



(10) **DE 10 2019 200 367 B4** 2025.03.27

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 200 367.2**

(22) Anmeldetag: **15.01.2019**

(43) Offenlegungstag: **16.07.2020**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **27.03.2025**

(51) Int Cl.: **F01N 9/00 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:
**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,
US**

(74) Vertreter:
**PATERIS Theobald Elbel & Partner, Patentanwälte,
PartmbB, 14059 Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Linzen, Frank, 52066 Aachen, DE; Boerensen,
Christoph, 52076 Aachen, DE; Harmsen, Jan, Dr.,
Slimpelveld, NL; Nederlof, Christian, Heerlen, NL;
Römer, Dirk, 50679 Köln, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

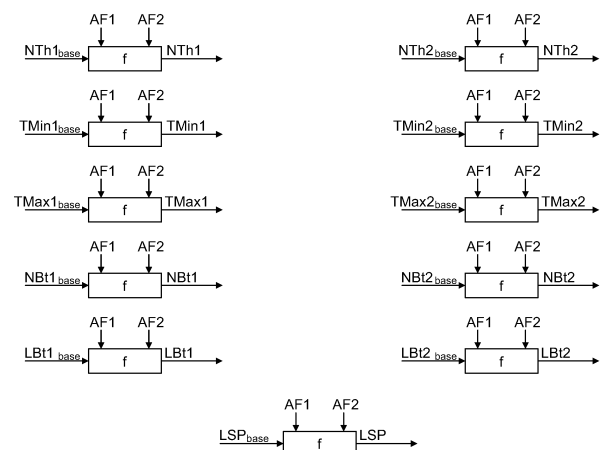
DE	100 45 610	A1
DE	10 2012 218 728	A1
DE	10 2015 206 838	A1

**BASSHUYSEN, Richard van ; SCHÄFER, Fred
(Hrsg.): Handbuch Verbrennungsmotor:
Grundlagen, Komponenten, Systeme,
Perspektiven. 8. überarb. Aufl. Wiesbaden:
Springer Vieweg, 2017. - ISBN 978-3-658-10902-8**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bestimmen von Regenerationsparameterwerten eines Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems und Vorrichtung zur Datenverarbeitung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Bestimmen von Regenerationsparameterwerten eines Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems mit mindestens zwei in Reihe angeordneten LNT-Katalysatoren (LNT1, LNT2, ..., LNT_n) und zur Regeneration mittels Einwirkung von reduzierend wirkenden Spezies auf die in den LNT-Katalysatoren gespeicherten Stickoxide (LNT1, LNT2, ..., LNT_n), aufweisend die folgenden Schritte:

- Festlegen von Ausgangswerten für Regenerationsparameter eines jeden LNT-Katalysators (LNT1, LNT2, ..., LNT_n),
- Ermitteln einer Alterungsfunktion (AF1, AF2, ..., AF_n) für jeden LNT-Katalysator (LNT1, LNT2, ..., LNT_n),
- Bestimmen von aktualisierten Werten der Regenerationsparameter mittels Anwenden der Alterungsfunktionen (AF1, AF2, ..., AF_n) auf die Ausgangswerte der Regenerationsparameter, wobei die Regenerationsparameter ausgewählt werden aus einer Gruppe umfassend Sollwert des Verbrennungsluftverhältnisses (LSP) und Zeitdauer der Regeneration,
- Anschließendes Durchführen der Regeneration des Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems mit den bestimmten aktualisierten Werten der Regenerationsparameter, wobei mit zunehmender Alterung entweder die Zeitdauer der Regeneration verkürzt wird oder der Sollwert für das Verbrennungsluftverhältnis (LSP) während der Regeneration verringert wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von Regenerationsparameterwerten eines Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems, eine Vorrichtung zur Datenverarbeitung, ein Computerprogrammprodukt sowie einen computerlesbaren Datenträger.

[0002] Zur Verringerung der Emission von Luftschadstoffen, wie z. B. Stickoxiden (NO_x), und Einhaltung diesbezüglicher gesetzlicher Vorgaben werden die von einem Verbrennungsmotor erzeugten Abgase nachbehandelt. Die Nachbehandlung erfolgt zumeist auf physikalisch-chemischem Weg, teilweise unter Nutzung von Katalysatoren zur Beeinflussung chemischer Reaktionen.

[0003] Gemäß einem verbreiteten Verfahren werden Stickoxide zunächst in sogenannten LNT-Katalysatoren (engl. Lean NO_x Trap, dt. Magerstickoxidfalle, auch: NO_x -Speicher-katalysator) zwischengespeichert und anschließend periodisch reduziert, indem z. B. der Verbrennungsmotor mit einem unterstöchiometrischen, d. h. fetten, Kraftstoff-Luft-Gemisch (Verbrennungsluftverhältnis $\lambda < 1$) betrieben wird, so dass das Abgas mit reduzierend wirkenden Spezies, wie z. B. Kohlenstoffmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Wasserstoff, angereichert ist. Eine Anreicherung des Abgases kann auch mittels Nacheinspritzung von Kraftstoff, z. B. in einen Zylinder des Verbrennungsmotors oder direkt in den Abgasstrang, erfolgen. Die Reduktion der gespeicherten Stickoxide und Abgabe der Reaktionsprodukte wird auch als Regeneration des LNT-Katalysators bezeichnet.

[0004] Umfangreiche Ausführungen zu LNT-Katalysatoren werden in BASSHUY-SEN, Richard van; SCHÄFER, Fred (Hrsg.): Handbuch Verbrennungsmotor: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven. 8. überarb. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017 gemacht.

[0005] Als problematisch stellen sich jedoch Betriebssituationen nach einem Kaltstart des Verbrennungsmotors dar, da hierbei ein einzelner LNT-Katalysator unzureichend für die Speicherung der anfallenden Stickoxide sein kann. Es sind daher Abgasnachbehandlungssysteme bekannt, die zwei in Reihe hintereinander angeordnete LNT-Katalysatoren aufweisen, wobei der zweite, stromabwärts des ersten LNT-Katalysators angeordnete LNT-Katalysator aus dem ersten LNT-Katalysator entweichende Stickoxide, d. h. den Stickoxidschlupf, speichert und reduziert. Ein Regenerationsverfahrens für zwei in Reihe hintereinander angeordnete LNT-Katalysatoren ist aus der DE 10 2015 206 838 A1 bekannt.

[0006] Mit zunehmender Betriebsdauer der LNT-Katalysatoren kommt es zu einer Alterung der Katalysatoren, d. h. ihre Funktionsfähigkeit nimmt ab, was vordergründig auf eine Kontamination mit im Abgas enthaltenem Schwefel sowie auf thermische Alterung aufgrund der Einwirkung hoher Temperaturen, wie sie beispielsweise bei einer Regeneration eines ebenfalls im Abgasstrang angeordneten Partikelfilters oder bei Entschwefelung der Katalysatoren auftreten, zurückzuführen ist, in deren Folge die Speicherkapazität für Stickoxide und Sauerstoff abnimmt und/oder es zu einer Sinterung oder Vergiftung des Katalysatormaterials kommen kann.

