



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 206 505.8**
 (22) Anmeldetag: **07.05.2019**
 (43) Offenlegungstag: **14.11.2019**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **21.09.2023**

(51) Int Cl.: **F01N 3/08 (2006.01)**
B01D 53/92 (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).

(30) Unionspriorität:
2018-091735 10.05.2018 JP

(73) Patentinhaber:
TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA, Toyota-shi, Aichi-ken, JP

(74) Vertreter:
**Winter, Brandl - Partnerschaft mbB,
 Patentanwälte, 85354 Freising, DE**

(72) Erfinder:
**Takada, Keishi, Toyota-shi, Aichi-ken, JP;
 Sakuma, Tetsuya, Toyota-shi, Aichi-ken, JP;
 Nishioka, Hiromasa, Toyota-shi, Aichi-ken, JP;
 Otsuki, Hiroshi, Toyota-shi, Aichi-ken, JP; Hirata,**

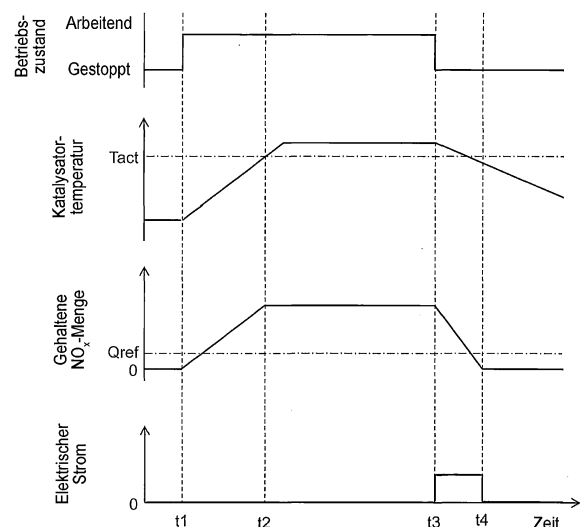
Hirohito, Toyota-shi, Aichi-ken, JP; Sakamoto, Yoshiyuki, Nagakute-shi, Aichi-ken, JP; Hamaguchi, Tsuyoshi, Nagakute-shi, Aichi-ken, JP; Kato, Chika, Nagakute-shi, Aichi-ken, JP; Sakakibara, Yuji, Nagakute-shi, Aichi-ken, JP; Kuzuya, Takashi, Nagakute-shi, Aichi-ken, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	44 46 280	A1
US	2016 / 0 326 927	A1
JP	2009- 138 522	A
JP	2004- 41 965	A
JP	2016- 14 376	A
JP	2008- 110 277	A

(54) Bezeichnung: **VERBRENNUNGSMOTOR MIT ELEKTROCHEMISCHEM REAKTOR UND FAHRZEUG, IN DEM DER VERBRENNUNGSMOTOR EINGEBAUT IST**

(57) Hauptanspruch: Verbrennungsmotor (1) mit einem Abgaskanal (41, 42, 44, 45), in dem ein elektrochemischer Reaktor (45) angeordnet ist, der umfasst: eine ionenleitende Festelektrolytschicht (75); eine Anodenschicht (76), die auf einer Oberfläche der Festelektrolytschicht (75) angeordnet ist; und eine Kathodenschicht (77), die auf einer Oberfläche der Festelektrolytschicht (75) angeordnet und dazu geeignet ist, NO_x zu halten, wobei der Verbrennungsmotor (1) eine Stromsteuervorrichtung (83, 51) zum Regeln des dem elektrochemischen Reaktor (45) zugeführten Stroms derart, dass er von der Anodenschicht (76) durch die Festelektrolytschicht (75) zu der Kathodenschicht (77) fließt, umfasst, und die Stromsteuervorrichtung (83, 51) ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor (45) bei gestopptem Verbrennungsmotor (1) wenigstens vorübergehend Strom zuzuführen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Verbrennungsmotor angeordnet mit einem elektrochemischen Reaktor und ein Fahrzeug, in dem der Verbrennungsmotor eingebaut ist.

[0002] Es ist ein Verbrennungsmotor mit einem Abgaskanal bekannt, in dem ein elektrochemischer Reaktor angeordnet ist, der eine ionenleitende Festelektrolytschicht, eine Anodenschicht, die auf einer Oberfläche der Festelektrolytschicht angeordnet ist, und eine Kathodenschicht, die auf einer Oberfläche der Festelektrolytschicht angeordnet ist (zum Beispiel die JP 2009-138522 A und die JP 2008-110277 A). Wenn einem solchen elektrochemischen Reaktor ein elektrischer Strom zugeführt wird, der von der Anodenschicht durch den Festelektrolyten zu der Kathodenschicht fließt, wird NO_x zu N_2 reduziert und von der Kathodenschicht entfernt.

[0003] In der JP 2009-138522 A wird der dem elektrochemischen Reaktor zugeführte Strom umso größer eingestellt, je größer die Strömungsrate des Abgases ist. Wenn der dem elektrochemischen Reaktor zugeführte Strom erhöht wird, wird die pro Zeiteinheit entfernbare Menge an NO_x größer, so dass es als möglich angesehen wird, durch Ändern der Stärke des zugeführten Stroms in Übereinstimmung mit der Strömungsrate des Abgases NO_x unabhängig von der Strömungsrate des Abgases in geeigneter Weise zu entfernen.

[0004] Ferner ist in der JP 2008-110277 A die Kathodenschicht so ausgelegt, dass sie NO_x halten kann. Infolgedessen wird selbst wenn Sauerstoff, der die chemische Reaktion von NO_x verhindert, in der Kathodenschicht übermäßig vorhanden ist, NO_x selektiv an der Kathodenschicht gehalten, so dass es als möglich erachtet wird, NO_x wirksam zu entfernen.

[0005] Zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung sei ferner auf die JP 2016- 14376 A („Internal Combustion Engine Exhaust Emission Control Device“), die JP 2004- 41 965 A („System For Removing Nitrogen Oxide“), die US 2016 / 0 326 927 A1 („Exhaust Gas Purification Apparatus Of Internal Combustion Engine“) und die DE 44 46 280 A1 („Verfahren und eine Katalysatoreinheit zur Reduktion von Schadstoffen, insbesondere zur Reduktion von Stickoxiden in Abgasen von Verbrennungskraftmaschinen“) verwiesen.

[0006] Im Übrigen wird, wenn die Kathodenschicht dazu geeignet ist, NO_x zu halten, das Vermögen der Kathodenschicht NO_x , NO_x weiter in dem Abgas zu halten, umso geringer, je größer die

Menge an an der Kathodenschicht gehaltenem NO_x ist.

[0007] Ferner wird, wenn der Verbrennungsmotor gestoppt wird, manchmal NO_x weiterhin an der Kathodenschicht gehalten. Jedoch wird zum Beispiel, wie es in der JP 2009-138522 A gezeigt ist, wenn der dem elektrochemischen Reaktor zugeführte Strom in Übereinstimmung mit der Strömungsrate des Abgases geregelt wird, dem elektrochemischen Reaktor bei gestopptem Verbrennungsmotor kein Strom zugeführt. Daher bleibt das an der Kathodenschicht gehaltene NO_x wie es ist, während der Verbrennungsmotor gestoppt ist. Wenn in diesem Fall der Verbrennungsmotor das nächste Mal gestartet wird, ist das Vermögen der Kathodenschicht, NO_x zu halten, gering, so dass die Fähigkeit, NO_x in dem Abgas zu entfernen, beim Start des Verbrennungsmotors gering ist.

[0008] Die vorliegende Erfindung wurde unter Berücksichtigung des oben genannten Problems gemacht, und es ist Aufgabe, die Leistung eines elektrochemischen Reaktors zum Entfernen von NO_x beim Starten eines Verbrennungsmotors zu verbessern.

[0009] Die vorliegende Erfindung wurde gemacht, um das oben genannte Problem zu lösen, und der Kern der vorliegenden Erfindung ist wie folgt.

(1) Ein Verbrennungsmotor mit einem Abgaskanal, in dem ein elektrochemischer Reaktor angeordnet ist, umfasst: eine ionenleitende Festelektrolytschicht; eine Anodenschicht, die auf einer Oberfläche der Festelektrolytschicht angeordnet ist; und eine Kathodenschicht, die auf einer Oberfläche der Festelektrolytschicht angeordnet und dazu geeignet ist, NO_x zu halten, wobei der Verbrennungsmotor eine Stromsteuerungs- bzw. Regelungsvorrichtung zum Regeln des dem elektrochemischen Reaktor zugeführten Stroms derart, dass er von der Anodenschicht durch die Festelektrolytschicht zu der Kathodenschicht fließt, umfasst, und die Stromsteuerungsvorrichtung ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor bei gestopptem Verbrennungsmotor wenigstens vorübergehend Strom zuzuführen.

(2) Der Verbrennungsmotor nach dem obigen Punkt (1), wobei die Stromsteuerungsvorrichtung ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor bei arbeitendem Verbrennungsmotor wenigstens vorübergehend Strom zuzuführen.

(3) Der Verbrennungsmotor nach dem obigen Punkt (2), wobei die Festelektrolytschicht des elektrochemischen Reaktors protonenleitend ist, und die Stromsteuerungsvorrichtung ausgelegt ist, um den dem elektrochemischen Reaktor zugeführten Strom so zu regeln, dass der dem

elektrochemischen Reaktor bei gestopptem Verbrennungsmotor zugeführte Strom kleiner als der dem elektrochemischen Reaktor bei arbeitendem Verbrennungsmotor zugeführte Strom ist.

(4) Der Verbrennungsmotor nach einem von den obigen Punkten (1) bis (3), wobei der Verbrennungsmotor ferner einen Abgasreinigungskatalysator umfasst, der in dem Abgaskanal angeordnet ist, der Abgasreinigungskatalysator ausgelegt ist, um NO_x in dem Abgas zu entfernen, wenn seine Temperatur gleich hoch wie oder höher als eine Aktivierungstemperatur ist, und die Stromsteuerungsvorrichtung ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor bei gestopptem Verbrennungsmotor keinen Strom zuzuführen, wenn die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators mindestens so hoch wie die Aktivierungstemperatur ist.

(5) Der Verbrennungsmotor nach einem von den obigen Punkten (1) bis (4), wobei der Verbrennungsmotor ferner einen Außenluft-Einleitungsmechanismus umfasst, der in Richtung des Abgasstroms strömungsaufwärtsseitig des elektrochemischen Reaktors Außenluft in den Abgaskanal einleitet, und der Außenluft-Einleitungsmechanismus ausgelegt ist, um bei gestopptem Verbrennungsmotor wenigstens vorübergehend Außenluft in den Abgaskanal zu leiten.

(6) Der Verbrennungsmotor nach einem von den obigen Punkten (1) bis (5), wobei die Stromsteuerungsvorrichtung: ausgelegt ist, um die Menge an an der Kathodenschicht des elektrochemischen Reaktors gehaltenem NO_x zu schätzen; und ausgelegt ist, um die Stromzufuhr zu dem elektrochemischen Reaktor bei gestopptem Verbrennungsmotor nicht zu starten, wenn die geschätzte Menge an NO_x geringer als eine vorbestimmte Referenzmenge ist.

(7) Ein Fahrzeug, in dem der Verbrennungsmotor nach einem von den obigen Punkten (1) bis (6) und ein Elektromotor eingebaut ist, wobei das Fahrzeug eine Batterie umfasst, die dem Elektromotor elektrische Leistung zuführt und mit dem elektrochemischen Reaktor verbunden ist, und dem elektrochemischen Reaktor Strom von der Batterie zugeführt wird.

(8) Das Fahrzeug nach dem obigen Punkt (7), wobei die Stromsteuerungsvorrichtung ausgelegt ist, dem elektrochemischen Reaktor keinem Strom zuzuführen, wenn die Ist-Kapazität der Batterie gleich groß wie oder kleiner als ein vorbestimmte Referenzwert ist.

