\text{max,gen}}$ und für den motorischen Fall eine motorische Maximalleistung $P_{\text{max,mot}}$ vorgesehen, womit zwei unterschiedliche Stellgrößen-Begrenzungsfaktoren $k_{\text{lim,gen}}$, $k_{\text{lim,mot}}$ ermittelt werden. Um beide dieser Stellgrößen-Begrenzungsfaktoren $k_{\text{lim,gen}}$, $k_{\text{lim,mot}}$ weiterverarbeiten zu können, weisen die Zuordnungseinheiten 31 in Fig.3 je einen weiteren Eingang auf. Ein konkreter Aufbau einer Zuordnungseinheit 31, der insbesondere auch zwei Stellgrößen-Begrenzungsfaktoren $k_{\text{lim,gen}}$, $k_{\text{lim,mot}}$ verarbeiten kann, wird nachstehend anhand von Fig.4 diskutiert. Gemäß den vorstehenden Ausführungen ist eine derartige Zweiteilung aber keineswegs zwingend nötig, und es könnte un-
 20 verändert auch nach wie vor nur ein einzelner Leistungsgrenzwert P_{max} eingesetzt werden.

Obwohl auch hinsichtlich der konkreten Art der Bildung der Summen-Dyno-Leistung P_{sum} Alternativen bestehen, beispielsweise durch eine gewichtete Addition, bietet die Verwendung einer einfachen Summe den wesentlichen Vorteil, dass in dem in der Praxis häufig auftretenden Fall, dass die eingesetzten Belastungsmaschinen M1, M2, M3 in unterschiedlichen Betriebsmodi laufen (motorisch, generatorisch), die Summen-Dyno-Leistung P_{sum} einen vorgegebenen Grenzwert vielfach gar nicht überschreitet, vor allem da sich der Leistungsfluss zwischen den Lasteinheiten auf dem lokalen Zwischenkreis des Prüfstandssystems durch den Ausgleich generatorischer und motorischer Leistungen von selbst nivelliert.
 30

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass den auftretenden Leistungen je nach Konvention und Anwendungsfall unterschiedliche Vorzeichen zugewiesen werden können. Beispielsweise existieren in der Praxis Fälle, in denen eine motorische Leistung mit einem positiven Vorzeichen („+“) versehen wird, eine generatorische demgegenüber mit einem
 35

negativen Vorzeichen („-“), bzw. dass umgekehrt denen eine motorische Leistung mit einem negativen Vorzeichen („-“) versehen wird, eine generatorische demgegenüber mit einem positiven Vorzeichen („+“). Eine unterschiedliche Vorzeichenkonvention kann es dabei insbesondere bei der Umsetzung des Koppelplanes aus Fig.3 erforderlich machen, bei der Ermittlung der Leistungsvergleichswerte $e_{p,mot}$ und $e_{p,gen}$ die Vorzeichen zu drehen. Solche geringfügigen Adaption fallen jedoch in den Bereich von Routinetätigkeiten einer Fachperson auf dem Gebiet der Regelungstechnik, die eine derartige, gegebenenfalls erforderliche Anpassung ohne Schwierigkeiten vornehmen wird. Es gilt lediglich zu berücksichtigen, dass motorische Leistungen und generatorische Leistungen mit entgegengesetzten Vorzeichen versehen werden. In den in den Figuren 2 und 3 gezeigten Ausführungen kommt der vorstehend mehrfach genannten Zuordnungseinheit 31 wesentliche Bedeutung zu. Wie eine derartige Zuordnungseinheit 31 konkret aufgebaut werden kann, sei abschließend anhand von Fig.4 diskutiert. Konkret wird in der Zuordnungseinheit 31 nach Fig.4 zunächst eine Dyno-Zustandsgröße X_D aufgenommen und durch ein Hysterese-Glied H gefiltert. Das geschieht insbesondere zu dem Zweck, um Fluktuationen Dyno-Zustandsgröße X_D , die ein nervöses Umschalten zwischen den zur Verfügung stehenden Stellgrößen-Begrenzungsfaktoren $k_{lim,gen}$, $k_{lim,mot}$ zur Folge hätten, zu unterbinden.