[0007] Dies führt dazu, dass anfänglich, d. h. für einen LNT-Katalysator im Neuzustand, gewählte Regenerationsparameter, wie z. B. die Häufigkeit der NO_x -Regeneration, die Dauer der NO_x -Regeneration, das gewählte unterstöchiometrische Verbrennungsluftverhältnis etc., mit zunehmendem Alter des LNT-Katalysators nicht mehr optimal sind und angepasst werden müssen, da ansonsten eine ausreichende Regeneration und daraus folgend eine ausreichende Entfernung von Stickoxiden aus dem Abgas nicht mehr gewährleistet ist.

[0008] Die DE 100 45 610 A1 beschreibt hierzu ein Verfahren zur Regelung einer NO_x -Regeneration eines NO_x -Speicher-katalysators, bei dem ein Schädigungszustand des NO_x -Speicher-katalysators erfasst und in Abhängigkeit von dem Schädigungszustand Regenerationsparameter vorgegeben werden.

[0009] Sind nun zwei in Reihe angeordnete LNT-Katalysatoren vorgesehen, besteht das zusätzliche Problem, dass die Alterung der beiden LNT-Katalysatoren nicht simultan verläuft, also jeder LNT-Katalysator seine eigene Alterungscharakteristik aufweist. Dies ist auf die Unterschiedlichkeit der einwirkenden Temperaturen sowie der einwirkenden Abgase zurückzuführen. Der erste LNT-Katalysator altert vorrangig aufgrund der Einwirkung hoher Temperaturen, da er motornah angeordnet ist und folglich mit heißeren Abgasen als der zweite LNT-Katalysator in Kontakt kommt. Haupteffekte dieser thermischen Alterung sind eine Verringerung der Stickoxidspeicherkapazität bei geringen Temperaturen und eine Reduzierung der NO_x -Konvertierung während der Regeneration.

[0010] Die Alterung des zweiten, motorfern angeordneten LNT-Katalysators ist vorrangig auf die Einwirkung von Schwefel zurückzuführen, der vom ersten LNT-Katalysator während dessen Entschwefelung abgegeben wird. Dies führt vordergründig zu einer Verringerung der Stickoxidspeicherkapazität bei hohen Temperaturen.

[0011] Im Ergebnis können konventionelle Herangehensweisen für die Beurteilung der Alterung eines einzelnen LNT-Katalysators für Systeme mit zwei LNT-Katalysatoren nicht genutzt werden, da die individuelle Alterung der beiden LNT-Katalysatoren zu verschieden ist - sowohl hinsichtlich der Alterung insgesamt als auch hinsichtlich der konkreten Alterungseffekte, d. h. Beeinträchtigung des ersten LNT-Katalysators, insbesondere bei niedrigen und hohen Temperaturen, und Beeinträchtigung des zweiten LNT-Katalysators, insbesondere bei hohen Temperaturen.

[0012] Eine mögliche Lösung dieses Problems besteht darin, bei der Festlegung der Regenerationsparameter der LNT-Katalysatoren den vollständig gealterten Zustand anzunehmen, selbst wenn es sich um neue LNT-Katalysatoren handelt. In diesem Fall können zwar eine ausreichende Entfernung von Stickoxiden aus dem Abgas und die Einhaltung von gesetzlichen Grenzwerten sichergestellt werden, da jeweils von der schlechtest möglichen Abgasnachbehandlung ausgegangen wird. Allerdings bewirkt dieses Vorgehen einen erhöhten Kraftstoffverbrauch, da die Regeneration zu oft und/oder zu lang durchgeführt wird oder ein Verbrennungsluftverhältnis während der Regeneration gewählt wird, dass für LNT-Katalysatoren im (nahezu) neuen Zustand nicht optimal ist. Dies kann außerdem zu einem unerwünschten Schlupf an reduzierend wirkenden Spezies führen.

[0013] Werden die Regenerationsparameter hingegen für LNT-Katalysatoren im Neuzustand oder im gering gealterten Zustand festgelegt, werden im stark gealterten Zustand im Abgas enthaltene Stickoxide nicht mehr ausreichend entfernt. Mit anderen Worten haben die Erfinder der vorliegenden Erfindung erkannt, dass eine Nichtberücksichtigung der unterschiedlichen Alterungscharakteristika von zwei in Reihe angeordneten LNT-Katalysatoren (Doppel-LNT-Katalysatorsystem) zu einer Einbuße des Leistungsvermögens eines solchen Doppel-LNT-Systems führt.

[0014] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, Möglichkeiten anzugeben, mit denen die genannten Nachteile verringert werden können.

[0015] Gelöst wird diese Aufgabe durch die Gegenstände des Hauptanspruchs sowie der nebengeordneten Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0016] Grundgedanke der Erfindung ist es, den individuellen Alterungszustand eines jeden LNT-Katalysators zu ermitteln und bei der Anpassung der Regenerationsparameterwerte, also der konkreten Zahlenwerte der Regenerationsparameter, zu berücksichtigen. Hierdurch kann die Effizienz der

Stickoxidnachbehandlung gesteigert werden, d. h. es werden weniger Stickoxide in die Umgebung abgegeben. Während der Regeneration kann der für die Regeneration benötigte zusätzliche Kraftstoffverbrauch niedrig gehalten und ein Schlupf an reduzierend wirkenden Spezies verhindert oder zumindest deutlich verringert werden. Außerdem kann das Risiko für eine Ölverdünnung ebenfalls minimiert werden, da die Anzahl und Dauer der Regenerationen verringert werden kann.

[0017] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Bestimmen von Regenerationsparameterwerten eines Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems mit mindestens zwei in Reihe angeordneten LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2, ..., LNT_n weist ein Festlegen von Ausgangswerten für Regenerationsparameter eines jeden LNT-Katalysators LNT1, LNT2, ..., LNT_n, ein Ermitteln einer Alterungsfunktion AF1, AF2, ..., AF_n für jeden LNT-Katalysator LNT1, LNT2, ..., LNT_n und ein Bestimmen von aktualisierten Werten der Regenerationsparameter mittels Anwenden der Alterungsfunktionen AF1, AF2, ..., AF_n auf die Ausgangswerte der Regenerationsparameter auf.

[0018] Unter einem Mehrfach-LNT-Katalysatorsystem ist eine Anordnung zu verstehen, die zwei oder mehr LNT-Katalysatoren aufweist, die - bezogen auf die Strömungsrichtung des Abgases vom Verbrennungsmotor in Richtung Auspuff - in Reihe hintereinander im Abgasstrang eines Verbrennungsmotors angeordnet sind bzw. angeordnet werden können und folglich nacheinander vom Abgas durchströmt werden. Der mit LNT1 bezeichnete erste LNT-Katalysator ist motornah angeordnet und wird als erster der LNT-Katalysatoren vom Abgas durchströmt. Alle weiteren LNT-Katalysatoren werden stromabwärts in der Reihenfolge ihrer Nummerierung angeordnet. Das Mehrfach-LNT-Katalysatorsystem kann beispielsweise als Doppel-LNT-Katalysatorsystem mit einem ersten LNT-Katalysator LNT1 und einem zweiten LNT-Katalysator LNT2 ausgebildet sein.