(9) Das Fahrzeug nach dem obigen Punkt (7) oder (8), wobei das Fahrzeug ferner einen fahrzeugseitigen Verbinder umfasst, der mit der Bat-

terie verbunden ist, der fahrzeugseitige Verbinder dazu geeignet ist, die Batterie durch Verbinden mit einer externen Leistungsquelle zu laden, und die Stromsteuerungsvorrichtung ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor bei gestopptem Verbrennungsmotor Strom zuzuführen, wenn der fahrzeugseitige Verbinder mit der externen Leistungsquelle verbunden ist und die Batterie geladen wird.

(10) Das Fahrzeug nach einem von den obigen Punkten (7) bis (9) wobei das Fahrzeug ferner einen Generator umfasst, der dazu geeignet ist, Leistung zu erzeugen, während das Fahrzeug verzögert, und der mit der Batterie verbunden ist, und die Stromsteuerungsvorrichtung ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor Strom zuzuführen, wenn durch den Generator Leistung erzeugt wird, während das Fahrzeug bei gestopptem Verbrennungsmotor verzögert.

[0010] Gemäß der vorliegenden Erfindung, ist es möglich, die Leistung eines elektrochemischen Reaktors zum Entfernen von NO_x beim Start eines Verbrennungsmotors zu erhöhen.

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht der Konfiguration eines Verbrennungsmotors.

Fig. 2 ist eine Querschnitts-Seitenansicht eines elektrochemischen Reaktors.

Fig. 3 ist eine vergrößerte Querschnittsansicht, die schematisch eine Trennwand des elektrochemischen Reaktors zeigt.

Fig. 4 ist eine vergrößerte Querschnittsansicht, die schematisch eine Trennwand des elektrochemischen Reaktors zeigt.

Fig. 5 ist ein Zeitdiagramm eines Betriebszustands eines Verbrennungsmotors, einer Temperatur eines Abgasreinigungskatalysators, einer gehaltenen NO_x -Menge und eines zugeführten Stroms.

Fig. 6 ist ein Flussdiagramm, das eine Regeleingangsroutine zum Regeln der Stromzufuhr zu einem elektrochemischen Reaktor eines Verbrennungsmotors gemäß einem ersten Ausführungsform zeigt.

Fig. 7 ist ein Zeitdiagramm ähnlich wie **Fig. 5**, wenn einem elektrochemischen Reaktor ein Strom zugeführt wird, in einer Modifikation der ersten Ausführungsform.

Fig. 8 ist ein Flussdiagramm, das eine Regeleingangsroutine zum Regeln der Stromzufuhr zu einem elektrochemischen Reaktor eines Verbrennungsmotors gemäß einer Modifikation der ersten Ausführungsform zeigt.

Fig. 9 ist ein Zeitdiagramm ähnlich wie **Fig. 7** in einem Verbrennungsmotor gemäß einer zweiten Ausführungsform.

Fig. 10 ist ein Flussdiagramm, das eine Regeleingangsroutine zum Regeln der Stromzufuhr zu einem Reaktor in dem Verbrennungsmotor gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt.

Fig. 11 ist ein Flussdiagramm, das eine Regeleingangsroutine zum Regeln während der in Schritt S63 von **Fig. 10** durchgeführten Operation zeigt.

Fig. 12A und **Fig. 12B** sind Ansichten, die schematisch eine Reaktion zeigen, die um eine Trennwand stattfindet, wenn Strom fließt.

Fig. 13 ist eine schematische Ansicht der Konfiguration eines Verbrennungsmotors.

Fig. 14 ist eine Ansicht, die schematisch ein Hybridfahrzeug gemäß einer vierten Ausführungsform zeigt.

Fig. 15 ist ein Flussdiagramm, das eine Regeleingangsroutine zum Regeln der Stromzufuhr zu einem Reaktor in dem Fahrzeug gemäß der vierten Ausführungsform zeigt.

Fig. 16 ist ein Zeitdiagramm eines Verbindungszustands einer externen Leistungsquelle, etc.

Fig. 17 ist ein Flussdiagramm, das eine Regeleingangsroutine zum Regeln der Stromzufuhr zu einem Reaktor in einem Fahrzeug gemäß einer ersten Modifikation der vierten Ausführungsform zeigt.

Fig. 18 ist ein Zeitdiagramm einer Geschwindigkeit eines Fahrzeugs etc.

Fig. 19 ist ein Flussdiagramm, das eine Regeleingangsroutine zum Regeln der Stromzufuhr zu einem Reaktor in einem Fahrzeug gemäß einer zweiten Modifikation der vierten Ausführungsform zeigt.

[0011] Nachfolgend sind Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Zeichnungen ausführlich erläutert. Es ist zu beachten, dass in der nachfolgenden Erläuterung ähnliche Komponenten mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

Erste Ausführungsform

Erläuterung eines Verbrennungsmotors als Ganzes

[0012] Nachfolgend ist die Konfiguration eines Verbrennungsmotors 1 gemäß einer ersten Ausführungsform mit Bezug auf **Fig. 1** erläutert. **Fig. 1** ist eine schematische Ansicht der Konfiguration des Verbrennungsmotors 1. Wie es in **Fig. 1** gezeigt ist, umfasst der Verbrennungsmotor 1 einen Motorkörper 10, ein Kraftstoffzuführungssystem 20, ein

Ansaugsystem 30, ein Abgassystem 40 und eine Steuerungs- bzw. Regelungsvorrichtung 50.

[0013] Der Motorkörper 10 umfasst einen Zylinderblock, in dem mehrere Zylinder 11 ausgebildet sind, einen Zylinderkopf und ein Kurbelgehäuse. Ein Kolben 14 ist in jedem Zylinder 11 angeordnet, und jeder Zylinder 11 ist mit Einlassanschlüssen und einem Ausströmungsanschluss verbunden.

[0014] Das Kraftstoffzuführungssystem 20 umfasst Einspritzdüsen bzw. Einspritzventile 21 (im Folgenden kurz als „Einspritzdüsen“ bezeichnet), eine Zuführungs- bzw. Verteilungsleitung 22, eine Kraftstoffversorgungsleitung 23, eine Kraftstoffpumpe 24 und einen Kraftstofftank 25. Jede Einspritzdüse 21 ist so in dem Zylinderkopf angeordnet, dass sie Kraftstoff direkt in jeden Zylinder 11 einspritzt. Der durch die Kraftstoffpumpe 24 herausgepumpte Kraftstoff wird durch die Kraftstoffversorgungsleitung 23 der Zuführungs- bzw. Verteilungsleitung 22 zugeführt und dann von der Einspritzdüse 21 in den Zylinder 11 eingespritzt.

[0015] Das Ansaugsystem 30 umfasst einen Ansaugkrümmer 31, ein Ansaugrohr 32, einen Luftreiniger 33, einen Kompressor 34 eines Turboladers 5, einen Zwischenkühler 35 und ein Drosselventil 36. Der Einlassanschluss jedes Zylinders 11 ist über den Ansaugkrümmer 31 und das Ansaugrohr 32 mit dem Luftreiniger 33 verbunden. Das Ansaugrohr 32 umfasst den Kompressor 34 des Abgasturboladers 5 zum Verdichten und Absaugen von Ansaugluft, die durch das Ansaugrohr 32 strömt, und den Zwischenkühler 35 zum Kühlen der durch den Kompressor 34 verdichteten Luft. Das Drosselventil 36 wird durch einen Drosselventil-Stelltrieb 37 so betätigt, dass es geöffnet und geschlossen wird. Der Einlassanschluss, der Ansaugkrümmer 31 und das Ansaugrohr 32 bilden einen Ansaugkanal.

[0016] Das Abgassystem 40 umfasst einen Auspuffkrümmer 41, ein Abgasrohr 42, die Turbine 43 des Abgasturboladers 5, einen Abgasreinigungskatalysator 44 und einen elektrochemischen Reaktor (nachfolgend einfach als „Reaktor“ bezeichnet) 45. Der Ausströmungsanschluss jedes Zylinders 11 ist über den Auspuffkrümmer 41 und das Abgasrohr 42 mit dem Abgasreinigungskatalysator 44 verbunden, und der Abgasreinigungskatalysator ist über das Abgasrohr 42 mit dem elektrochemischen Reaktor 45 verbunden. Der Abgasreinigungskatalysator 44 ist zum Beispiel ein Drei-Wege-Katalysator oder ein NOx-Speicher-Reduktionskatalysator und reinigt die Zusammensetzung im Abgas wie etwa NOx oder unverbrannten HC, wenn dessen Temperatur gleich hoch wie oder größer als eine konstante Aktivierungstemperatur ist. In dem Abgasrohr 42 ist die Turbine 43 des Abgasturboladers 5 angeordnet, die durch die Energie des Abgases in Drehung versetzt

wird. Der Ausströmungsanschluss, der Auspuffkrümmer 41, das Abgasrohr 42, der Abgasreinigungskatalysator 44 und der Reaktor 45 bilden einen Abgaskanal. Es ist zu beachten, dass der Abgasreinigungskatalysator 44 in Strömungsrichtung des Abgases strömungsabwärtsseitig des Reaktors 45 angeordnet sein kann.

[0017] Die Steuerungs- bzw. Regelungsvorrichtung 50 umfasst eine elektronische Steuerungs- bzw. Regelungseinheit (ECU) 51 und verschiedene Typen von Sensoren. Die ECU 51 besteht aus einem digitalen Computer und umfasst Komponenten, die durch einen bidirektionalen Bus 52 miteinander verbunden sind, wie etwa einen RAM (Direktzugriffsspeicher) 53, einen ROM (Nur-Lese-Speicher) 54, eine CPU (Mikroprozessor) 55, einen Eingangsport 56 und einen Ausgangsport 57.

[0018] An dem Ansaugrohr 32 ist ein Strömungsratensensor (Luftströmungsmesser) 61 zum Erfassen der Strömungsrate von Luft, die durch das Ansaugrohr 32 strömt, angeordnet. An dem Abgasrohr 42 (oder an dem Auspuffkrümmer 41) strömungsaufwärtsseitig des Abgasreinigungskatalysators 44, ist ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensor zum Erfassen des Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Abgases, das in den Abgasreinigungskatalysator 44 strömt, angeordnet. Ferner ist an dem Abgasrohr 42 strömungsabwärtsseitig des Abgasreinigungskatalysators und strömungsaufwärtsseitig des Reaktors 45 ein NO_x-Sensor zum Erfassen der NO_x-Konzentration des in den Reaktor 45 strömenden Abgases angeordnet. Ferner ist an dem Abgasreinigungskatalysator ein Temperatursensor 64 zum Erfassen der Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 angeordnet. Die Ausgaben des Strömungsratensensors 61, des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensors 62, des NO_x-Sensors 63 und des Temperatursensors 64 werden durch entsprechende AD-Konverter 58 dem Eingangsport 56 zugeführt.

[0019] Ferner ist ein Lastsensor 67, der eine Ausgangsspannung proportional zum Niederdruckbeitrag eines Gaspedals 66 erzeugt, mit dem Eingangsport 56 verbunden. Die Ausgangsspannung des Lastsensors 67 wird durch einen entsprechenden AD-Konverter 58 dem Eingangsport 56 zugeführt. Ein Kurbelwinkelsensor 68 erzeugt immer dann einen Ausgangsimpuls, wenn sich die Kurbelwelle des Motorkörpers 10 um zum Beispiel 10 Grad dreht. Dieser Ausgangsimpuls wird dem Eingangsport 56 zugeführt. In der CPU 55 wird die Motordrehzahl aus dem Ausgangsimpuls berechnet.

[0020] Hingegen ist der Ausgangsport 57 der ECU 51 über entsprechende Treiberschaltungen 59 mit den Aktoren verbunden, die den Betrieb des Verbrennungsmotors 1 steuern. In dem in **Fig. 1** gezeigten Beispiel ist der Ausgangsport 57 mit den Ein-

spritzdüsen 21, der Kraftstoffpumpe 24 und dem Drosselventil-Stelltrieb 37 verbunden. Die ECU 51 gibt Steuersignale, die diese Aktoren steuern, von dem Ausgangsport 57 aus um den Betrieb des Verbrennungsmotors 1 zu steuern.