Die gefilterte Dyno-Zustandsgröße X_D wird nachfolgend mit einem Skalierungsfaktor c_v , der vorzugsweise Information darüber transportiert, ob das von der entsprechenden Belastungsmaschine erzeugte Belastungsdrehmoment M_D positiv oder negativ ist und ob sich die Belastungsmaschine folglich in einem motorischen oder generatorischen Betrieb befindet. Je nach Betriebsmodus können die Limit-Faktoren $k_{lim,mot}$ und $k_{lim,gen}$ so den richtigen Stellgrößen-Grenzwerten $u_{lim,max}$ oder $u_{lim,min}$ zugeordnet werden. Der Skalierungsfaktor c_v kann im gegenständlichen Fall die Werte 1 und -1 annehmen und damit insbesondere auch die Vorzeichenkonvention der Belastungsmaschine abbilden. Das erlaubt, vorzugsweise in Kombination mit einer optionalen, weiteren Vorzeichenänderung (Multiplikation mit -1) nach den nachstehend beschriebenen Schaltelementen S1, S2, eine korrekte Zuordnung der Limit-Faktoren $k_{lim,mot}$ und $k_{lim,gen}$ zu den Stellgrößen-Grenzwerten $u_{lim,max}$ oder $u_{lim,min}$, abhängig von der Drehrichtung, der Vorzeichenkonventionen und dem Betriebsmodus. Eine auf diese Weise gefilterte und skalierte Dyno-Zustandsgröße X_D bildet in weiterer Folge einen Eingang in zwei verschiedene Schaltelemente S1, S2, sodass im Fall eines positiven Wertes der gefilterten und skalierten Dyno-Zustandsgröße X_D am Ausgang S1-E des ersten Schaltelements S1 der motorische Stellgrößen-Begrenzungsfaktoren $k_{lim,mot}$ ausgegeben wird, am Ausgang S2-E des zweiten Schaltelements S2 demgegenüber der generatorische Stellgrößen-Begrenzungsfaktoren $k_{lim,gen}$. Im Fall eines negativen Wertes der gefilterten und skalierten Dyno-Zustandsgröße X_D erfolgt eine umgekehrte Zuordnung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Leistungsbegrenzung auf einem Prüfstand (100), wobei ein Prüfling (1) durch eine Belastungsmaschine (M1) belastet wird und die Belastungsmaschine (M1) durch eine Antriebsregeleinheit (AR1) geregelt wird, wobei die Antriebsregeleinheit (AR1) aus zumindest einem einzuregelnden Dyno-Sollwert (s_{D1}) eine Dyno-Stellgröße (u_{D1}) zum Regeln der Belastungsmaschine (M1) ermittelt, und wobei zumindest ein Leistungsgrenzwert ($P_{\max}$) zur Begrenzung einer Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) der Belastungsmaschine (M1) vorgegeben wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus der Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) und dem Leistungsgrenzwert ($P_{\max}$) ein Leistungsvergleichswert (e_P) ermittelt wird, **dass** aus dem Leistungsvergleichswert (e_P) ein Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) ermittelt wird **und dass** der ermittelte Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) dazu herangezogen wird, um in Abhängigkeit zumindest einer Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) der Belastungsmaschine (M1) einen oberen Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}1,\max}$) und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}1,\min}$) zur Begrenzung der Dyno-Stellgröße (u_{D1}) zu skalieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) zur Ermittlung des Leistungsvergleichswertes (e_P) vom Leistungsgrenzwert ($P_{\max}$) subtrahiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) mittels eines vorgegebenen Begrenzungs-Regelgesetzes (R_P) aus dem Leistungsvergleichswert (e_P) ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine von der Belastungsmaschine (M1) an die Antriebsregeleinheit (AR1) abgegebene, generatorische elektrische Leistung ($P_{\text{sup},1}$) als Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) der Belastungsmaschine (M1) verwendet wird **und/oder dass** eine von der Antriebsregeleinheit (AR1) an die Belastungsmaschine (M1) abgegebene, motorische elektrische Leistung ($P_{\text{sup},1}$) als Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) der Belastungsmaschine (M1) verwendet wird **und/oder dass** eine an einer Dynowelle (20) der Belastungsmaschine (M1) zur mechanischen Verbindung der Belastungsmaschine (M1) mit dem Prüfling (1) auftretende mechanische Wellenleistung als Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) der Belastungsmaschine (M1) verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) der Belastungsmaschine (M1) aus einer Dyno-Drehzahl (n_{D1}) der Belastungsmaschine (M1) ermittelt wird, vorzugsweise einer Dyno-Drehzahl (n_{D1}) der Belastungsmaschine (M1) entspricht, **und dass** der obere Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}1,\max}$) skaliert wird, wenn die Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) einen vorgegebenen Drehzahl-Schwellwert überschreitet **und/oder dass** der untere Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}1,\min}$) skaliert wird,