[0019] Unter einer Regeneration ist vorliegend eine Regeneration mittels Einwirkung von reduzierend wirkenden Spezies auf die in den LNT-Katalysatoren gespeicherten Stickoxide zu verstehen.

[0020] In einem ersten Verfahrensschritt werden für jeden LNT-Katalysator LNT1, LNT2, ..., LNT_n Ausgangswerte der Regenerationsparameter festgelegt, d. h. Regenerationsparameterwerte, mit denen die Regeneration initial durchgeführt wird.

[0021] Bei den Regenerationsparametern kann es sich um ein oder mehrere Parameter, also vorzuziehende Größen, handeln, die aus einer Gruppe umfassend Schwellenwert für die Stickoxidbelastung, minimale LNT-Temperatur, maximale LNT-Temperatur, Stickoxidanteil stromabwärts des LNT-Katalysa-

tors, Verbrennungsluftverhältnis stromabwärts des LNT-Katalysators als Abbruchkriterien für die Regeneration und Sollwert des Verbrennungsluftverhältnisses ausgewählt sind bzw. werden. Die Werte der Regenerationsparameter können je LNT-Katalysator unterschiedlich, für Gruppen von LNT-Katalysatoren gleich oder für alle LNT-Katalysatoren gleich festgelegt werden. Bevorzugt werden für alle Regenerationsparameter unterschiedliche Werte festgelegt bzw. bestimmt. Eine Ausnahme bildet der Sollwert des Verbrennungsluftverhältnisses (λ set-point) während der Regeneration, der für alle LNT-Katalysatoren identisch festgelegt bzw. bestimmt werden kann, sofern nicht eine zusätzliche Kraftstoff- und/oder Luftzuführung für die stromabwärtigen LNT-Katalysatoren vorgesehen ist, so dass das Verbrennungsluftverhältnis λ für alle LNT-Katalysatoren unabhängig voneinander gesteuert oder geregelt werden kann.

[0022] Die Regenerationsparameter dienen der Regelung der Regeneration des Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems, also z. B. als Start- und/oder Stopp-Kriterien und werden erfindungsgemäß in Abhängigkeit des Alterungszustands der einzelnen LNT-Katalysatoren im Laufe der Lebensdauer des Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems geändert, d. h. an den Alterungszustand angepasst. Beispielsweise können im ersten Verfahrensschritt Ausgangswerte für alle der genannten Regenerationsparameter festgelegt werden und mittels des Verfahrens aktualisierte Werte für alle Regenerationsparameter bestimmt werden.

[0023] In einem weiteren Verfahrensschritt wird für jeden LNT-Katalysator des Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems eine Alterungsfunktion AF_1 , AF_2 , ..., AF_n ermittelt. Aus der Literatur sind zahlreiche Methoden bekannt, mit denen die Alterung von LNT-Katalysatoren beschrieben werden kann und die im Rahmen des vorliegenden Verfahrens genutzt werden können. Hierfür kann beispielsweise die Zusammensetzung des Abgases stromauf- und stromabwärts der LNT-Katalysatoren LNT_1 , LNT_2 , ..., LNT_n mittels Sensoren wie Lambda-Sonden und/oder Stickoxidsensoren bestimmt und daraus die Speicherkapazität ermittelt werden. Die Alterungsfunktionen AF_1 , AF_2 , ..., AF_n können eine thermische Alterung und/oder eine Schwefelvergiftung berücksichtigen.

[0024] Die Alterungsfunktionen AF_1 , AF_2 , ..., AF_n können z. B. als (komplexe) Modelle oder aber auch als einfache Kurven repräsentiert werden. Die Alterungsfunktionen AF_1 , AF_2 , ..., AF_n können periodisch oder fortlaufend modifiziert werden, d. h. es können online-Modelle oder real-time Modelle, auch basierend auf Messwerten, aufgestellt und verwendet werden. Beim Ermitteln der Alterungsfunktionen können auch Entschwefelungsvorgänge und deren

Auswirkung auf die Alterung der LNT-Katalysatoren berücksichtigt werden.

[0025] In einem weiteren Verfahrensschritt werden aktualisierte Werte der Regenerationsparameter bestimmt, in dem die zuvor ermittelten Alterungsfunktionen AF_1 , AF_2 , ..., AF_n auf die Ausgangswerte der Regenerationsparameter angewandt werden. Mit anderen Worten wird die Regenerationsstrategie in Abhängigkeit der Alterung der LNT-Katalysatoren LNT_1 , LNT_2 , ..., LNT_n modifiziert, wobei diese Modifizierung auch periodisch oder fortlaufend erfolgen kann.

[0026] Die aktualisierten Werte der Regenerationsparameter können bevorzugt so bestimmt werden, dass bei hoher Umwandlung der Stickoxide, d. h. geringer Stickoxidemission der Kraftstoffverbrauch und/oder die Abgabe an reduzierend wirkenden Spezies in die Umgebung minimiert werden.

[0027] Mit den bestimmten aktualisierten Werten der Regenerationsparameter kann anschließend eine Regeneration des Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems durchgeführt werden, wobei die Regeneration aufgrund der Anpassung der Regenerationsparameter an den Alterungszustand der LNT-Katalysatoren LNT_1 , LNT_2 , ..., LNT_n effizienter durchgeführt werden und die vorstehend genannten Nachteile vermieden werden können.

[0028] Beispielsweise können die im Folgenden erläuterten Alterungsmechanismen individuell für jeden LNT-Katalysator LNT_1 , LNT_2 , ..., LNT_n berücksichtigt werden.

[0029] Die Stickoxidspeicherkapazität aller LNT-Katalysatoren nimmt mit zunehmender Alterung ab. Folglich sind die LNT-Katalysatoren schneller als im neuen Zustand mit Stickoxiden gesättigt und eine Stickoxidschlupf ist zu einem früheren Zeitpunkt zu beobachten. Um dem entgegen zu wirken, ist eine Regeneration in kürzeren Zeitabständen erforderlich. Die Regeneration kann durch eine bestimmte Menge an gespeicherten Stickoxiden ausgelöst werden, wenn diese den Schwellenwert für die Stickoxidbelastung übersteigt. Die Menge an gespeicherten Stickoxiden kann dafür mittels eines online-Modells ermittelt werden. Mit zunehmender Alterung wird der Schwellenwert für die Stickoxidbelastung gesenkt, so dass die Regeneration bereits bei einer niedrigeren Menge an gespeicherten Stickoxiden ausgelöst wird.