Konfiguration des elektrochemischen Reaktors

[0021] Nachfolgend ist die Konfiguration des Reaktors 45 gemäß der vorliegenden Ausführungsform mit Bezug auf die **Fig. 2** und **Fig. 3** erläutert. **Fig. 2** ist eine Querschnitts-Seitenansicht des Reaktors 45. Wie es in **Fig. 2** gezeigt ist, umfasst der Reaktor 45 Trennwände 71 und Kanäle 72, die durch die Trennwände definiert sind. Die Trennwände 71 umfassen mehrere erste Trennwände, die sich parallel zueinander erstrecken, und mehrere zweite Trennwände, die sich parallel zueinander und senkrecht zu den ersten Trennwänden erstrecken. Die Kanäle 72 sind durch diese ersten Trennwände und zweiten Trennwände definiert und erstrecken sich parallel zueinander. Daher hat der Reaktor 45 gemäß der vorliegenden Ausführungsform eine Wabenstruktur. Das Abgas, das in den Reaktor 45 strömt, strömt durch die mehreren Kanäle 72.

[0022] **Fig. 3** ist eine vergrößerte Querschnittsansicht einer Trennwand 71 des Reaktors 45. Wie es in **Fig. 3** gezeigt ist, umfasst eine Trennwand 71 des Reaktors 45 eine Festelektrolytschicht 75, eine Anodenschicht 76, die auf einer Oberfläche der Festelektrolytschicht 75 angeordnet ist, und eine Kathodenschicht 77, die auf der entgegengesetzten Seite zu der der Oberfläche, auf der die Anodenschicht 76 angeordnet ist, auf der Oberfläche der Festelektrolytschicht 75 angeordnet ist.

[0023] Die Festelektrolytschicht 75 umfasst einen porösen Festelektrolyten mit Protonenleitfähigkeit. Als der Festelektrolyt finden zum Beispiel ein Metalloxid vom Perowskit-Typ

[0024] $MM'_{1-x}R_xO_{3-\alpha}$ (M=Ba, Sr, Ca, M'=Ce, Zr, R=Y, Yb, zum Beispiel $SrZr_xYb_{1-x}O_{3-\alpha}$, $SrCeO_3$, $BaCeO_3$, $CaZrO_3$, $SrZrO_3$, etc.), ein Phosphat (zum Beispiel ein auf $SiO_2-P_2O_5$ basierendes Glas, etc.), Metall-dotiertes $Sn_xIn_{1-x}P_2O_7$ (zum Beispiel SnP_2O_7 , etc.) oder Zeolith (zum Beispiel ZSM-5) Verwendung.

[0025] Die Anodenschicht 76 und die Kathodenschicht 77 enthalten jeweils Pt, Pd, Rh oder andere Edelmetalle. Ferner enthält die Anodenschicht 76 eine Substanz, die dazu geeignet ist, Wassermoleküle zu halten (das heißt zu adsorbieren und/oder zu absorbieren). Insbesondere enthält die Substanz, die dazu geeignet ist, Wassermoleküle zu halten, Zeolith, Kieselgel, aktiviertes Aluminiumoxid, etc. Hingegen enthält die Kathodenschicht 77 eine Substanz, die dazu geeignet ist, NO_x zu halten (das heißt zu adsorbieren und/oder zu absorbieren). Insbeson-

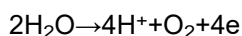
dere enthält die Substanz, die dazu geeignet ist, NO_x zu halten, K, Na oder ein anderes Alkalimetall, Ba oder ein anderes Erdalkalimetall, La oder eine andere Seltene Erde, etc.

[0026] Ferner umfasst der Verbrennungsmotor 1 ein Stromversorgungssystem 81, Amperemeter 82 und ein Stromeinstellsystem 83. Die positive Elektrode des Stromversorgungssystems 81 ist mit der Anodenschicht 76 verbunden, während die negative Elektrode des Stromversorgungssystems 81 mit der Kathodenschicht 77 verbunden ist. Das Stromeinstellsystem 83 ist dazu geeignet, die Stärke des dem Reaktor 45 zugeführten Stroms so zu ändern, dass er von der Anodenschicht 76 durch die Festelektrolytschicht 75 zu der Kathodenschicht 77 fließt, und dazu geeignet, die zwischen der Anodenschicht 76 und der Kathodenschicht 77 angelegte Spannung zu ändern.

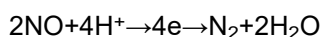
[0027] Das Stromversorgungssystem 81 ist mit dem Amperemeter 82 in Reihe geschaltet. Ferner ist das Amperemeter 82 durch einen entsprechenden AD-Konverter 58 mit dem Eingangsport 56 verbunden. Das Stromeinstellsystem 83 ist über eine entsprechende Steuerschaltung 59 mit dem Ausgangsport 57 der ECU 51 verbunden. Das Stromeinstellsystem 83 wird durch die ECU 51 gesteuert. Daher dienen das Stromeinstellsystem 83 und die ECU 51 als eine Stromsteuerungs- bzw. Regelungsvorrichtung (nachfolgend kurz als „Stromsteuerungsvorrichtung“ bezeichnet) zum Regeln der Stärke des Stroms, der von der Anodenschicht 76 durch die Festelektrolytschicht 75 zu der Kathodenschicht 77 fließt. Insbesondere wird in der vorliegenden Ausführungsform das Stromeinstellsystem 83 so gesteuert, dass der durch das Amperemeter 82 erfasste Stromwert einen Sollwert annimmt.

[0028] In dem wie oben konfigurierten Reaktor 45 finden, wenn Strom von dem Stromversorgungssystem 81 zu der Anodenschicht 76 und der Kathodenschicht 77 fließt, Reaktionen wie etwa die in den nachfolgenden Gleichungen an der Anodenschicht 76 und der Kathodenschicht 77 statt:

Anodenseite:



Kathodenseite:



[0029] Das heißt, an bzw. in der Anodenschicht 76 gehaltene Wassermoleküle werden elektrolysiert, wodurch Sauerstoff und Protonen erzeugt werden. Der erzeugte Sauerstoff wird in das Abgas abgegeben, während sich die erzeugten Protonen von der Anodenschicht 76 durch die Festelektrolytschicht 75 zu der Kathodenschicht 77 bewegen. Das an bzw. in

der Kathodenschicht 77 gehaltene NO reagiert mit den Protonen und den Elektronen, wodurch Stickstoff und Wassermoleküle erzeugt werden.

[0030] Daher ist es gemäß der vorliegenden Ausführungsform dadurch, dass der Strom von dem Stromversorgungssystem 81 des Reaktors 45 zu der Anodenschicht 76 und der Kathodenschicht 77 fließt, möglich, das NO in dem Abgas zu N₂ zu reduzieren, um es so zu entfernen.

[0031] Es ist zu beachten, dass in den obigen Ausführungsformen die Anodenschicht 76 und die Kathodenschicht 77 auf zwei Oberflächen an den gegenüberliegenden Seiten der Festelektrolytschicht 75 angeordnet sind. Jedoch können die Anodenschicht 76 und die Kathodenschicht 77 auch auf derselben Oberfläche der Festelektrolytschicht 75 angeordnet sein. In diesem Fall bewegen sich die Protonen durch die Umgebung der Oberfläche der Festelektrolytschicht 75, an der die Anodenschicht 76 und die Kathodenschicht 77 angeordnet sind.

[0032] Ferner kann die Anodenschicht 76, wie es in Fig. 4 gezeigt ist, zwei Schichten aus einer leitenden Schicht 76a, die ein elektrisch leitendes Edelmetall enthält, und einer Wassermolekül-Halteschicht 76b, die eine Substanz enthält, die dazu geeignet ist, Wassermoleküle zu halten, umfassen. In diesem Fall ist die leitende Schicht 76a auf der Oberfläche der Festelektrolytschicht 75 angeordnet, während die Wassermolekül-Halteschicht 76b auf der Oberfläche der leitenden Schicht 76a an der zu der Seite der Festelektrolytschicht 75 entgegengesetzten Seite angeordnet ist.

[0033] Ebenso kann die Kathodenschicht 77 zwei Schichten aus einer leitenden Schicht 77a, die ein elektrisch leitendes Edelmetall enthält, und einer NO_x-Halteschicht 77b, die eine Substanz enthält, die dazu geeignet ist, NO_x zu halten, umfassen. In diesem Fall ist die leitende Schicht 77a auf der Oberfläche der Festelektrolytschicht 75 angeordnet, während die NO_x-Halteschicht 77b auf der Oberfläche der leitenden Schicht 77a an der zu der Seite der Festelektrolytschicht 75 entgegengesetzten Seite angeordnet ist.

[0034] Es ist zu beachten, dass in der vorliegenden Ausführungsform die Festelektrolytschicht 75 des Reaktors 45 einen protonenleitenden Festelektrolyten umfasst. Jedoch kann die Festelektrolytschicht 75 statt einem protonenleitenden Festelektrolyten auch einen sauerstoffionenleitenden Festelektrolyten oder einen anderen ionenleitenden Festelektrolyten umfassen.

Steuerung des elektrochemischen Reaktors

[0035] Nachfolgend ist die Steuerung des wie oben ausgelegten Reaktors 45 mit Bezug auf Fig. 5 erläutert. Fig. 5 ist ein Zeitdiagramm des Betriebszustands des Verbrennungsmotors 1, der Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44, der Menge an an der Kathodenschicht 77 des Reaktors 45 gehaltenem NO_x und des dem Reaktor 45 zugeführten Stroms.

[0036] In dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel wird zum Zeitpunkt t1 der Verbrennungsmotor 1 in einem Zustand gestartet, in dem die Temperatur des Verbrennungsmotors 1 niedrig ist. Daher ist zum Zeitpunkt t1 die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 niedriger als die Aktivierungstemperatur Tact.

[0037] Wenn zum Zeitpunkt t1 der Verbrennungsmotor 1 gestartet wird, bewirkt das Abgas des Verbrennungsmotors 1, dass die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 steigt. Ferner ist die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 niedriger als die Aktivierungstemperatur, so dass das NO_x in dem Abgas an dem Abgasreinigungskatalysator 44 nicht entfernt wird und in den Reaktor 45 strömt. Wenn NO_x in den Reaktor 45 strömt, wird es an der Kathodenschicht 77 des Reaktors 45 gehalten. In dem Beispiel von Fig. 5 wird zu diesem Zeitpunkt dem Reaktor 45 kein Strom zugeführt und damit das an der Kathodenschicht 77 gehaltene NO_x nicht entfernt, sondern weiterhin gehalten. Dadurch nimmt nach dem Zeitpunkt t1 die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x zu.

[0038] Anschließend, wenn zum Zeitpunkt t2 die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 die Aktivierungstemperatur erreicht, wird das NO_x in dem Abgas durch den Abgasreinigungskatalysator 44 entfernt. Daher enthält das Abgas, das in den Reaktor 45 strömt, nahezu kein NO_x , so dass sich die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x nicht ändert.

[0039] In dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel, wird danach, zum Zeitpunkt t3, der Verbrennungsmotor 1 gestoppt. Das heißt, zum Zeitpunkt t3 wird die Drehzahl der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors 1 null. In der vorliegenden Ausführungsform wird dem Reaktor 45 bei gestopptem Verbrennungsmotor 1, Strom zugeführt. Daher wird in dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel, wenn zum Zeitpunkt t3 der Verbrennungsmotor 1 gestoppt wird, eine Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestartet. Wenn dem Reaktor 45 Strom zugeführt wird, wird das in der Kathodenschicht 77 des Reaktors 45 gehaltene NO_x entfernt und somit die Menge an Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x allmählich verringert.

[0040] In dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel wird zum Zeitpunkt t4 die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x im Wesentlichen null. Daher wird zum Zeitpunkt t4 die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestoppt.

[0041] Fig. 6 ist ein Flussdiagramm, das eine Regeleingangsroutine zum Regeln des Versorgungsstroms zu dem Reaktor 45 in dem Verbrennungsmotor 1 gemäß der ersten Ausführungsform zeigt. Die gezeigte Regeleingangsroutine wird in vorbestimmten Zeitintervallen ausgeführt.