wenn die Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) einen vorgegebenen Drehzahl-Schwellwert unterschreitet.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dyno-Drehzahl (n_{D1}) der Belastungsmaschine (M1) bei der Berechnung der Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) gefiltert wird, vorzugsweise durch ein Hysterese-Glied (H).

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein oberer Stellgrößenvergleichswert zur Beschreibung einer Abweichung zwischen dem oberen Stellgrößen-Grenzwert ($u_{lim1,max}$) und der Dyno-Stellgröße (u_{D1}) sowie ein unterer Stellgrößenvergleichswert zur Beschreibung einer Abweichung zwischen dem unteren Stellgrößen-Grenzwert ($u_{lim1,min}$) und der Dyno-Stellgröße (u_{D1}) ermittelt werden, **dass** in dem Fall, dass der ermittelte obere Stellgrößenvergleichswert einen vorgegebenen oberen Abweichungsschwellwert überschreitet und der obere Stellgrößen-Grenzwert ($u_{lim1,max}$) zu skalieren ist, der obere Stellgrößen-Grenzwert ($u_{lim1,max}$) zu einem adaptierten oberen Stellgrößen-Grenzwert geändert wird, dessen Abweichung von der Dyno-Stellgröße (u_{D1}) unter dem vorgegebenen oberen Abweichungsschwellwert liegt, **oder dass** in dem Fall, dass der ermittelte untere Stellgrößenvergleichswert einen vorgegebenen unteren Abweichungsschwellwert überschreitet und der untere Stellgrößen-Grenzwert ($u_{lim1,min}$) zu skalieren ist, der untere Stellgrößen-Grenzwert ($u_{lim1,min}$) zu einem adaptierten unteren Stellgrößen-Grenzwert geändert wird, dessen Abweichung von der Dyno-Stellgröße (u_{D1}) unter dem vorgegebenen unteren Abweichungsschwellwert liegt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der adaptierte obere Stellgrößen-Grenzwert gleich der Dyno-Stellgröße (u_{D1}) gewählt wird **oder dass** der adaptierte untere Stellgrößen-Grenzwert gleich der Dyno-Stellgröße (u_{D1}) gewählt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der adaptierte obere Stellgrößen-Grenzwert in Abhängigkeit einer Überlastfähigkeit eines mit der Antriebsregeleinheit (AR1) verbundenen Netz-Umrichters (N-UR) oder in Abhängigkeit der zumindest einen Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) der Belastungsmaschine (M1) gewählt wird, **und/oder dass** der adaptierte untere Stellgrößen-Grenzwert in Abhängigkeit einer Überlastfähigkeit eines mit der Antriebsregeleinheit (AR1) verbundenen Netz-Umrichters (N-UR) oder in Abhängigkeit der zumindest einen Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) der Belastungsmaschine (M1) gewählt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine weitere geregelte Belastungsmaschine (M2) mit einer weiteren Dyno-Leistung ($P_{dyno,2}$) zur Belastung des Prüflings (1) vorgesehen ist, für welche aus einem weiteren einzuregelnden Dyno-Sollwert (s_{D2}) eine weitere Dyno-Stellgröße (u_{D2}) zum Regeln ermittelt wird, wobei die Dyno-Leistung ($P_{dyno,1}$) der ersten Belastungsmaschine (M1) und die weitere Dyno-Leistung ($P_{dyno,2}$) zu einer Summen-Dyno-Leistung (P_{sum}) kombiniert, vorzugsweise