[0030] Mit zunehmender Alterung des LNT-Katalysators nimmt dessen Fähigkeit ab, reduzierend wirkende Spezies, also z. B. Kohlenwasserstoffe, Kohlenstoffmonoxid und/oder Wasserstoff, während der Regeneration zur Reduktion der Stickoxide zu nutzen. Dies wird z. B. durch ein Sintern des Katalysa-

tormaterials im Inneren des LNT-Katalysators verursacht. Folglich kommt es zu einem frühzeitigeren und erhöhten Schlupf der reduzierend wirkenden Spezies aus einem stromaufwärtigen LNT-Katalysator, also z. B. dem ersten LNT-Katalysator LNT1, in Richtung eines stromabwärtigen LNT-Katalysators, also z. B. dem zweiten LNT-Katalysator. Im Ergebnis kann die Zeitdauer der Regeneration mit zunehmender Alterung verkürzt werden, da die stromabwärtigen LNT-Katalysatoren jeweils den zu einem früheren Zeitpunkt einsetzenden Schlupf an reduzierend wirkenden Spezies der stromaufwärtigen LNT-Katalysatoren zur Reduktion der Stickoxide nutzen.

[0031] Eine weitere Möglichkeit, dem Schlupf an reduzierend wirkenden Spezies entgegen zu wirken, besteht darin, anstelle einer Verkürzung der Regenerationsdauer den Sollwert für das Verbrennungsluftverhältnis während der Regeneration zu verringern. Dies erhöht die Menge der reduzierend wirkenden Spezies pro Zeit. Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann ermittelt werden, welche Maßnahme in Hinblick auf die Stickoxidumwandlung, den Schlupf an reduzierend wirkenden Spezies und den Kraftstoffverbrauch am besten geeignet ist und die aktualisierten Werte der Regenerationsparameter können entsprechend bestimmt werden.

[0032] Da der Schlupf an reduzierend wirkenden Spezies aus einem stromaufwärtigen LNT-Katalysator zur Regeneration des oder der stromabwärtigen LNT-Katalysatoren genutzt wird, sollten die Werte der Regenerationsparameter so bestimmt werden, dass der Schlupf nur erfolgt, falls die stromabwärtigen Katalysatoren warm genug sind, d. h. ihre minimale LNT-Temperatur erreicht ist. Mit zunehmender Alterung steigt jedoch die minimale LNT-Temperatur, d. h. der entsprechende LNT-Katalysator muss für seine Regeneration auf eine höhere Temperatur erwärmt werden. Entsprechend sollte der Wert für die minimale LNT-Temperatur, insbesondere für die stromabwärtigen LNT-Katalysatoren, mit zunehmender Alterung erhöht werden. Solange die minimale LNT-Temperatur der stromabwärtigen LNT-Katalysatoren nicht erreicht ist, sollte die Regeneration möglichst kurz und/oder mit geringer Menge an reduzierend wirkenden Spezies durchgeführt werden, um den Schlupf an reduzierend wirkenden Spezies aus dem stromaufwärtigen LNT-Katalysator zu minimieren.

[0033] Zusammengefasst können mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Verringerung der Ölverdünnung sowie des Kraftstoffverbrauchs erreicht werden. Zudem können die Emission von Kohlenwasserstoffen und Kohlenstoffmonoxid minimiert und die Umwandlung der Stickoxide trotz Alterung auf dem ursprünglichen Niveau beibehalten werden. Die Erfindung ermöglicht also eine optimierte Regeneration eines Mehrfach-LNT-Katalysa-

torsystems über den gesamten Nutzungszeitraum trotz unterschiedlicher Alterung der LNT-Katalysatoren.

[0034] Gemäß verschiedenen Ausführungsvarianten können aktualisierte Werte der Regenerationsparameter wiederholt oder fortlaufend bestimmt werden, indem die Schritte des Verfahrens nach Anspruch 1 wiederholt werden, wobei die aktualisierten Werte der Regenerationsparameter des vorhergehenden Bestimmungsschritts als Ausgangswerte der Regenerationsparameter des aktuellen Bestimmungsschritts verwendet werden.

[0035] Hierdurch kann vorteilhaft eine fortlaufende Anpassung der Werte der Regenerationsparameter an den aktuellen Alterungszustand der LNT-Katalysatoren erfolgen, so dass die vorstehend genannten Vorteile noch stärker ausgeprägt sind.

[0036] Gemäß weiteren Ausführungsvarianten können die Ausgangswerte der Regenerationsparameter anhand von Kriterien aus einer Gruppe umfassend Eigenschaften des Katalysatormaterials, LNT-Temperatur zur Beschreibung der Regenerationsfähigkeit der einzelnen LNTs und der Fähigkeit zur Stickoxidspeicherung und Stickoxidmassenstrom im Abgas festgelegt werden

[0037] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Datenverarbeitung umfasst Mittel zur Ausführung eines der vorstehend beschriebenen Verfahren. Folglich entsprechen die Vorteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung denen des erfindungsgemäßen Verfahrens und dessen Ausführungsvarianten.

[0038] Ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt umfasst Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, eines der vorstehend beschriebenen Verfahren auszuführen. Folglich entsprechen die Vorteile des erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukts denen des erfindungsgemäßen Verfahrens und dessen Ausführungsvarianten.

[0039] Mit anderen Worten stellt die Erfindung weiterhin ein Computerprogrammprodukt mit Programmcode zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens zum, wenn der Programmcode in einen Computer geladen und/oder in einem Computer ausgeführt wird, zur Verfügung. Unter einem Computerprogrammprodukt ist dabei ein auf einem geeigneten Medium gespeicherter und/oder über ein geeignetes Medium abrufbarer Programmcode zu verstehen.

[0040] Auf einem erfindungsgemäßen computerlesbaren Datenträger ist das vorstehend genannte Computerprogrammprodukt gespeichert. Folglich entsprechen die Vorteile des erfindungsgemäßen

computerlesbaren Datenträgers denen des erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukts.

[0041] Zum Speichern des Programmcodes kann jedes zum Speichern von Software geeignete Medium, beispielsweise ein in einem Steuergerät verbauter nichtflüchtiger Speicher, eine DVD, ein USB-Stick, eine Flashcard oder dergleichen, Verwendung finden. Das Abrufen des Programmcodes kann beispielsweise über das Internet oder ein Intranet erfolgen oder über ein anderes geeignetes drahtloses oder kabelgebundenes Netzwerk.

[0042] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Abbildungen und der zugehörigen Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine beispielhafte Anordnung mit einem Mehrfach-LNT-Katalysatorsystem,

Fig. 2 eine tabellarische Übersicht beispielhafter Regenerationsparameter,

Fig. 3 ein beispielhaftes Schema zur Ermittlung der Alterungsfunktionen,

Fig. 4 beispielhafte Schemata zur Bestimmung von aktualisierten Werten der Regenerationsparameter und

Fig. 5 ein beispielhaftes Ablaufschema einer Regeneration eines Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems.

[0043] **Fig. 1** zeigt eine beispielhafte Anordnung mit einem Doppel-LNT-Katalysatorsystem, welches zwei LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 aufweist und für die das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt werden kann. Das Doppel-LNT-Katalysatorsystem ist im Abgasstrang eines Verbrennungsmotors angeordnet, der beispielsweise als Dieselmotor ausgebildet sein kann und optional über eine Niederdruck(LP)- oder Hochdruck(HP)-Abgasrückführung (AGR) verfügen kann. Dem Verbrennungsmotor werden Zuluft und Kraftstoff zugeführt, wobei das Verbrennungsluftverhältnis λ im normalen Betriebszustand größer 1 ist, d. h. der Verbrennungsmotor wird mit einem mageren Kraftstoff-Luft-Gemisch betrieben.