[0042] Wie es in Fig. 6 gezeigt ist, wird zuerst in Schritt S11 die Menge an an der Kathodenschicht 77 des Reaktors 45 gehaltenem NO_x berechnet. Die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} der Kathodenschicht 77 wird zum Beispiel, durch die folgende Formel (1) berechnet:

$$Q_{\text{nox}_n} = Q_{\text{nox}_{n-1}} + Q_{\text{in}} - Q_{\text{red}} - Q_{\text{out}} \quad (1)$$

[0043] In der obigen Formel (1) bedeutet das Suffix „n“ den in der Strom-Regelungsroutine berechneten Wert, während das Suffix n-1 den Wert bedeutet, der in der vorherigen Regeleingangsroutine berechnet wird. Q_{in} drückt die Menge an NO_x aus, die während der Ausführungsintervalle der Regeleingangsroutine in den Reaktor 45 strömt (einströmende NO_x -Menge), während Q_{red} die Menge an während der Ausführungsintervalle der Regeleingangsroutine in dem Reaktor 45 entferntem NO_x ausdrückt (entfernte NO_x -Menge). Ferner drückt Q_{out} die während der Ausführungsintervalle der Regeleingangsroutine von dem Reaktor 45 ausströmende Menge an NO_x aus (ausströmende NO_x -Menge).

[0044] Die einströmende NO_x -Menge Q_{in} wird zum Beispiel durch Multiplizieren der Strömungsrate des Abgases mit der durch den NO_x -Sensor 63, der strömungsaufwärtsseitig des Reaktors 45 angeordnet ist, erfassten NO_x -Konzentration berechnet. Die entfernte NO_x -Menge Q_{red} wird zum Beispiel auf der Grundlage der Stärke des dem Reaktor 45 zugeführten Stroms berechnet. Die ausströmende NO_x -Menge Q_{out} wird zum Beispiel durch Multiplizieren der Strömungsrate des Abgases mit der durch den NO_x -Sensor (nicht gezeigt), der strömungsabwärtsseitig des Reaktors 45 angeordnet ist, erfassten NO_x -Konzentration berechnet. Es ist zu beachten, dass die einströmende NO_x -Menge Q_{in} , die entfernte NO_x -Menge Q_{red} und die ausströmende NO_x -Menge Q_{out} auch durch von den obigen Verfahren abweichende Verfahren berechnet werden können. Ferner kann die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} der Kathodenschicht 77 auch mit einem von dem obigen Verfahren abweichendem Verfahren berechnet werden.

[0045] Danach wird in Schritt S12 beurteilt, ob der Verbrennungsmotor 1 gestoppt wird. Dies wird insbesondere zum Beispiel auf der Grundlage der Motordrehzahl beurteilt, die auf der Grundlage der Ausgabe des Kurbelwinkelsensors 68 berechnet wird. Wenn die Motordrehzahl null ist, wird beurteilt, dass der Verbrennungsmotor 1 gestoppt hat, während wenn die Motordrehzahl größer als null ist, wird beurteilt, dass der Verbrennungsmotor 1 in Betrieb ist. Wenn in Schritt S12 beurteilt wird, dass der Verbrennungsmotor 1 nicht gestoppt hat, ist die Regelungsroutine beendet. Hingegen fährt die Routine mit Schritt S13 fort, wenn in Schritt S12 beurteilt wird, dass der Verbrennungsmotor 1 gestoppt wird.

[0046] In Schritt S13 wird beurteilt, ob das Reinigungs-Flag auf AUS gesetzt ist. Das Reinigungs-Flag ist ein Flag, das auf AN gesetzt ist, wenn dem Reaktor 45 Strom zugeführt und das an der Kathodenschicht 77 gehaltene NO_x entfernt wird, während es ansonsten auf AUS gesetzt ist. Wenn in Schritt S13 beurteilt wird, dass das Reinigungs-Flag auf AUS gesetzt ist, fährt die Routine mit Schritt S14 fort.

[0047] In Schritt S14 wird beurteilt, ob der Verbrennungsmotor 1 gerade gestoppt hat. Insbesondere wird beurteilt, ob die Motordrehzahl in der vorherigen Regelungsroutine einen Wert größer als null hatte. Wenn in Schritt S14 beurteilt wird, dass der Verbrennungsmotor 1 nicht gerade gestoppt hat, endet die Regelungsroutine. Hingegen fährt die Routine mit Schritt S15 fort, wenn in Schritt S14 beurteilt wird, dass der Verbrennungsmotor 1 gerade gestoppt hat.

[0048] In Schritt S15 wird beurteilt, ob die in Schritt S11 berechnete gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} gleich groß wie oder größer als eine vorbestimmte Referenzmenge Q_{ref} ist. Die Referenzmenge Q_{ref} zum Beispiel ist zum Beispiel auf 1/3 oder 1/6 der maximal speicherbaren Menge an NO_x der Kathodenschicht 77 eingestellt. Wenn in Schritt S15 beurteilt wird, dass die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} geringer als die Referenzmenge Q_{ref} ist, ist die Menge des an der Kathodenschicht 77 gehaltenen NO_x klein, so dass die Regelungsroutine beendet wird, ohne das an der Kathodenschicht 77 gehaltene NO_x zu entfernen. Daher wird die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 nicht gestartet, wenn die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} geringer als die Referenzmenge Q_{ref} ist.

[0049] Hingegen fährt die Routine mit Schritt S16 fort, wenn in Schritt S15 beurteilt wird, dass die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} gleich groß oder größer als die Referenzmenge Q_{ref} ist. In Schritt S16 wird die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestartet, dann in Schritt S17 das Reinigungs-Flag auf AN gesetzt und die Regelungsroutine beendet.

[0050] Wenn die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestartet und das Reinigungs-Flag auf AN gesetzt

wird, wird in der nächsten Regelungsroutine in Schritt S13 beurteilt, dass das Reinigungs-Flag auf AN gesetzt ist, und die Routine fährt mit Schritt S18 fort. In Schritt S18 wird beurteilt, ob die in Schritt S11 berechnete gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} gleich groß oder kleiner als die vorbestimmte minimale Menge Q_{min} ist. Die minimale Menge Q_{min} ist ein Wert nahe null. Wenn in Schritt S18 beurteilt wird, dass die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} größer als die minimale Menge Q_{min} ist, das heißt, wenn beurteilt wird, dass die Kathodenschicht 77 NO_x noch hält, fährt die Routine mit Schritt S19 fort. In Schritt S19 wird die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 fortgesetzt, und die Regelungsroutine wird beendet.

[0051] Hingegen fährt die Routine mit Schritt S20 fort, wenn in Schritt S18 beurteilt wird, dass die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} gleich groß wie oder kleiner als die minimale Menge Q_{min} ist, das heißt, wenn beurteilt wird, dass die Kathodenschicht 77 nur sehr wenig NO_x hält. In Schritt S20 wird die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestoppt, dann in Schritt S21 das Reinigungs-Flag auf AUS gesetzt und die Regelungsroutine beendet.

Wirkung und Effekt

[0052] Im Übrigen kann in der ersten Ausführungsform bei einem Kaltstart des Verbrennungsmotors 1, das heißt, wenn die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators niedrig ist, der Abgasreinigungskatalysator 44 das NO_x nicht ausreichend entfernen. Daher ist es beim Kaltstart des Verbrennungsmotors 1 notwendig, das NO_x in dem von dem Abgasreinigungskatalysator 44 ausströmenden Abgas an der Kathodenschicht 77 des Reaktors 45 zu halten.

[0053] Hingegen ist die Fähigkeit der Kathodenschicht 77 des Reaktors 45, NO_x zu halten, umso größer, je kleiner die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x ist. Umgekehrt kann, wenn die Kathodenschicht 77 eine große Menge an NO_x hält, die Kathodenschicht 77 kein weiteres NO_x halten und demzufolge kein weiteres NO_x in dem Abgas an der Kathodenschicht 77 gehalten werden.

[0054] Gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist es durch wenigstens vorübergehende Zufuhr von Strom zu dem Reaktor 45 bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 möglich, die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 zu reduzieren. Daher ist beim Kaltstart des Verbrennungsmotors 1 die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x kleiner und daher die Kapazität der Kathodenschicht 77, das NO_x zu halten, groß. Daher ist es beim Kaltstart des Verbrennungsmotors 1 selbst dann, wenn die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 gering ist und er somit NO_x nicht ausreichend entfernen kann, möglich, dass die Kathodenschicht 77 des

Reaktors 45 NO_x hält. Ferner wird das an der Kathodenschicht 77 gehaltene NO_x durch Zufuhr von Strom zu dem Reaktor 45 entfernt.

Modifikation

[0055] In der obigen ersten Ausführungsform wurde dem Reaktor 45 bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 unabhängig von der Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 Strom zugeführt. Jedoch kann selbst dann, wenn der Verbrennungsmotor 1 gestoppt ist und dann neu gestartet wird, während die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 mindestens so hoch wie die Aktivierungstemperatur ist, der Abgasreinigungskatalysator 44 das NO_x reinigen. Daher besteht nicht wirklich die Notwendigkeit, die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x zu verringern. Daher ist die Stromsteuerungsvorrichtung gemäß einer Modifikation der ersten Ausführungsform so ausgelegt, dass sie dem Reaktor 45 selbst bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 Strom zuführt, wenn die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 mindestens so hoch wie die Aktivierungstemperatur ist.

[0056] Fig. 7 ist, gemäß der vorliegenden Modifikation, ein Zeitdiagramm, ähnlich wie Fig. 5, der Zeit, wenn dem Reaktor 45 Strom zugeführt wird. Auch in dem in Fig. 7 gezeigten Beispiel, ebenso wie in dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel, wird der Verbrennungsmotor 1 zum Zeitpunkt t_3 gestoppt. Jedoch ist zu diesem Zeitpunkt die Temperatur des Verbrennungsmotors 1 mindestens so hoch wie die Aktivierungstemperatur T_{act} , so dass dem Reaktor 45 kein Strom zugeführt wird. Anschließend, wenn zum Zeitpunkt t_4 die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 niedriger als die Aktivierungstemperatur T_{act} wird, wird die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestartet. Ferner wird, wenn dem Reaktor 45 gerade Strom zugeführt wird und zum Zeitpunkt t_5 die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x auf etwa null abgenommen hat (gleich groß wie oder kleiner als minimale Menge Q_{min}), die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestoppt.

[0057] Fig. 8 ist ein Flussdiagramm, das eine Regelungsroutine zum Regeln der Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 in dem Verbrennungsmotor 1 gemäß der Modifikation der ersten Ausführungsform zeigt. Die gezeigte Regelungsroutine wird in vorbestimmten Zeitintervallen ausgeführt. Schritte S31 bis S33 von Fig. 8 entsprechen den Schritten S11 bis S13 von Fig. 6, während Schritte S36 bis S42 von Fig. 8 Schritten S15 bis S21 von Fig. 6 entsprechen, so dass diese Schritte hier nicht beschrieben sind.

[0058] Wie es in Fig. 8 gezeigt ist, fährt die Routine mit Schritt S34 fort, wenn in Schritt S33 beurteilt wird, dass das Reinigungs-Flag auf AUS gesetzt ist. In Schritt S34 wird beurteilt, ob NO_x in dem Reaktor

45 entfernt worden ist, während der Verbrennungsmotor 1 momentan gestoppt ist, das heißt, ob dem Reaktor 45 Strom bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 zugeführt wurde. Wenn in Schritt S34 beurteilt wird, dass das Abgas in dem Reaktor 45 entfernt worden ist, wird die Regelungsroutine beendet. Wenn hingegen in Schritt S34 beurteilt wird, dass das Abgas bei momentan gestopptem Verbrennungsmotor 1 nicht in dem Reaktor 45 entfernt worden ist, fährt die Routine mit Schritt S35 fort.

[0059] In Schritt S35 wird beurteilt, ob die durch den Temperatursensor 64 erfasste Temperatur T_{ct} des Abgasreinigungskatalysators 44 niedriger als die Aktivierungstemperatur T_{act} ist. Wenn beurteilt wird, dass die Temperatur T_{ct} des Abgasreinigungskatalysators 44 mindestens so hoch wie die Aktivierungstemperatur T_{act} ist, wird die Regelungsroutine beendet. Wenn hingegen beurteilt wird, dass die Temperatur T_{ct} des Abgasreinigungskatalysators 44 niedriger als die Aktivierungstemperatur T_{act} ist, fährt die Routine mit Schritt S36 fort. Es ist zu beachten, dass die Temperatur T_{ct} des Abgasreinigungskatalysators 44 geschätzt werden kann, ohne den Temperatursensor 64 zu verwenden, zum Beispiel durch die durch den Lastsensor 67 erfasste Motorlast oder durch die Motordrehzahl.