addiert, werden, um aus der Summen-Dyno-Leistung (P_{sum}) und dem Leistungsgrenzwert (P_{max}) den Leistungsvergleichswert (e_P) zu ermitteln, **und dass** der ermittelte Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) dazu herangezogen wird, um in Abhängigkeit einer weiteren Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,2}$) der weiteren Belastungsmaschine (M2) einen oberen Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}2,\text{max}}$) und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}2,\text{min}}$) zur Begrenzung der weiteren Dyno-Stellgröße (u_{D2}) zu skalieren.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein weiterer Prüfstand (200) mit einem weiteren Prüfling (P2) und zumindest eine weiteren geregelten Belastungsmaschine (M3) mit einer weiteren Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},3}$) zur Belastung des weiteren Prüflings (P2) vorgesehen ist, für welche aus einem weiteren einzuregelnden Dyno-Sollwert (s_{D3}) eine weitere Dyno-Stellgröße (u_{D3}) zum Regeln ermittelt wird, wobei die Dyno-Leistungen ($P_{\text{dyno},1}$, $P_{\text{dyno},2}$, $P_{\text{dyno},3}$) der Belastungsmaschinen (M1, M2, M3) des Prüfstandes (100) und des weiteren Prüfstandes (200) zu einer Summen-Dyno-Leistung (P_{sum}) kombiniert, vorzugsweise addiert, werden, um aus der Summen-Dyno-Leistung (P_{sum}) und dem Leistungsgrenzwert (P_{max}) den Leistungsvergleichswert (e_P) zu ermitteln, **und dass** der ermittelte Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) dazu herangezogen wird, um in Abhängigkeit einer weiteren Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,3}$) der weiteren Belastungsmaschine (M3) des weiteren Prüfstandes (200) einen oberen Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}3,\text{max}}$) und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}3,\text{min}}$) zur Begrenzung der weiteren Dyno-Stellgröße (u_{D3}) zu skalieren.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein motorischer Leistungsgrenzwert ($P_{\text{max},\text{mot}}$) zur Begrenzung einer motorischen Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) der Belastungsmaschine (M1) vorgegeben wird, **dass** ein generatorischer Leistungsgrenzwert ($P_{\text{max},\text{gen}}$) zur Begrenzung einer generatorischen Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) der Belastungsmaschine (M1) umgesetzt vorgegeben wird, **dass** aus der Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) und dem motorischen Leistungsgrenzwert ($P_{\text{max},\text{mot}}$) ein motorischer Leistungsvergleichswert ($e_{P,\text{mot}}$) ermittelt wird, **dass** aus der Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) und dem generatorischen Leistungsgrenzwert ($P_{\text{max},\text{gen}}$) ein generatorischer Leistungsvergleichswert ($e_{P,\text{gen}}$) ermittelt wird, **dass** aus dem motorischen Leistungsvergleichswert ($e_{P,\text{mot}}$) ein motorischer Stellgrößen-Begrenzungsfaktor ($k_{\text{lim},\text{mot}}$) ermittelt wird, **dass** aus dem generatorischen Leistungsvergleichswert ($e_{P,\text{gen}}$) ein generatorischer Stellgrößen-Begrenzungsfaktor ($k_{\text{lim},\text{gen}}$) ermittelt wird **und dass** in Abhängigkeit der Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) entweder der motorische Stellgrößen-Begrenzungsfaktor ($k_{\text{lim},\text{mot}}$) oder der generatorische Stellgrößen-Begrenzungsfaktor ($k_{\text{lim},\text{gen}}$) dazu herangezogen wird, um in Abhängigkeit der Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) der Belastungsmaschine (M1) einen oberen Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}1,\text{max}}$) und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}1,\text{min}}$) zur Begrenzung der Dyno-Stellgröße (u_{D1}) zu skalieren.