[0044] Aufgrund der Kraftstoffverbrennung bildet der Verbrennungsmotor ein Abgas, das in einen Abgasstrang eingeleitet wird. Im Abgasstrang sind mehrere Abgasnachbehandlungseinrichtungen in Reihe hintereinander angeordnet. Dabei handelt es sich im Ausführungsbeispiel um einen ersten LNT-Katalysator LNT1, einen Partikelfilter mit Beschichtung zur selektiven katalytischen Reduktion SDPF, einen SCR-Katalysator zur selektiven katalytischen Reduktion und einen zweiten LNT-Katalysator LNT2. Nach dem Durchströmen der Abgasnachbehandlungseinrichtungen wird das Abgas zum Auspuff geleitet und an die Umgebung abgegeben.

[0045] Im Abgasstrang sind zudem mehrere Sensoren angeordnet, um die Temperatur, das Verbrennungsluftverhältnis λ und den Stickoxidanteil im Abgas jeweils stromaufwärts und stromabwärts der beiden LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 ermitteln zu können. Optional kann jeweils stromaufwärts der beiden LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 eine Einrichtung zur Kraftstoffeinspritzung angeordnet sein, mittels derer das dem jeweiligen LNT-Katalysator LNT1, LNT2 zugeführt Verbrennungsluftverhältnis λ eingestellt werden kann.

[0046] Wie eingangs beschrieben ist von Zeit zu Zeit eine Regeneration der LNT-Katalysatoren erforderlich, wofür der Verbrennungsmotor kurzzeitig mit einem unterstöchiometrischen, fetten Verbrennungsluftverhältnis λ , d. h. mit $\lambda < 1$, betrieben wird, so dass den LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 reduzierend wirkende Spezies zugeführt werden. Der konkrete Zeitpunkt und die Zeitdauer der Regeneration sowie das zu verwendende konkrete Verbrennungsluftverhältnis λ werden im Rahmen der Regenerationsstrategie festgelegt.

[0047] Im Rahmen der Regenerationsstrategie werden Werte für Regenerationsparameter festgelegt, bei deren Erreichen, Über- oder Unterschreiten die Regeneration gestartet oder gestoppt wird. Beispielhafte Regenerationsparameter und deren Werte sind in der Tabelle der **Fig. 2** aufgeführt. Aus der Tabelle der **Fig. 2** ergibt sich z. B., dass für den Start einer Regeneration eine minimale Temperatur T_{min1} , T_{min2} erreicht sein muss. Diese Temperatur T_{min1} , T_{min2} liegt typischerweise im Bereich zwischen 150 - 400 °C, bevorzugt zwischen 250 - 350 °C.

[0048] Darüber hinaus zeigt die Tabelle, dass ab einem Stickoxidanteil stromabwärts des jeweiligen LNT NBT1, NBT2 von > 50 ppm, bevorzugt > 100 ppm, die Regeneration gestartet werden sollte, da die Stickoxidspeicherkapazität aufgebraucht ist.

[0049] Da die LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 jedoch einer Alterung unterliegen, werden die Werte der Regenerationsparameter erfindungsgemäß über die Lebensdauer des Katalysatorsystems geändert, d. h. an den Alterungszustand angepasst. Hierfür wird, wie in **Fig. 3** gezeigt, für jeden der beiden LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 eine separate Alterungsfunktion AF1, AF2 ermittelt, die beispielsweise auf einem Modell basieren kann. Bei der Ermittlung der Alterungsfunktionen AF1, AF2 können sowohl eine thermische Alterung als auch eine Schwefelvergiftung oder andere Alterungseffekte berücksichtigt werden.

[0050] In einem weiteren Verfahrensschritt werden die Werte der Regenerationsparameter aktualisiert. Hierfür werden, wie in **Fig. 4** gezeigt, die Alterungsfunktionen AF1, AF2 auf die Ausgangswerte der

Regenerationsparameter (Index „pase“) angewandt und es werden aktualisierte Werte der Regenerationsparameter bestimmt.

[0051] Mit den aktualisierten Werten der Regenerationsparameter kann anschließend die Regeneration der beiden LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 z. B. gemäß des in **Fig. 5** gezeigten und nachfolgend erläuterten Ablaufschemas durchgeführt werden.

[0052] Ausgehend von einem mageren Betrieb des Verbrennungsmotors wird in einem ersten Schritt S1 geprüft, ob die Stickoxidbeladung des ersten LNT-Katalysators LNT1 den Wert des Parameters NTh1 übersteigt, d. h. ob Stickoxidbeladung LNT1 > NTh1 gilt. Ist dies der Fall, können also nicht mehr ausreichend Stickoxide im ersten LNT-Katalysator LNT1 gespeichert werden, geht das Verfahren weiter zu Schritt S5.

[0053] Ist dies nicht der Fall, wird im Schritt S2 geprüft, die Stickoxidbeladung des zweiten LNT-Katalysators LNT2 den Wert des Parameters NTh2 übersteigt, d. h. ob Stickoxidbeladung LNT2 > NTh2 gilt. Ist dies der Fall, geht das Verfahren weiter zu Schritt S5.

[0054] Ist dies nicht der Fall, wird im Schritt S3 geprüft, ob der Stickoxidanteil stromabwärts des ersten LNT-Katalysators LNT1 den Wert des Parameters NBt1 übersteigt, d. h. ob Stickoxidanteil stromabwärts LNT1 > NBt1 gilt. Ist dies der Fall, gibt es also einen zu hohen Stickoxidschlupf am ersten LNT-Katalysator LNT1, geht das Verfahren weiter zu Schritt S5.

[0055] Ist dies nicht der Fall, wird im Schritt S4 geprüft, ob der Stickoxidanteil stromabwärts des zweiten LNT-Katalysators LNT2 den Wert des Parameters NBt2 übersteigt, d. h. ob Stickoxidanteil stromabwärts LNT2 > NBt2 gilt. Ist dies der Fall, geht das Verfahren weiter zu Schritt S5. Ansonsten wird der magere Betrieb beibehalten.

[0056] Im Schritt S5 wird die Einhaltung der Temperaturerfordernisse für die Regeneration der beiden LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 geprüft, d. h. ob die Temperatur der beiden LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 für eine Regeneration geeignet ist. Nur wenn die Temperaturerfordernisse für beide LNT-Katalysatoren LNT1, LNT2 erfüllt sind, d. h. TMin1 < Temperatur LNT1 < TMax1 und TMin2 < Temperatur LNT2 < TMax2 gilt, wird in einen understöchiometrischen Betrieb mit einem bestimmten Sollwert LSP des Verbrennungsluftverhältnisses λ zur Regeneration übergegangen. Ist hingegen mindestens ein Temperaturerfordernis nicht erfüllt, bleibt es beim mageren Betrieb.