Zweite Ausführungsform

[0060] Nachfolgend ist ein Verbrennungsmotor 1 gemäß einer zweiten Ausführungsform mit Bezug auf die Fig. 9 bis Fig. 12 erläutert. Die Konfiguration und Steuerung des Verbrennungsmotors 1 gemäß der zweiten Ausführungsform ist im Wesentlichen gleich der Konfiguration und Steuerung des Verbrennungsmotors 1 gemäß der ersten Ausführungsform. In der nachfolgenden Erläuterung liegt der Fokus auf den von dem Verbrennungsmotor 1 gemäß der ersten Ausführungsform verschiedenen Teilen.

[0061] In der obigen ersten Ausführungsform führt die Stromsteuerungsvorrichtung dem Reaktor 45 nur Strom zu bei gestopptem Verbrennungsmotor 1. Im Gegensatz dazu führt in der vorliegenden Ausführungsform die Stromsteuerungsvorrichtung dem Reaktor 45 selbst im Betrieb des Verbrennungsmotors 1 wenigstens vorübergehend Strom zu.

Steuerung des elektrochemischen Reaktors

[0062] Fig. 9 ist ein Zeitdiagramm ähnlich wie Fig. 7 des Verbrennungsmotors 1 gemäß der zweiten Ausführungsform. Auch in dem in Fig. 9 gezeigten Beispiel wird der Verbrennungsmotor 1 zum Zeitpunkt t_1 bei niedriger Temperatur gestartet. Daher ist zum Zeitpunkt t_1 die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 geringer als die Aktivierungstemperatur T_{act} .

[0063] Wenn zum Zeitpunkt t_1 der Verbrennungsmotor 1 gestartet wird, strömt Abgas, das NO_x enthält, in den Reaktor 45, da die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 gering ist, und das NO_x in dem Abgas wird an der Kathodenschicht 77 gehalten. Ferner wird in der vorliegenden Ausführungsform zum Zeitpunkt t_1 die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestartet. Daher wird das an der Kathodenschicht 77 gehaltene NO_x entfernt.

[0064] Hier in der vorliegenden Ausführungsform wird ein Strom, der kleiner als der Strom ist, durch den das gesamte, an der Kathodenschicht 77 gehaltene NO_x von dem Abgas entfernt wird, dem Reaktor 45 zugeführt. Daher nimmt die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x allmählich zu, obwohl ein Teil des an der Kathodenschicht 77 gehaltenen NO_x entfernt wird.

[0065] Anschließend, wenn zum Zeitpunkt t_2 die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 die Aktivierungstemperatur erreicht, wird das NO_x in dem Abgas an dem Abgasreinigungskatalysator 44 entfernt. Daher enthält das Abgas, das in den Reaktor 45 strömt, fast überhaupt kein NO_x . Hingegen reagieren in dem Reaktor 45, der die protonenleitende Festelektrolytschicht 75 umfasst, wenn die Temperatur höher wird, an der Kathodenschicht 77 Protonen mit dem Sauerstoff stärker als das NO_x . Aus diesem Grund fällt, wenn die Temperatur des Reaktors 45 höher ist, die Entfernungsrates von NO_x relativ zu dem dem Reaktor 45 zugeführten Strom. Daher wird in der vorliegenden Ausführungsform, wenn die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 gleich hoch oder höher als die Aktivierungstemperatur wird, die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestoppt. Daher ändert sich nach dem Zeitpunkt t_2 die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x nicht.

[0066] In dem in **Fig. 9** gezeigten Beispiel wird dann, zum Zeitpunkt t_3 , der Verbrennungsmotor 1 gestoppt. Zum Zeitpunkt t_4 wird die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 niedriger als die Aktivierungstemperatur T_{act} . Aus diesem Grund wird zum Zeitpunkt t_4 die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestartet. Der zu diesem Zeitpunkt dem Reaktor 45 zugeführte Strom ist kleiner als der dem Reaktor 45 vom Zeitpunkt t_1 zum Zeitpunkt t_2 zugeführte Strom. Ferner wird zum Zeitpunkt t_5 , wenn die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenen NO_x im Wesentlichen null wird, die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestoppt.

[0067] **Fig. 10** ist ein Flussdiagramm, das die Regelungsroutine zur Regelung der Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 in dem Verbrennungsmotor 1 gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt. Die gezeigte Regelungsroutine wird in vorbestimmten Zeitintervallen ausgeführt. Schritte S51 bis S62 von **Fig. 10** entspre-

chen den Schritten S31 bis S42 von **Fig. 8** und sind daher hier nicht erläutert.

[0068] Wie es in **Fig. 10** gezeigt ist, fährt die Routine mit Schritt S63 fort, wenn in Schritt S52 beurteilt wird, dass der Verbrennungsmotor 1 in Betrieb ist. In Schritt S63 wird dem Reaktor 45 durch die in **Fig. 11** gezeigte Betriebsregelung Strom zugeführt.

[0069] **Fig. 11** ist ein Flussdiagramm, das die Betriebsregelung der in Schritt S63 von **Fig. 10** durchgeführten Regelungsroutine zeigt. Die in **Fig. 11** gezeigte Regelungsroutine wird immer dann durchgeführt, wenn die Regelungsroutine von **Fig. 10** Schritt S63 erreicht.

[0070] Zuerst werden in Schritt S71 die Temperatur T_c des Abgasreinigungskatalysators 44 und die Strömungsrate m_c der Ansaugluft des Verbrennungsmotors 1 ermittelt. Die Temperatur T_c des Abgasreinigungskatalysators 44 wird durch den Temperatursensor 64 erfasst, während die Strömungsrate m_c der Ansaugluft des Verbrennungsmotors 1 durch den Strömungsratesensor 61 erfasst wird.

[0071] Nachfolgend wird in Schritt S72 beurteilt, ob die Temperatur T_c des Abgasreinigungskatalysators 44 niedriger als die Aktivierungstemperatur T_{act} ist. Wenn in Schritt S72 beurteilt wird, dass die Temperatur T_c des Abgasreinigungskatalysators 44 niedriger als die Aktivierungstemperatur T_{act} ist, fährt die Routine mit Schritt S73 fort.

[0072] In Schritt S73 wird der dem Reaktor 45 zugeführte Strom auf der Grundlage der in Schritt S71 ermittelten Strömungsrate m_c der Ansaugluft des Verbrennungsmotors 1 geregelt. Wenn die Strömungsrate m_c der Ansaugluft groß ist, ist die Strömungsrate des Abgases groß, so dass das NO_x , das in den Reaktor 45 strömt, zunimmt. Daher ist in der vorliegenden Ausführungsform der dem Reaktor 45 zugeführte Strom umso größer, je größer die Strömungsrate m_c der Ansaugluft ist. Ferner ist in der vorliegenden Ausführungsform der dem Reaktor 45 in Schritt S73 zugeführte Strom größer als der dem Reaktor 45 in den Schritten S57 und S60 von **Fig. 10** zugeführte Strom. Wenn hingegen in Schritt S72 beurteilt wird, dass die Temperatur T_c des Abgasreinigungskatalysators 44 mindestens so hoch wie die Aktivierungstemperatur T_{act} ist, fährt die Routine mit Schritt S74 fort. In Schritt S74 wird die Stromzufuhr zu dem Abgasreinigungskatalysator 44 gestoppt und die Regelungsroutine beendet.

[0073] Es ist zu beachten, dass in der vorliegenden Ausführungsform der dem Reaktor 45 zugeführte Strom in Übereinstimmung mit der Strömungsrate m_c der Ansaugluft geregelt wird. Jedoch kann der dem Reaktor 45 zugeführte Strom auf der Grundlage

weiterer Parameter geändert werden. Insbesondere zum Beispiel kann der Luft-Kraftstoff-Sensor 62 das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Abgases erfassen, und der dem Reaktor 45 zugeführte Strom kann auf der Grundlage des erfassten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses des Abgases geregelt werden. In diesem Fall, wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Abgases ein fettes Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist, ist die Konzentration an NO_x in dem Abgas gering, so dass der dem Reaktor 45 zugeführte Strom kleiner eingestellt wird, während, wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Abgases ein mageres Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist, die Konzentration an NO_x in dem Abgas hoch ist, und so dass der dem Reaktor 45 zugeführte Strom größer eingestellt werden kann.

Eigenschaften des elektrochemischen Reaktors

[0074] Nachfolgend sind die Eigenschaften des wie es oben erläutert konfigurierten Reaktors 45 mit Bezug auf die **Fig. 12A** und **Fig. 12B** einfach erläutert. **Fig. 12A** ist eine Ansicht, die schematisch die Reaktion zeigt, die um eine Trennwand 71 auftritt, wenn der dem Reaktor 45 zugeführte Strom klein ist. **Fig. 12B** ist eine Ansicht, die schematisch die Reaktion zeigt, die um eine Trennwand 71 auftritt, wenn der dem Reaktor zugeführte Strom groß ist.

[0075] Wie es in **Fig. 12A** gezeigt ist, bewegt sich, wenn der zugeführte Strom klein ist, eine kleine Menge an Protonen von der Anodenschicht 76 durch die Festelektrolytschicht 75 zu der Kathodenschicht 77. Daher reagieren fast alle Protonen, die sich zu der Kathodenschicht 77 bewegen, mit dem in der Kathodenschicht 77 gehaltenen NO , wodurch N_2 gebildet wird.

[0076] Hingegen bewegen sich, wie es in **Fig. 12B** gezeigt ist, wenn der zugeführte Strom groß ist, eine große Menge an Protonen von der Anodenschicht 76 durch die Festelektrolytschicht 75 zu der Kathodenschicht 77. Daher ist die Entfernungsrates des NO an der Kathodenschicht 77 etwa höher verglichen damit, wenn der zugeführte Strom klein ist. Jedoch reagiert ein Teil der Protonen, die sich zu der Kathodenschicht 77 bewegen, nicht mit dem an der Kathodenschicht 77 gehaltenen NO und wird als Wassermoleküle in das Abgas abgegeben. Daher werden, wenn der zugeführte Strom groß ist, mehr als die notwendigen Protonen von den an der Anodenschicht 76 gehaltenen Wassermoleküle erzeugt.

[0077] In der vorliegenden Ausführungsform wird von dem Zeitpunkt t_1 zu dem Zeitpunkt t_2 von **Fig. 9** ein Strom, der kleiner als der Strom ist, bei dem das gesamte in der Kathodenschicht 77 gehaltene NO_x von dem Abgas entfernt wird, dem Reaktor 45 zugeführt. Daher ist es möglich, wie es in **Fig. 12B** gezeigt ist, das NO_x ohne übermäßige Bewegung von Protonen wirksam zu entfernen.

[0078] Hingegen wird von dem Zeitpunkt t_1 zu dem Zeitpunkt t_2 das an der Kathodenschicht 77 gehaltene NO_x nicht vollständig entfernt. Daher bleibt, wenn der Verbrennungsmotor 1 gestoppt wird, NO_x in der Kathodenschicht 77, aber durch den dem Reaktor 45 bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 zugeführten Strom, kann das in der Kathodenschicht 77 verbleibende NO_x entfernt werden. Insbesondere ist der dem Reaktor 45 bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 zugeführte Strom verglichen mit dem, wenn der Verbrennungsmotor 1 in Betrieb ist, kleiner, so dass, wie es in **Fig. 12B** gezeigt ist, die Protonen, die sich durch die Festelektrolytschicht 75 bewegen, daran gehindert werden, als Wassermoleküle in das Abgas abgegeben zu werden.

Dritte Ausführungsform

[0079] Nachfolgend ist ein Verbrennungsmotor 1 gemäß einer dritten Ausführungsform mit Bezug auf **Fig. 13** erläutert. Die Konfiguration und Steuerung des Verbrennungsmotors 1 gemäß der dritten Ausführungsform sind im Wesentlichen gleich den Konfigurationen und Steuerungen der Verbrennungsmotoren 1 gemäß der ersten und der zweiten Ausführungsform. Der Fokus der nachfolgenden Beschreibung ist auf die Teile gerichtet, die von denen der Verbrennungsmotoren 1 gemäß der ersten und der zweiten Ausführungsformen verschieden sind.