13. Prüfstand (100) zur leistungsbegrenzten Prüfung eines Prüflings (1), umfassend eine Belastungsmaschine (M1), um den Prüfling (1) zum Prüfen zu belasten, sowie eine Antriebsregeleinheit (AR1), um die Belastungsmaschine (M1) zu regeln, wobei die Antriebsregeleinheit (AR1) ausgestaltet ist, aus zumindest einem einzuregelnden Dyno-Sollwert (s_{D1}) eine Dyno-Stellgröße (u_{D1}) zum Regeln der Belastungsmaschine (M1) zu ermitteln, und wobei zumin-
- 5 dest ein Leistungsgrenzwert ($P_{\max}$) zur Begrenzung einer Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) der Belastungsmaschine (M1) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Antriebsregeleinheit (AR1) weiters ausgestaltet ist, aus der Dyno-Leistung ($P_{\text{dyno},1}$) und dem Leistungsgrenzwert ($P_{\max}$) einen Leistungsvergleichswert (e_P) und aus dem Leistungsvergleichswert (e_P) ei-
- 10 nen Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) zu ermitteln und den ermittelten Stellgrößen-Begrenzungsfaktor (k_{lim}) dazu heranzuziehen, um in Abhängigkeit zumindest einer Dyno-Zustandsgröße ($X_{D,1}$) der Belastungsmaschine (M1) einen oberen Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}1,\max}$) und/oder einen unteren Stellgrößen-Grenzwert ($u_{\text{lim}1,\min}$) zur Begrenzung der Dyno-Stellgröße (u_{D1}) zu skalieren.