[0057] Im understöchiometrischen Betrieb wird im Schritt S6 geprüft, ob das Verbrennungsluftverhältnis λ stromabwärts des ersten LNT-Katalysators LNT1 den Wert des Parameters LBt1 unterschreitet, d. h. ob λ stromabwärts LNT1 < LBt1 gilt. Ist dies der Fall, gibt es also einen zu großen Schlupf reduzierend wirkender Spezies am ersten LNT-Katalysator LNT1, so wird wieder in den mageren Betrieb übergegangen.

[0058] Ist dies nicht der Fall, wird im Schritt S7 geprüft, ob das Verbrennungsluftverhältnis λ stromabwärts des zweiten LNT-Katalysators LNT2 den Wert des Parameters LBt2 unterschreitet, d. h. ob λ stromabwärts LNT2 < LBt2 gilt. Ist dies der Fall, so wird wieder in den mageren Betrieb übergegangen.

[0059] Ist dies nicht der Fall, wird im Schritt S8 geprüft, ob die Temperatur des ersten LNT-Katalysators LNT1 die maximale LNT-Temperatur Tmax1 übersteigt, d. h. ob Temperatur LNT1 > Tmax1 gilt. Ist dies der Fall, so wird wieder in den mageren Betrieb übergegangen.

[0060] Ist dies nicht der Fall, wird im Schritt S9 geprüft, ob die Temperatur des zweiten LNT-Katalysators LNT2 die maximale LNT-Temperatur Tmax2 übersteigt, d. h. ob Temperatur LNT2 > Tmax2 gilt. Ist dies der Fall, so wird wieder in den mageren Betrieb übergegangen. Ist dies nicht der Fall, bleibt es beim fetten Betrieb.

Bezugszeichenliste

LNT1, LNT2, ..., LNT _n	LNT-Katalysator
AF1, AF2, ..., AF _n	Alterungsfunktion des jeweiligen LNT-Katalysators
NTh1, NTh2, ..., NTh _n	Schwellenwert für die Stickoxidbeladung
TMin1, TMin2, ..., TMin _n	minimale LNT-Temperatur
TMax1, Tmax2, ..., Tmax _n	maximale LNT-Temperatur
NBt1, NBt2, ..., NBt _n	Stickoxidanteil stromabwärts LNT (Grenzwert)
LBt1, LBt2, ..., LBt _n	Verbrennungsluftverhältnis λ stromabwärts LNT (Grenzwert)
LSP	Sollwert des Verbrennungsluftverhältnisses λ
λ	Verbrennungsluftverhältnis

f	Funktion
base	Index zur Kennzeichnung von Ausgangswerten
S1 bis S9	Verfahrensschritte

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Regenerationsparameterwerten eines Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems mit mindestens zwei in Reihe angeordneten LNT-Katalysatoren (LNT1, LNT2, ..., LNT_n) und zur Regeneration mittels Einwirkung von reduzierend wirkenden Spezies auf die in den LNT-Katalysatoren gespeicherten Stickoxide (LNT1, LNT2, ..., LNT_n), aufweisend die folgenden Schritte:

- Festlegen von Ausgangswerten für Regenerationsparameter eines jeden LNT-Katalysators (LNT1, LNT2, ..., LNT_n),
- Ermitteln einer Alterungsfunktion (AF1, AF2, ..., AF_n) für jeden LNT-Katalysator (LNT1, LNT2, ..., LNT_n),
- Bestimmen von aktualisierten Werten der Regenerationsparameter mittels Anwenden der Alterungsfunktionen (AF1, AF2, ..., AF_n) auf die Ausgangswerte der Regenerationsparameter, wobei die Regenerationsparameter ausgewählt werden aus einer Gruppe umfassend Sollwert des Verbrennungsluftverhältnisses (LSP) und Zeitdauer der Regeneration,
- Anschließendes Durchführen der Regeneration des Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems mit den bestimmten aktualisierten Werten der Regenerationsparameter, wobei mit zunehmender Alterung entweder die Zeitdauer der Regeneration verkürzt wird oder der Sollwert für das Verbrennungsluftverhältnis (LSP) während der Regeneration verringert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Regenerationsparameter ausgewählt werden aus einer Gruppe umfassend Schwellenwert für die Stickoxidbeladung (NTh1, NTh2, ..., NTh_n), minimale LNT-Temperatur (TMin1, TMin2, ..., TMin_n), maximale LNT-Temperatur (TMax1, Tmax2, ..., Tmax_n), Stickoxidanteil stromabwärts des LNT-Katalysators (NBt1, NBt2, ..., NBt_n) und Verbrennungsluftverhältnis stromabwärts des LNT-Katalysators (LBt1, LBt2, ..., LBt_n).

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei aktualisierte Werte der Regenerationsparameter wiederholt oder fortlaufend bestimmt werden, indem die Schritte des Verfahrens nach Anspruch 1 wiederholt werden, wobei die aktualisierten Werte der Regenerationsparameter des vorhergehenden Bestimmungsschritts als Ausgangswerte der Regenerationsparameter des aktuellen Bestimmungsschritts verwendet werden.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, aufweisend:

- Durchführen einer Regeneration des Mehrfach-LNT-Katalysatorsystems mit den aktualisierten Werten der Regenerationsparameter.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Alterungsfunktionen (AF1, AF2, ..., AF_n) eine thermische Alterung und/oder eine Schwefelvergiftung berücksichtigen.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Ausgangswerte der Regenerationsparameter anhand von Kriterien aus einer Gruppe umfassend Eigenschaften des Katalysatormaterials, LNT-Temperatur und Stickoxidmassenstrom im Abgas festgelegt werden.

7. Vorrichtung zur Datenverarbeitung, umfassend Mittel zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche.

8. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 auszuführen.

9. Computerlesbarer Datenträger, auf dem das Computerprogrammprodukt nach Anspruch 8 gespeichert ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