[0080] Wie es in **Fig. 13** gezeigt ist, umfasst in der vorliegenden Ausführungsform das Abgassystem 40 in Richtung des Abgasstroms strömungsaufwärtsseitig des Reaktors 45 einen Außenluft-Einleitungsmechanismus 85, der Außenluft in den Abgaskanal einleitet. Der Außenluft-Einleitungsmechanismus 85 umfasst ein Außenluft-Einleitungsrohr 86, das in Richtung des Abgasstroms strömungsabwärtsseitig des Abgasreinigungskatalysators 44 und strömungsaufwärtsseitig des Reaktors 45 mit dem Abgasrohr 42 verbunden ist, und eine Ein-/Aus-Ventil 87, das an dem Außenluft-Einleitungsrohr 86 angeordnet ist.

[0081] Eine Ende des Außenluft-Einleitungsrohrs 86 ist mit dem Abgasrohr 42 verbunden, und sein weiteres Ende ist zur Atmosphäre offen. Ferner öffnet und schließt das Ein-/Aus-Ventil 87 das Außenluft-Einleitungsrohr 86. Daher wird, wenn das Ein-/Aus-Ventil 87 geöffnet ist, Außenluft in das Abgasrohr 42 strömungsabwärtsseitig des Abgasreinigungskatalysators 44 und strömungsaufwärtsseitig des Reaktors 45 eingeleitet. Hingegen wird keine Außenluft in das Abgasrohr 42 eingeleitet, wenn das Ein-/Aus-Ventil 87 geschlossen ist. Es ist zu beachten, dass das Ein-/Aus-Ventil 87 durch die entsprechende Steuerungschaltung 59 mit dem Ausgangsport 57 der ECU 51 verbunden wird. Daher wird die Operation des Ein-/Aus-Ventils 87 durch die ECU 51 gesteuert.

[0082] In dem auf diese Weise konfigurierten Verbrennungsmotor 1 ist das Ein-/Aus-Ventil 87 wenigstens vorübergehend geöffnet, während der Verbrennungsmotor 1 gestoppt ist und Außenluft in das Abgasrohr 42 eingeleitet wird. Insbesondere ist zum Beispiel das Ein-/Aus-Ventil 87 konstant ständig, während der Verbrennungsmotor 1 gestoppt ist.

[0083] Ferner wird, wenn das Ein-/Aus-Ventil 87 geöffnet ist, Außenluft in den Reaktor 45 eingeleitet. Daher hält die Kathodenschicht 77 des Reaktors 45 das NO_x in der Außenluft. Daher wird in der vorliegenden Ausführungsform die Menge an durch das offene Ein-/Aus-Ventil 87 an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x geschätzt, und wenn die geschätzte Menge an gehaltenem NO_x gleich groß wie oder größer als eine vorbestimmte Reinigungssartmenge ist, wird dem Reaktor 45 Strom zugeführt, um das gehaltene NO_x zu entfernen. Dadurch kann gemäß der vorliegenden Ausführungsform das NO_x in der Atmosphäre entfernt werden.

[0084] Es ist zu beachten, dass die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x zum Beispiel auf der Grundlage der Öffnungszeit des Ein-/Aus-Ventils 87, der Geschwindigkeit des Fahrzeugs, in dem der Verbrennungsmotor 1 eingebaut ist, während das Ein-/Aus-Ventil 87 offen ist, etc. geschätzt wird. Je länger die Öffnungszeit des Ein-/Aus-Ventils 87 oder je höher die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist, desto größer ist die berechnete Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x .

[0085] Ferner muss das Ein-/Aus-Ventil 87 bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 nicht notwendigerweise ständig geöffnet sein. Zum Beispiel kann es geöffnet sein, während der Verbrennungsmotor 1 gestoppt ist und sich das Fahrzeug, in dem der Verbrennungsmotor 1 eingebaut ist, bewegt. Wenn sich das Fahrzeug bewegt, wird Außenluft leicht von dem Außenluft-Einleitungsrohr 86 eingeleitet, so dass es möglich ist, das NO_x wirksam in der Außenluft zu halten, indem das Ein-/Aus-Ventil 87 nur während der Bewegung des Fahrzeugs geöffnet ist

Vierte Ausführungsform

[0086] Nachfolgend ist ein Fahrzeug 100 gemäß einer vierten Ausführungsform mit Bezug auf die **Fig. 14** und **Fig. 15** erläutert. Die Konfiguration und Steuerung eines Verbrennungsmotors 1, der in dem Fahrzeug 100 gemäß der vierten Ausführungsform verwendet wird, sind im Wesentlichen gleich den Konfigurationen und Steuerungen der Verbrennungsmotoren 1 gemäß der ersten bis dritten Ausführungsformen.

[0087] **Fig. 14** ist eine Ansicht, die schematisch ein Hybridfahrzeug (nachfolgend einfach als das „Fahrzeug“ bezeichnet) 100 gemäß der vierten Ausführungsform zeigt. Das Fahrzeug 100 umfasst den Verbrennungsmotor 1, einen ersten Motorgenerator 101, einen zweiten Motorgenerator 102 und einen Leistungsteilungsmechanismus 103. Ferner umfasst das Fahrzeug 100 eine Leistungssteuerungs- bzw. regelungseinheit (PCU) 104, die elektrisch mit dem ersten Motorgenerator 101 und dem zweiten Motorgenerator 102 verbunden ist, eine Batterie 105, die elektrisch mit der PCU 104 verbunden ist, und einen fahrzeugseitigen Verbinder 106.

[0088] Die Ausgangswelle (Kurbelwelle) des Verbrennungsmotors 1 ist mechanisch mit dem Leistungsteilungsmechanismus 103 gekoppelt. Die durch den Verbrennungsmotor 1 erzeugte Leistung wird dem Leistungsteilungsmechanismus 103 zugeführt.

[0089] Der erste Motorgenerator 101 ist an seiner Eingangs-/Ausgangswelle mechanisch mit dem Leistungsteilungsmechanismus 103 und elektrisch mit der PCU 104 verbunden. Wenn die elektrische Leistung von der PCU 104 zugeführt wird, wird der erste Motorgenerator 101 durch diese elektrische Leistung angetrieben und Leistung zu dem Leistungsteilungsmechanismus 103 ausgegeben. Daher arbeitet zu diesem Zeitpunkt der erste Motorgenerator 101 als ein Motor.

[0090] Hingegen wird, wenn dem ersten Motorgenerator 101 Leistung von dem Leistungsteilungsmechanismus 103 zugeführt wird, der erste Motorgenerator 101 durch diese Leistung angetrieben und erzeugt elektrische Leistung. Die erzeugte elektrische Leistung wird durch die PCU 104 der Batterie 105 zugeführt, so dass die Batterie 105 geladen wird. Daher arbeitet zu diesem Zeitpunkt der erste Motorgenerator 101 als ein Generator. Es ist zu beachten, dass der erste Motorgenerator 101 ein Generator sein kann, der nicht als Elektromotor arbeitet.

[0091] Der zweite Motorgenerator 102 ist an seiner Eingangs-/Ausgangswelle mechanisch mit dem Leistungsteilungsmechanismus 103 und elektrisch mit der PCU 104 verbunden. Wenn elektrische Leistung von der PCU 104 zugeführt wird, wird der zweite Motorgenerator 102 durch diese elektrische Leistung angetrieben und Leistung wird zu dem Leistungsteilungsmechanismus 103 ausgegeben. Daher arbeitet der zweite Motorgenerator 102 zu diesem Zeitpunkt als ein Motor.

[0092] Hingegen wird, wenn dem zweiten Motorgenerator 102 die gesamte Leistung von dem Leistungsteilungsmechanismus 103 zugeführt wird, der

zweite Motorgenerator 102 durch diese Leistung angetrieben und erzeugt elektrische Leistung. Die erzeugte elektrische Leistung wird durch die PCU 104 der Batterie 105 zugeführt, wodurch die Batterie 105 geladen wird. Daher arbeitet zu diesem Zeitpunkt der zweite Motorgenerator 102 als ein Generator. Es ist zu beachten, dass der zweite Motorgenerator 102 auch ein Elektromotor sein kann, der nicht als ein Generator arbeitet.

[0093] Der Leistungsteilungsmechanismus 103 ist mechanisch mit dem Verbrennungsmotor 1, dem ersten Motorgenerator 101 und dem zweiten Motorgenerator 102 gekoppelt. Ferner ist der Leistungsteilungsmechanismus 103 mit einer Antriebswelle 107 gekoppelt, während die Antriebswelle 107 durch ein Differenzialgetriebe 108 mit den Fahrzeugrädern 109 gekoppelt ist.

[0094] Die PCU 104 umfasst einen Inverter, einen DC-DC-Konverter, etc. und ist elektrisch mit dem ersten Motorgenerator 101, dem zweiten Motorgenerator 102 und der Batterie 105 verbunden. Die PCU 104 steuert den ersten Motorgenerator 101, den zweiten Motorgenerator 102 und Batterie 105 und wandelt die von der Batterie 105 diesen Motorgeneratoren 101, 102 zugeführte elektrische Leistung oder die von den Motorgeneratoren 101, 102 zu der Batterie 105 gelieferte elektrische Leistung um. Ferner ist die PCU 104 mit der ECU 50 verbunden und wird durch die ECU 50 gesteuert.

[0095] Die Batterie 105 ist elektrisch mit der PCU 104 verbunden und speichert elektrische Leistung. Wenn der erste Motorgenerator 101 oder der zweite Motorgenerator 102 durch die von dem Leistungsteilungsmechanismus 103 zugeführte Leistung angetrieben wird, wird die Batterie 105 durch die PCU 104 geladen. Wenn hingegen der erste Motorgenerator 101 oder der zweite Motorgenerator 102 Leistung zu dem Leistungsteilungsmechanismus 103 ausgibt, liefert die Batterie 105 elektrische Leistung durch die PCU 104 zu dem ersten Motorgenerator 101 oder dem zweiten Motorgenerator 102.

[0096] Ferner fungiert in der vorliegenden Ausführungsform die Batterie 105 als ein Stromversorgungssystem 81, das dem Reaktor 45 Strom zuführt. Daher führt die Batterie 105 dem Reaktor 45 Strom zu.

[0097] Der fahrzeugseitige Verbinder 106 ist ein Verbinder zur Verbindung mit der externen Leistungsquelle 110. Der fahrzeugseitige Verbinder 106 ist elektrisch mit der PCU 104 verbunden. Ferner ist der fahrzeugseitige Verbinder 106 dazu geeignet, mit einem außenseitigen Verbinder 111 verbunden zu werden, der elektrisch mit der externen Leistungsquelle 110 verbunden ist. Wenn der fahrzeugseitige Verbinder 106 mit dem außenseitigen Verbinder 111

verbunden ist, wird die Batterie 105 von der externen Leistungsquelle 110 über diesen fahrzeugseitigen Verbinder 106 und den außenseitigen Verbinder 111 und die PCU 104 geladen. Daher ist das Fahrzeug 100 dazu geeignet, die Batterie 105 durch die externe Leistungsquelle 110 zu laden.

[0098] In dem so ausgelegten Fahrzeug 100 ist es möglich, wenn dem ersten Motorgenerator 101 oder dem zweiten Motorgenerator 102 ein Teil der gesamten oder die gesamte durch den Verbrennungsmotor 1 gewonnene Leistung zugeführt wird, die elektrische Leistung durch den ersten Motorgenerator 101 oder den zweiten Motorgenerator 102 zu erzeugen. Mit der durch die Leistungserzeugung gewonnene elektrische Leistung wird durch die PCU 104 die Batterie 105 geladen, oder sie wird dem Motorgenerator von dem ersten Motorgenerator 101 und dem zweiten Motorgenerator 102 zugeführt, der keine elektrische Leistung erzeugt. Daher ist das Fahrzeug 100 so ausgelegt, dass die Batterie 105 durch die durch den Verbrennungsmotor 1 erzeugte elektrische Leistung geladen wird. Ferner kann diese Leistung verwendet werden, um die Fahrzeugräder 109 zu drehen, wenn der Antriebswelle 107 ein Teil der oder die gesamte durch der Verbrennungsmotor 1 gewonnene Leistung zugeführt wird.