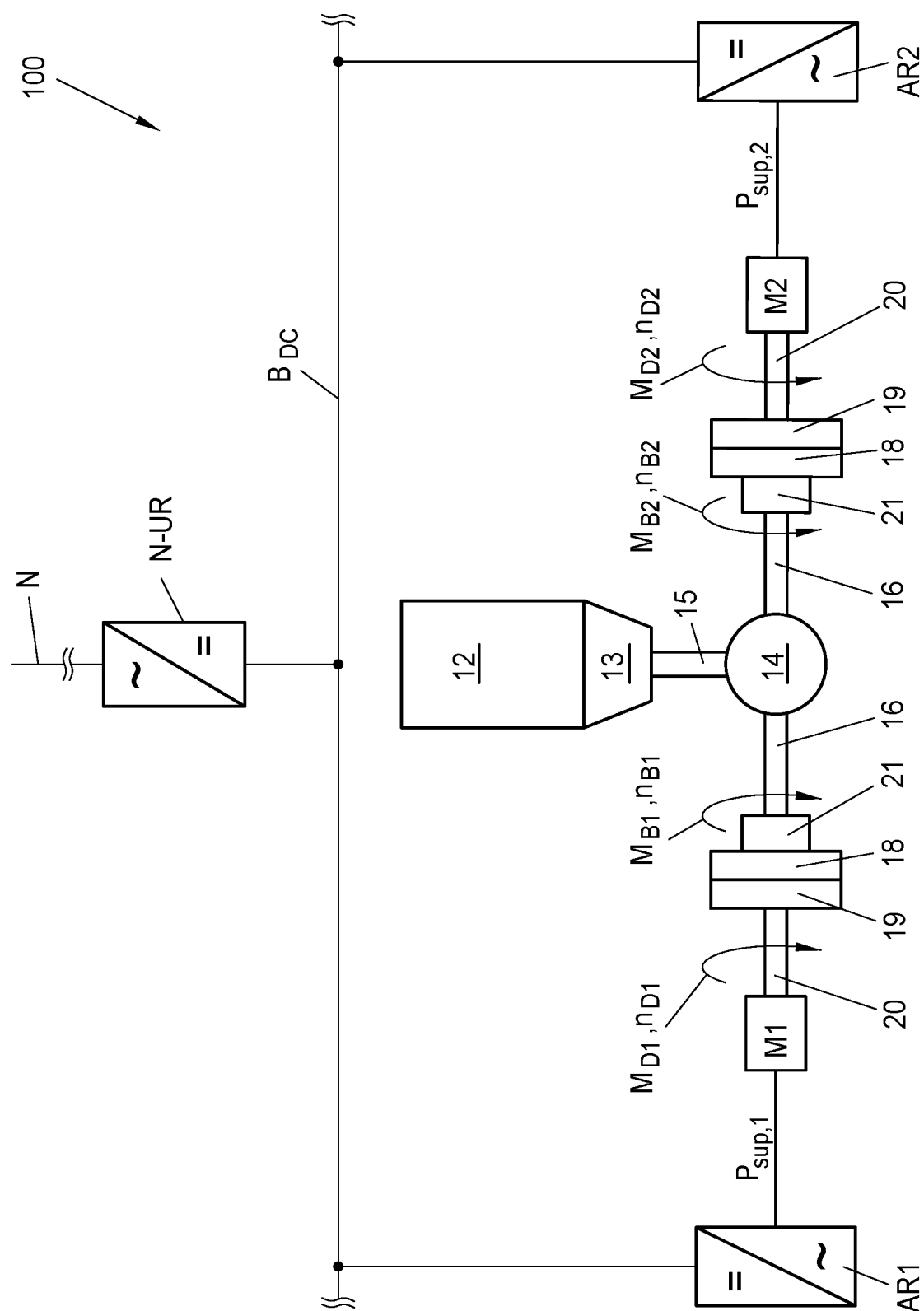


Fig. 1