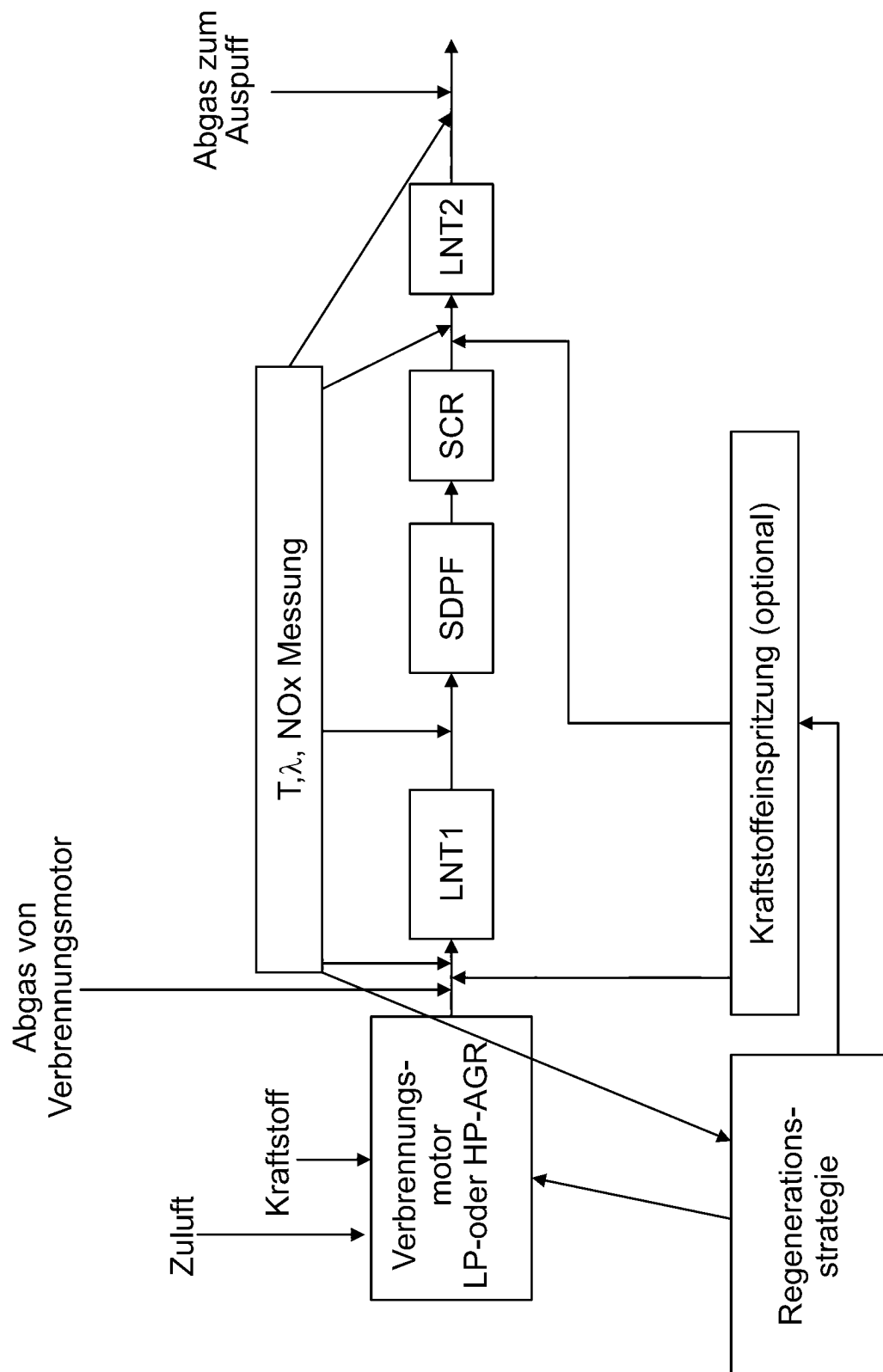


Fig. 1

Regenerationsparameter	LNT1	LNT2	Start/Stopp Kriterium	Typischer Wert	Bevorzugter Wert LNT1 / LNT2
Schwellenwert für die Stickoxidbeladung	NTh1	NTh2	Start	0,1-10 g	0,5-2g/0,2-1 g
Minimale LNT-Temperatur	TMin1	TMin2	Start	150-400°C	250-350°C
Maximale LNT-Temperatur	TMax1	TMax2	Start und Stopp	400-600°C	450-550°C
Stickoxidanteil stromabwärts LNT	NBt1	NBt2	Start	> 50 ppm	> 100 ppm
λ stromabwärts LNT	LBt1	LBt2	Stopp	$\lambda < 0.98$	$\lambda < 0.96$
λ Sollwert	LSP		-	0,7-0,98	0,85-0,95