[0099] Ferner ist das Fahrzeug 100 dazu geeignet, die von der Batterie 105 zugeführte elektrische Leistung zu verwenden, um den ersten Motorgenerator 101 oder den zweiten Motorgenerator 102 anzutreiben. Die durch Antrieb des ersten Motorgenerator 101 oder des zweiten Motorgenerators 102 gewonnene Leistung kann dem Verbrennungsmotor 1 zugeführt werden. Daher ist es möglich, diese Leistung zum Start des gestoppten Verbrennungsmotors 1 zu verwenden. Ferner ist es möglich, wenn die gesamte durch den ersten Motorgenerator 101 oder den zweiten Motorgenerator 102 gewonnene Leistung der Antriebswelle 107 zugeführt wird, diese Leistung zum Drehen der Fahrzeugräder 109 zu verwenden.

Steuerung des elektrochemischen Reaktors

[0100] Im Übrigen nimmt in dem Fall, in dem, ebenso wie in der vorliegenden Ausführungsform, der Reaktor 45 mit der Batterie 105 verbunden ist, wenn dem Reaktor 45 bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 ein elektrischer Strom zugeführt wird, die Ist-Kapazität der Batterie 105 ab. Die Batterie 105 wird auch verwendet, um den Motorgeneratoren 101, 102 elektrische Leistung zuzuführen, so dass, wenn die Ist-Kapazität der Batterie 105 zu stark abfällt, die durch die Motorgeneratoren 101, 102 mögliche Fahrstrecke kürzer. Daher wird in der vorliegenden Ausführungsform, selbst bei gestopptem Verbrennungsmotor 1, wenn die Ist-Kapazität (SOC; engl. „state of charge“) der Batterie 105 gleich groß wie oder kleiner

als ein vorbestimmter Referenzwert ist, dem Reaktor 45 kein Strom zugeführt.

[0101] Fig. 15 ist ein Flussdiagramm, das eine Regelungsroutine zum Regeln der Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 in dem Fahrzeug 100 gemäß der vierten Ausführungsform zeigt. Die gezeigte Regelungsroutine wird in vorbestimmten Zeitintervallen ausgeführt. Schritte S81 bis S86 von Fig. 15 entsprechen ähnlichen Schritten S31 bis S36 von Fig. 8, während Schritte S88 bis S93 von Fig. 15 ähnlichen Schritten S37 bis S42 von Fig. 8 entsprechen. Diese Schritte sind daher hier nicht beschrieben.

[0102] Wie es in Fig. 15 gezeigt ist, fährt, wenn in Schritt S86 beurteilt wird, dass die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} gleich groß wie oder größer als eine vorbestimmte Referenzmenge Q_{ref} ist, die Routine mit Schritt S87 fort. In Schritt S87 wird beurteilt, ob die Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 höher als ein vorbestimmter Referenzwert B_{sref} ist. Der Referenzwert B_{sref} ist zum Beispiel auf 50% eingestellt. Wenn in Schritt S87 beurteilt wird, dass die Ist-Kapazität B_s der Batterie gleich groß wie oder kleiner als der Referenzwert ist, endet die Regelungsroutine. Wenn hingegen in Schritt S87 beurteilt wird, dass die Ist-Kapazität der Batterie 105 höher als der Referenzwert ist, fährt die Routine mit Schritt S88 fort.

[0103] Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird, wenn die Ist-Kapazität der Batterie 105 gering ist, dem Reaktor 45 kein elektrischer Strom zugeführt, so dass verhindert wird, dass die Ist-Kapazität der Batterie 105 übermäßig abfällt, während der Verbrennungsmotor 1 gestoppt ist.

Modifikation

[0104] Nachfolgend ist eine erste Modifikation der vierten Ausführungsform mit Bezug auf die Fig. 16 und Fig. 17 erläutert. In der vorliegenden Modifikation wird dem Reaktor 45 bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 ein elektrischer Strom zugeführt, wenn die Batterie 105, die mit der externen Leistungsquelle 110 verbunden ist, durch den fahrzeugseitigen Verbinder 106 über einen außenseitigen Verbinder 111 geladen wird.

[0105] Fig. 16 ist ein Zeitdiagramm eines Verbindungszustands der externen Leistungsquelle 110, des Betriebszustands des Verbrennungsmotors 1, der Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44, der Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x , der Ist-Kapazität (SOC) der Batterie 105 und des dem Reaktor 45 zugeführten elektrischen Stroms.

[0106] In dem in Fig. 16 gezeigten Beispiel wird zum Zeitpunkt t_1 der Verbrennungsmotor 1 gestoppt, so dass nach dem Zeitpunkt t_1 die Temperatur des

Abgasreinigungskatalysators 44 sinkt. Jedoch ist nach dem Zeitpunkt t_1 die Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 geringer als der Referenzwert B_{sref} , so dass dem Reaktor 45 kein Strom zugeführt wird.

[0107] Anschließend, wenn zum Zeitpunkt t_2 der fahrzeugseitige Verbinder 106 mit der externen Leistungsquelle 110 verbunden wird, wird in der vorliegenden Ausführungsform selbst dann, wenn die Ist-Kapazität der Batterie 105 gleich hoch oder niedriger als der Referenzwert B_{sref} ist, dem Reaktor 45 Strom zugeführt. Zu diesem Zeitpunkt ist der dem Reaktor 45 zugeführte Strom klein, so dass selbst dann, wenn dem Reaktor 45 ein Strom zugeführt wird, die Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 allmählich ansteigt.

[0108] In dem gezeigten Beispiel wird anschließend, zum Zeitpunkt t_3 , die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x im Wesentlichen null und daher die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestoppt. Dadurch wird nach dem Zeitpunkt t_3 die Geschwindigkeit des Anstiegs der Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 höher, und zum Zeitpunkt t_4 ist das Laden der Batterie 105 beendet.

[0109] Es ist zu beachten, dass in der obigen ersten Modifikation, unabhängig von der Ist-Kapazität der Batterie 105, wenn sie mit der externen Leistungsquelle 110 verbunden ist, dem Reaktor 45 Strom zugeführt. Jedoch ist es bei geringer Ist-Kapazität der Batterie 105, um dem Laden der Batterie 105 Priorität einzuräumen, auch möglich, dem Reaktor 45 selbst dann keinen Strom zuzuführen, wenn er mit der externen Leistungsquelle 110 verbunden ist, sofern die Ist-Kapazität der Batterie 105 gleich groß wie oder kleiner als ein bestimmter Referenzwert ist (der ein Wert ist, der gleich oder verschieden von dem Referenzwert B_{sref} ist).

[0110] Fig. 17 ist ein Flussdiagramm, das eine Regelungsroutine zum Regeln der Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 in dem Fahrzeug 100 gemäß einer ersten Modifikation der vierten Ausführungsform zeigt. Die gezeigte Regelungsroutine wird in vorbestimmten Zeitintervallen ausgeführt. Schritte S101 bis S106 von Fig. 17 entsprechen Schritten S81 bis S86 von Fig. 15, während Schritte S108 bis S111 von Fig. 17 Schritten S87 bis S90 von Fig. 15 entsprechen. Diese Schritte sind daher hier nicht erläutert.

[0111] Wenn in Schritt S106 beurteilt wird, dass die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} gleich groß wie oder größer als eine vorbestimmte Referenzmenge Q_{ref} ist, fährt die Routine mit Schritt S107 fort. In Schritt S107 wird beurteilt, ob die Batterie 105 mit einer externen Leistungsquelle 110 verbunden ist. Wenn beurteilt wird, dass sie mit einer externen Leistungsquelle 110 verbunden ist, fährt die Routine mit Schritt S109 fort, während sie mit Schritt S108 fortfährt,

wenn beurteilt wird, dass sie nicht mit der externen Leistungsquelle 110 verbunden ist.

[0112] Ferner fährt die Routine mit Schritt S112 fort, wenn in Schritt S111 beurteilt wird, dass das gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} größer als die minimale Menge Q_{min} ist. In Schritt S112 wird beurteilt, ob die Batterie 105 mit einer externen Leistungsquelle 110 verbunden ist. Wenn beurteilt wird, dass sie mit einer externen Leistungsquelle 110 verbunden ist, fährt die Routine mit Schritt S114 fort, während sie mit Schritt S113 fortfährt, wenn beurteilt wird, dass sie nicht mit der externen Leistungsquelle 110 verbunden ist.

[0113] In Schritt S113 wird beurteilt, ob die Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 höher als ein vorbestimmter Referenzwert B_{ref} ist. Wenn beurteilt wird, dass die Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 höher als der Referenzwert B_{ref} ist, fährt die Routine mit Schritt S114 fort, in dem die Zufuhr von Leistung zu dem Reaktor 45 fortgesetzt wird. Wenn hingegen in Schritt S113 beurteilt wird, dass die Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 gleich groß wie oder kleiner als der Referenzwert B_{ref} ist, fährt die Routine mit Schritt S116 fort, und die Zufuhr von Leistung zu dem Reaktor 45 wird gestoppt.

[0114] Wenn hingegen in Schritt S111 beurteilt wird, dass die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} gleich groß wie oder kleiner als die minimale Menge Q_{min} ist, fährt die Routine mit Schritt S115 fort. In Schritt S115 wird das Reinigungs-Flag auf AUS gesetzt, woraufhin die Routine mit Schritt S116 fortfährt und die Zufuhr von Leistung zu dem Reaktor 45 gestoppt wird.

[0115] Nachfolgend ist eine zweite Modifikation der vierten Ausführungsform mit Bezug auf die **Fig. 18** und **Fig. 19** erläutert. Im Übrigen, wie es oben erläutert ist, umfasst das Fahrzeug 100 die Motorgeneratoren 101, 102, die bei einer Verzögerung des Fahrzeugs 100 verwendet werden können, um die kinetische Energie des Fahrzeugs rückzugewinnen und die Batterie 105 zu laden. Daher wird in der zweiten Modifikation dem Reaktor 45 bei gestopptem Verbrennungsmotor 1 Strom zugeführt, sofern bei einer Verzögerung des Fahrzeugs 100 durch die Motorgeneratoren 101, 102 Leistung erzeugt wird.

[0116] **Fig. 18** ist ein Zeitdiagramm der Geschwindigkeit des Fahrzeugs 100, des Betriebszustands des Verbrennungsmotors 1, der Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44, der Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x , der Ist-Kapazität (SOC) der Batterie 105 und des dem Reaktor 45 zugeführten Stroms.

[0117] In dem in **Fig. 18** gezeigten Beispiel wird der Verbrennungsmotor 1 zum Zeitpunkt t_1 gestoppt.

Demzufolge nimmt ab dem Zeitpunkt t_1 die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators 44 ab. Jedoch wird nach dem Zeitpunkt t_1 die Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 kleiner als der Referenzwert B_{ref} und daher dem Reaktor 45 kein Strom zugeführt.

[0118] Anschließend, zum Zeitpunkt t_2 , wenn eine Verzögerung des Fahrzeugs 100 gestartet wird, wird durch die Motorgeneratoren 101, 102 Leistung erzeugt und der Batterie 105 von den Motorgeneratoren 101, 102 elektrische Leistung zugeführt. Wenn auf diese Weise durch die Motorgeneratoren 101, 102 Leistung erzeugt wird, wird in der vorliegenden Ausführungsform selbst dann, wenn die Ist-Kapazität der Batterie 105 gleich groß wie oder kleiner als der Referenzwert B_{ref} ist, dem Reaktor 45 Strom zugeführt. Zu diesem Zeitpunkt ist der dem Reaktor 45 zugeführte Strom klein, so dass selbst dann, wenn dem Reaktor 45 Strom zugeführt wird, die Batterie 105 geladen wird und die Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 allmählich zunimmt.

[0119] Anschließend, zum Zeitpunkt t_3 , wird in dem gezeigten Beispiel die Menge an an der Kathodenschicht 77 gehaltenem NO_x im Wesentlichen null, so dass die Stromzufuhr zu dem Reaktor 45 gestoppt wird. Dadurch wird nach dem Zeitpunkt t_3 die Geschwindigkeit des Anstiegs der Ist-Kapazität B_s der Batterie 105 höher. Anschließend, zum Zeitpunkt t_4 , wenn das Fahrzeug 100 nicht weiter verzögert, das Aufladen der Batterie 105 gestoppt.