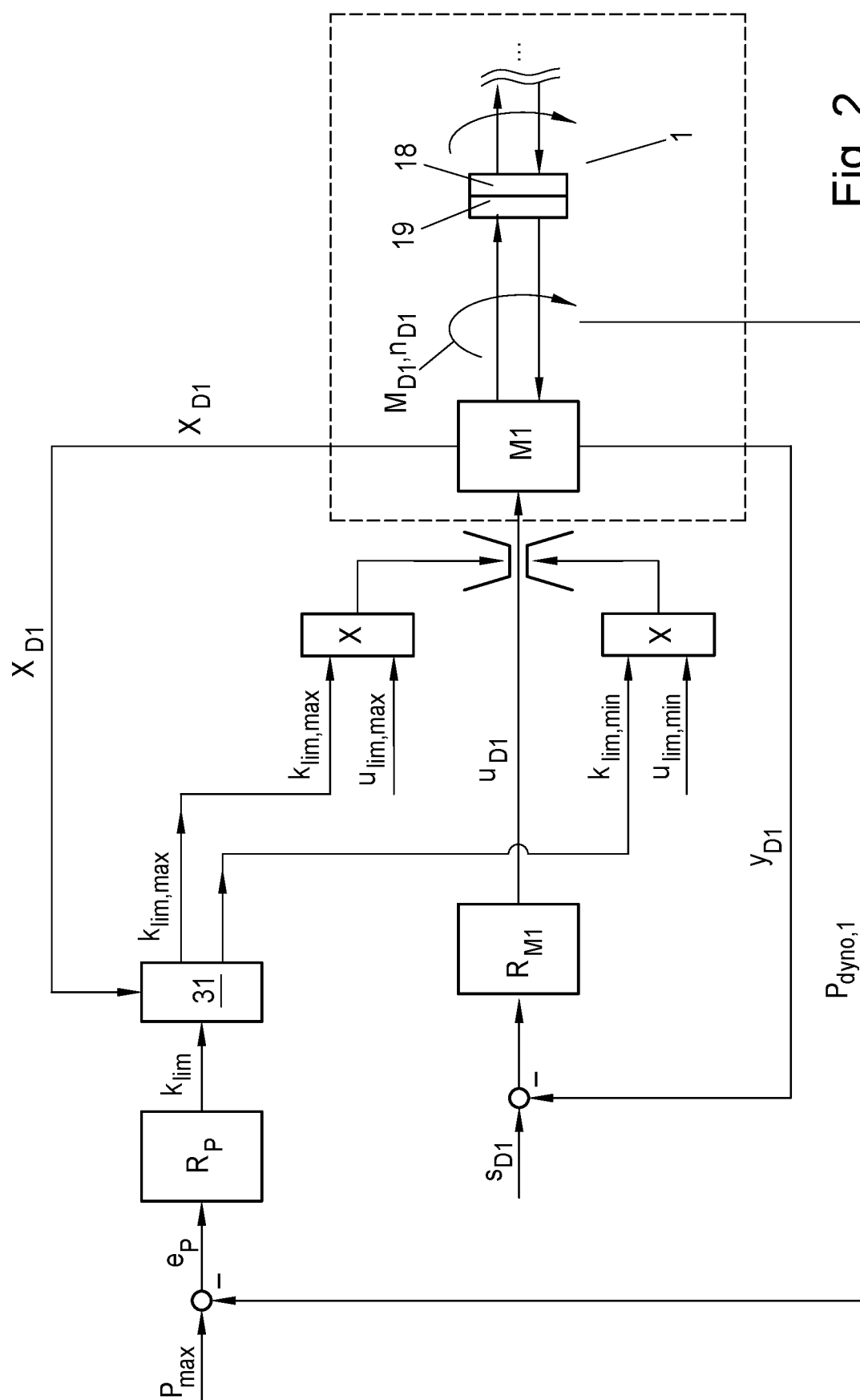
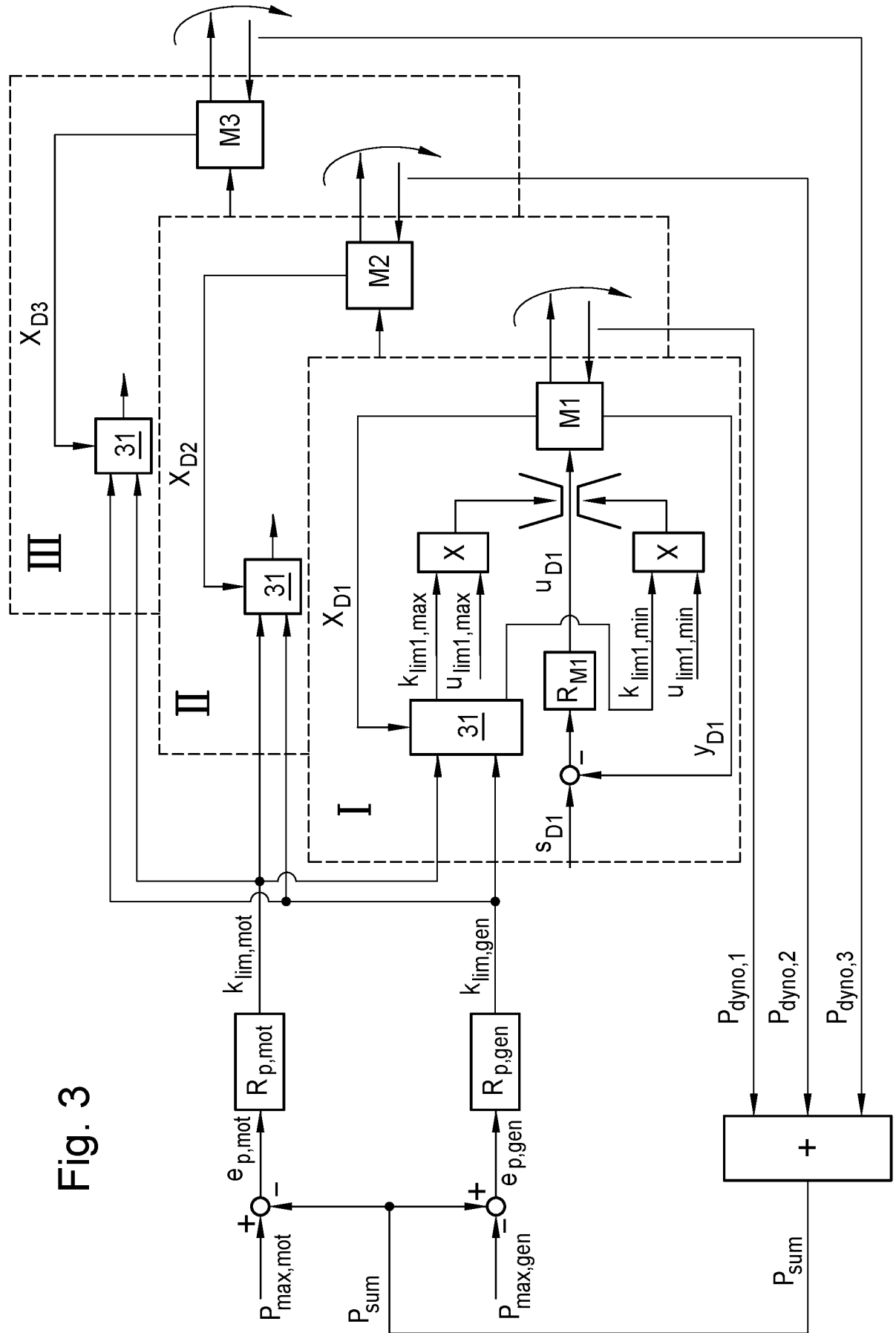