Fig. 2

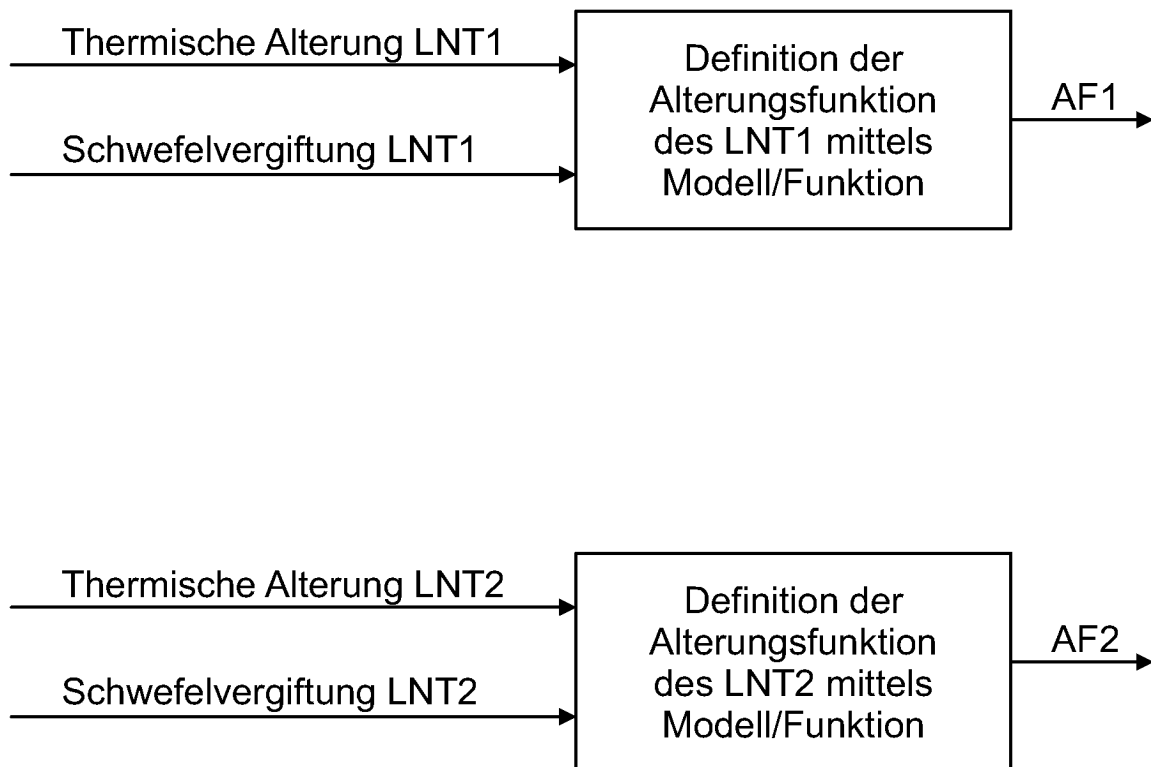


Fig. 3

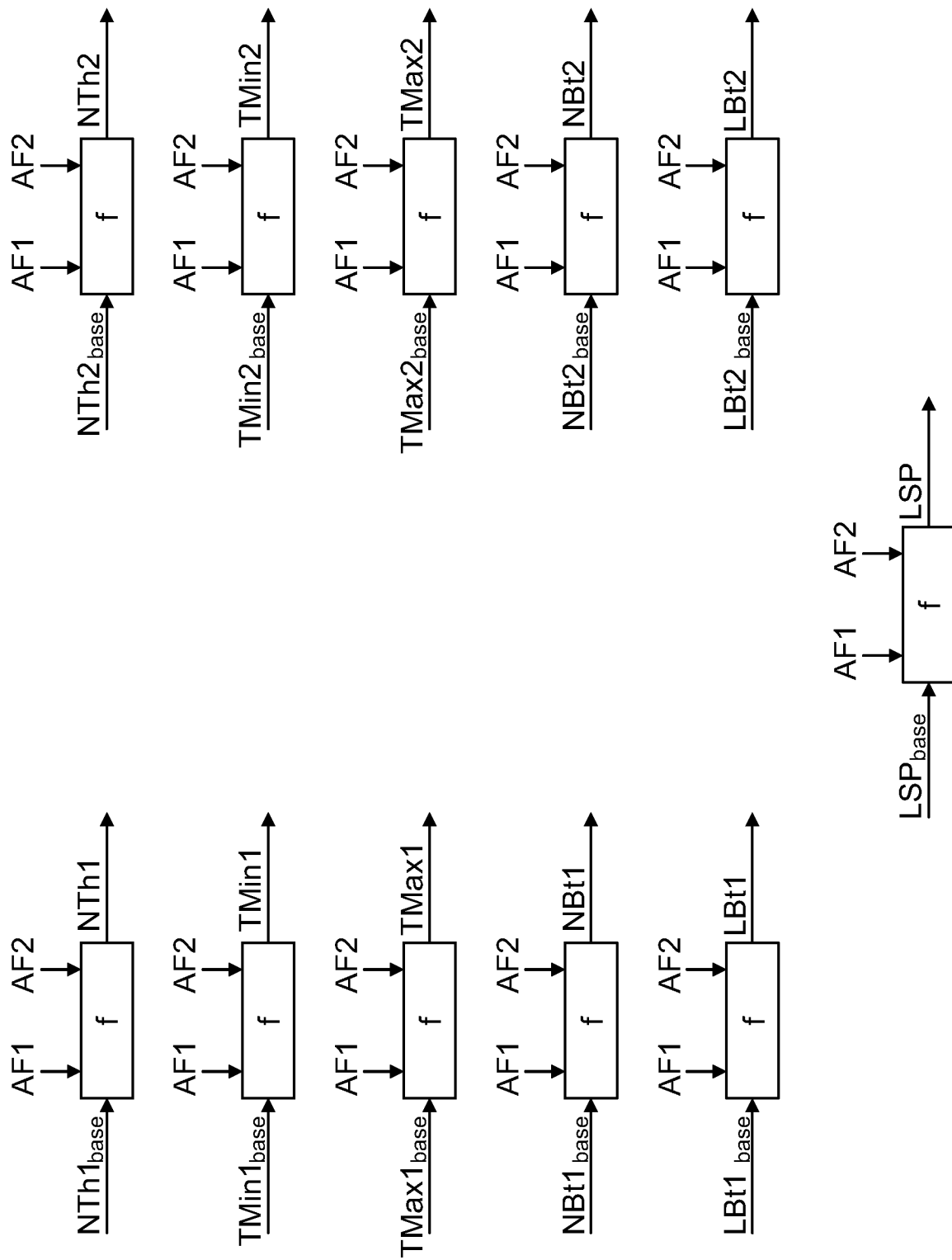


Fig. 4

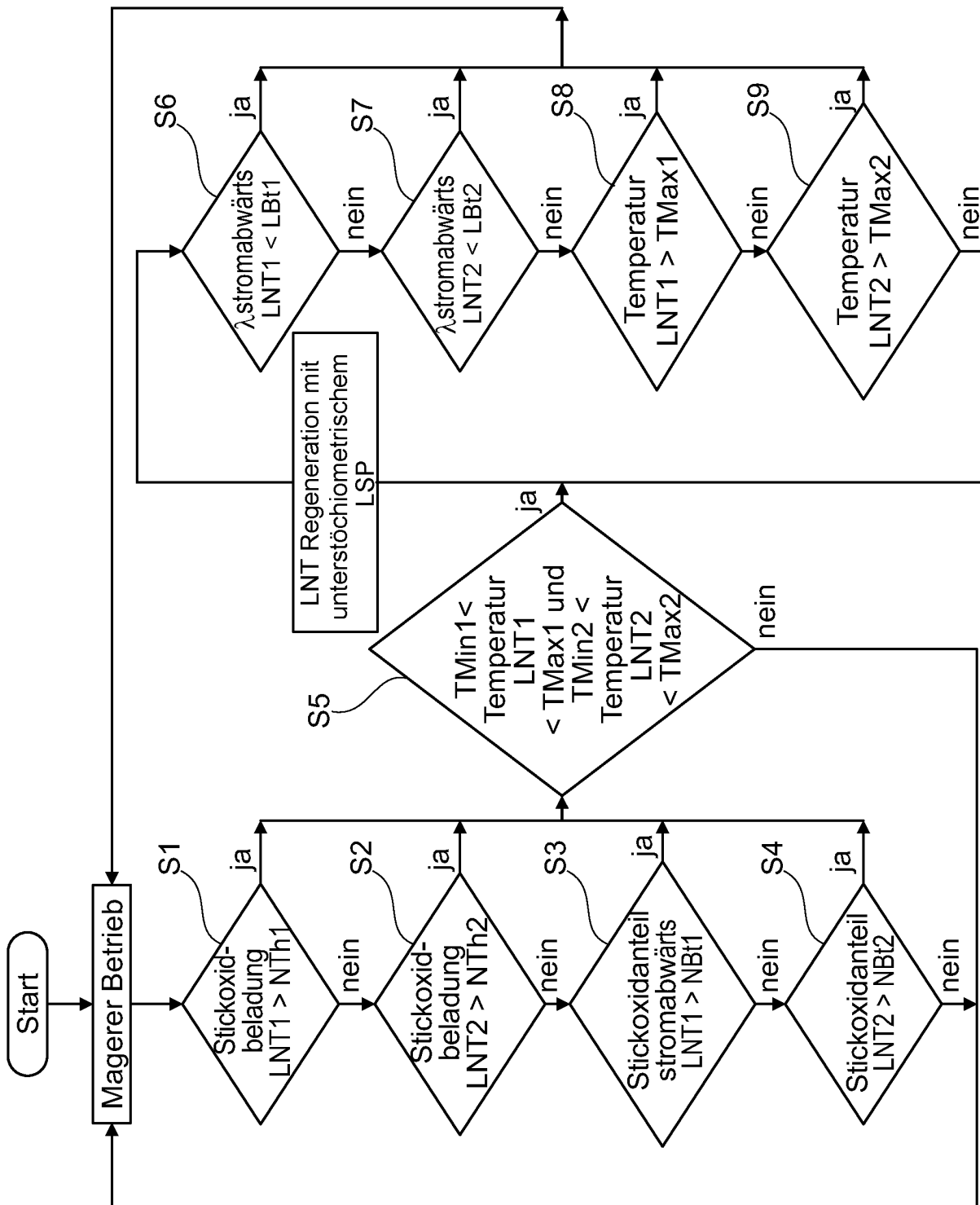


Fig. 5