Fig. 2



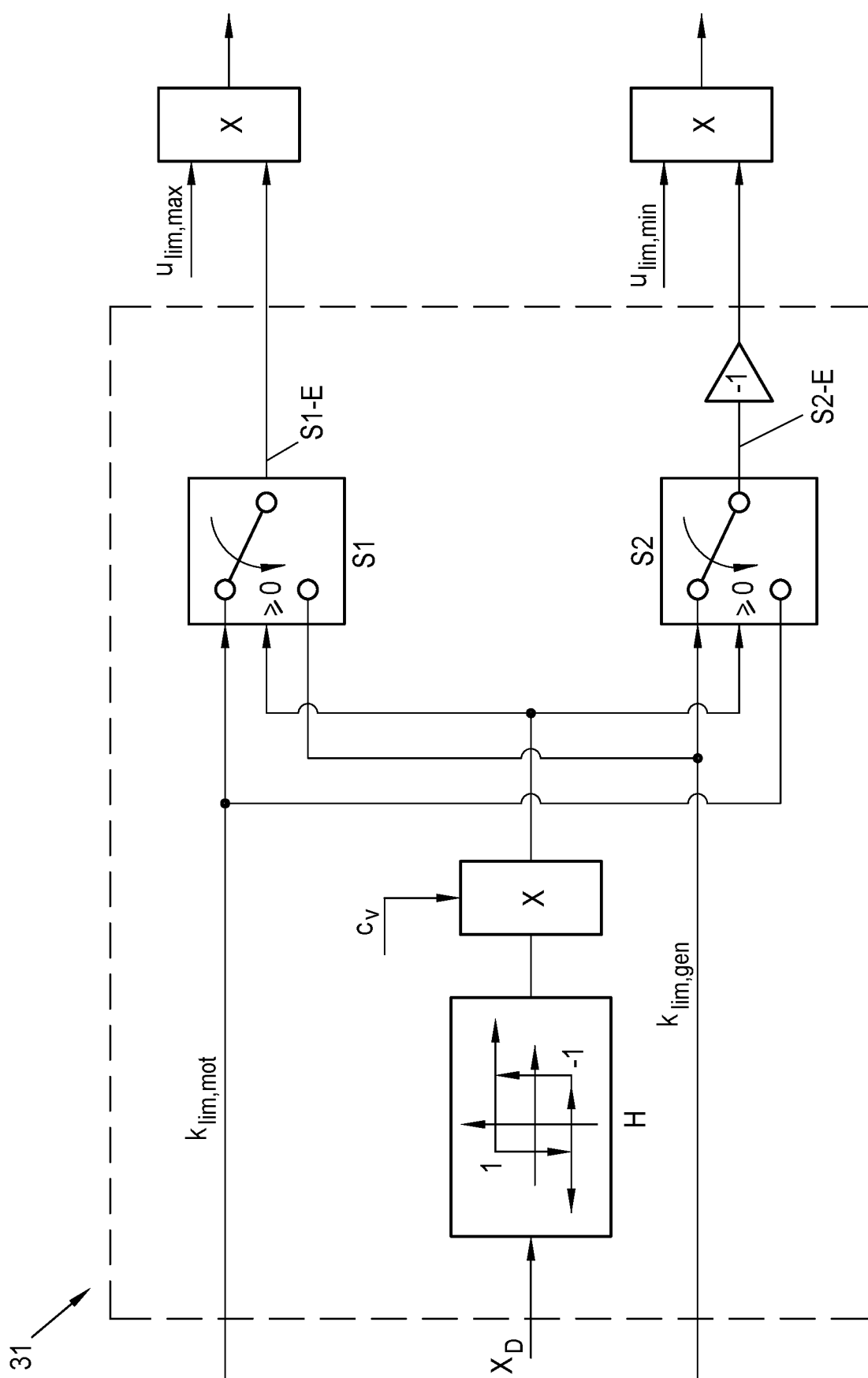


Fig. 4

31 ↗