[0120] Es ist zu beachten, dass in der oben beschriebenen zweiten Modifikation, unabhängig von der Ist-Kapazität der Batterie 105, wenn durch die Motorgeneratoren 101, 102 Leistung erzeugt wird, dem Reaktor 45 Strom zugeführt wird. Jedoch kann, wenn die Ist-Kapazität der Batterie 105 gering ist, um dem Laden der Batterie 105 Priorität einzuräumen, dem Reaktor 45 selbst dann kein Strom zugeführt werden, wenn er mit einer externen Leistungsquelle 110 verbunden ist, sofern die Ist-Kapazität der Batterie 105 gleich groß wie oder kleiner als ein bestimmter Referenzwert ist (welcher ein Wert sein kann, der gleich dem obigen Referenzwert B_{ref} ist oder von ihm abweicht).

[0121] **Fig. 19** ist ein Flussdiagramm, das eine Regelungsroutine zum Regeln des Versorgungsstroms zu dem Reaktor 45 in dem Fahrzeug 100 gemäß einer zweiten Modifikation der vierten Ausführungsform zeigt. Die gezeigte Regelungsroutine wird in vorbestimmten Zeitintervallen ausgeführt. Schritte S127 und S132 von **Fig. 19** entsprechen den Schritten S107 und S112 von **Fig. 17**. Darüber hinaus ist das Flussdiagramm von **Fig. 19** ähnlich dem Flussdiagramm von **Fig. 17**. Daher sind nachfolgend nur die Schritte S127 und S132 erläutert.

[0122] Wenn in Schritt S126 beurteilt wird, dass die gehaltene NO_x -Menge Q_{nox} gleich groß wie oder größer als eine vorbestimmte Referenzmenge Q_{ref} ist, fährt die Routine mit Schritt S127 fort. In Schritt S127 wird beurteilt, ob der durch die Motorgeneratoren 101, 102 erzeugte Strom I_r (erzeugter Strom) gleich groß wie oder größer als ein vorbestimmter Referenzwert I_{ref} ist. Wenn beurteilt wird, dass der erzeugte Strom I_r gleich groß wie oder größer als der Referenzwert I_{ref} ist, fährt die Routine mit Schritt S129 fort, während die Routine, wenn beurteilt wird, dass der erzeugte Strom I_r kleiner als der Referenzwert I_{ref} ist, mit Schritt S128 fortfährt. Auch in Schritt S132 wird eine Beurteilung ähnlich Schritt S126 durchgeführt. Es ist zu beachten, dass der Referenzwert I_{ref} in den Schritten S127 und S132 zum Beispiel ein Wert gleich groß wie oder kleiner als der dem Reaktor 45 zugeführte Strom ist.

Patentansprüche

1. Verbrennungsmotor (1) mit einem Abgaskanal (41, 42, 44, 45), in dem ein elektrochemischer Reaktor (45) angeordnet ist, der umfasst: eine ionenleitende Festelektrolytschicht (75); eine Anodenschicht (76), die auf einer Oberfläche der Festelektrolytschicht (75) angeordnet ist; und eine Kathodenschicht (77), die auf einer Oberfläche der Festelektrolytschicht (75) angeordnet und dazu geeignet ist, NO_x zu halten, wobei der Verbrennungsmotor (1) eine Stromsteuerungsvorrichtung (83, 51) zum Regeln des dem elektrochemischen Reaktor (45) zugeführten Stroms derart, dass er von der Anodenschicht (76) durch die Festelektrolytschicht (75) zu der Kathodenschicht (77) fließt, umfasst, und die Stromsteuerungsvorrichtung (83, 51) ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor (45) bei gestopptem Verbrennungsmotor (1) wenigstens vorübergehend Strom zuzuführen.
2. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 1, wobei die Stromsteuerungsvorrichtung (83, 51) ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor (45) bei arbeitendem Verbrennungsmotor (1) wenigstens vorübergehend Strom zuzuführen.
3. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 2, wobei die Festelektrolytschicht (75) des elektrochemischen Reaktors (45) protonenleitend ist, und die Stromsteuerungsvorrichtung (83, 51) ausgelegt ist, um den dem elektrochemischen Reaktor (45) zugeführten Strom so zu regeln, dass der dem elektrochemischen Reaktor (45) bei gestopptem Verbrennungsmotor (1) zugeführte Strom kleiner als der dem elektrochemischen Reaktor (45) bei arbeitendem Verbrennungsmotor (1) zugeführte Strom ist.
4. Verbrennungsmotor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Verbrennungsmotor (1) ferner einen Abgasreinigungskatalysator (44) umfasst, der in dem Abgaskanal (41, 42, 44, 45) angeordnet ist, der Abgasreinigungskatalysator (44) ausgelegt ist, um NO_x in dem Abgas zu entfernen, wenn seine Temperatur gleich hoch wie oder höher als eine Aktivierungstemperatur ist, und die Stromsteuerungsvorrichtung (83, 51) ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor (45) bei gestopptem Verbrennungsmotor (1) keinen Strom zuzuführen, wenn die Temperatur des Abgasreinigungskatalysators (44) mindestens so hoch wie die Aktivierungstemperatur ist.
5. Verbrennungsmotor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Verbrennungsmotor (1) ferner einen Außenluft-Einleitungsmechanismus (85) umfasst, der in Richtung des Abgasstroms strömungsaufwärtsseitig des elektrochemischen Reaktors (45) Außenluft in den Abgaskanal (41, 42, 44, 45) einleitet, und der Außenluft-Einleitungsmechanismus (85) ausgelegt ist, um bei gestopptem Verbrennungsmotor (1) wenigstens vorübergehend Außenluft in den Abgaskanal (41, 42, 44, 45) zu leiten.
6. Verbrennungsmotor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Stromsteuerungsvorrichtung (83, 51): ausgelegt ist, um die Menge an an der Kathodenschicht (77) des elektrochemischen Reaktors (45) gehaltenem NO_x zu schätzen; und ausgelegt ist, um die Stromzufuhr zu dem elektrochemischen Reaktor (45) bei gestopptem Verbrennungsmotor (1) nicht zu starten, wenn die geschätzte Menge an NO_x geringer als eine vorbestimmte Referenzmenge (Q_{ref}) ist.
7. Fahrzeug (100), in dem der Verbrennungsmotor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 und ein Elektromotor eingebaut sind, wobei das Fahrzeug (100) eine Batterie (105) umfasst, die dem Elektromotor elektrische Leistung zuführt und mit dem elektrochemischen Reaktor (45) verbunden ist, und dem elektrochemischen Reaktor (45) Strom von der Batterie (105) zugeführt wird.
8. Fahrzeug (100) nach Anspruch 7, wobei die Stromsteuerungsvorrichtung (83, 51) ausgelegt ist, dem elektrochemischen Reaktor (45) keinen Strom zuzuführen, wenn die Ist-Kapazität der Batterie (105) gleich groß wie oder kleiner als ein vorbestimmte Referenzwert ist.
9. Fahrzeug (100) nach Anspruch 7 oder 8, wobei das Fahrzeug (100) ferner einen fahrzeugseitigen

Verbinder (106) umfasst, der mit der Batterie (105) verbunden ist,
der fahrzeugseitige Verbinder (106) dazu geeignet ist, die Batterie (105) durch Verbinden mit einer externen Leistungsquelle (110) zu laden, und die Stromsteuerungsvorrichtung (83, 51) ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor (45) bei gestopptem Verbrennungsmotor (1) Strom zuzuführen, wenn der fahrzeugseitige Verbinder (106) mit der externen Leistungsquelle (110) verbunden ist und die Batterie (105) geladen wird.

10. Fahrzeug (100) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei
das Fahrzeug (100) ferner einen Generator (101) umfasst, der dazu geeignet ist, Leistung zu erzeugen, während das Fahrzeug (100) verzögert, und der mit der Batterie (105) verbunden ist, und die Stromsteuerungsvorrichtung (83, 51) ausgelegt ist, um dem elektrochemischen Reaktor (45) Strom zuzuführen, wenn durch den Generator (101) Leistung erzeugt wird, während das Fahrzeug (100) bei gestopptem Verbrennungsmotor (1) verzögert.

Es folgen 18 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

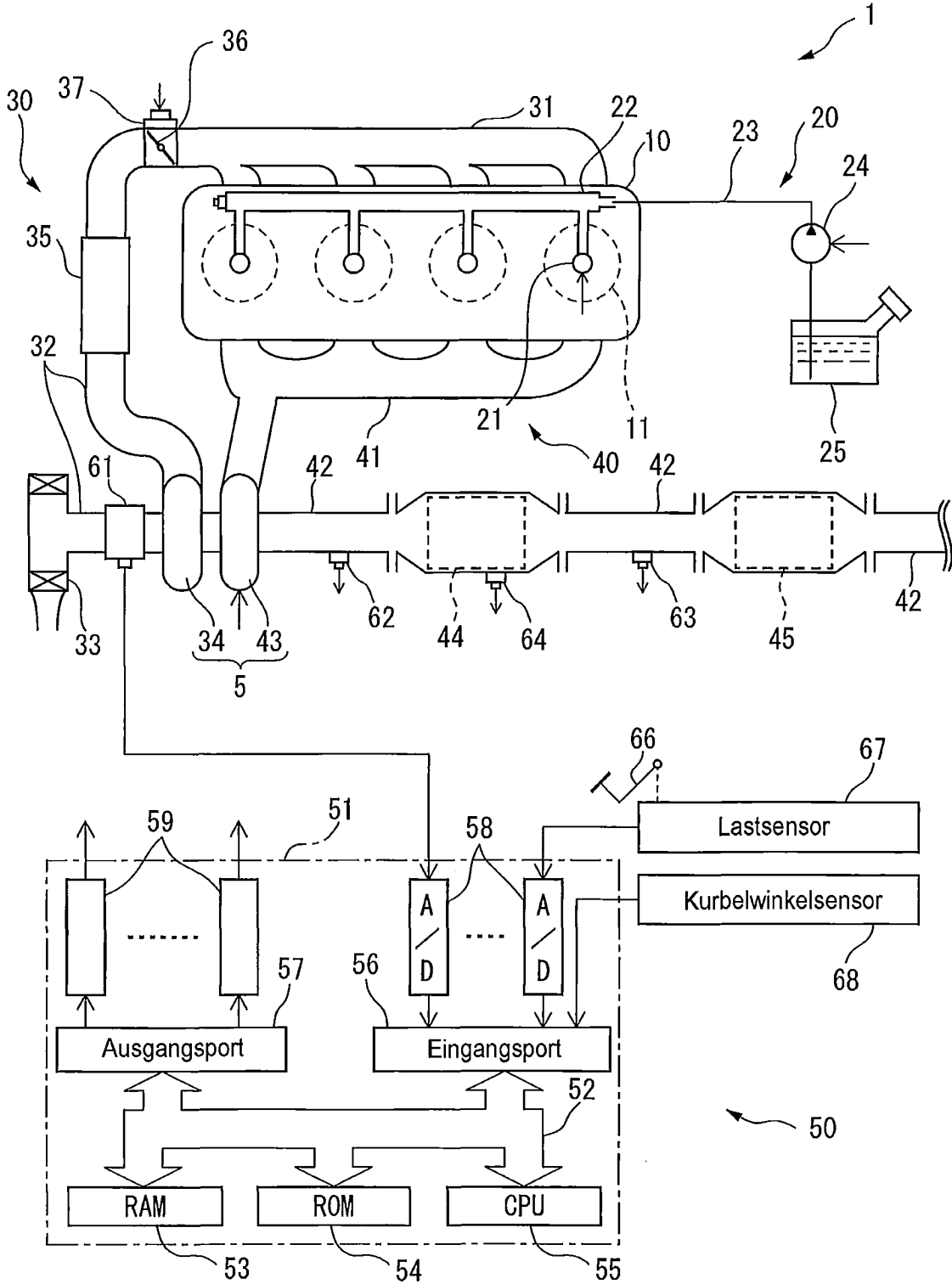


FIG. 2

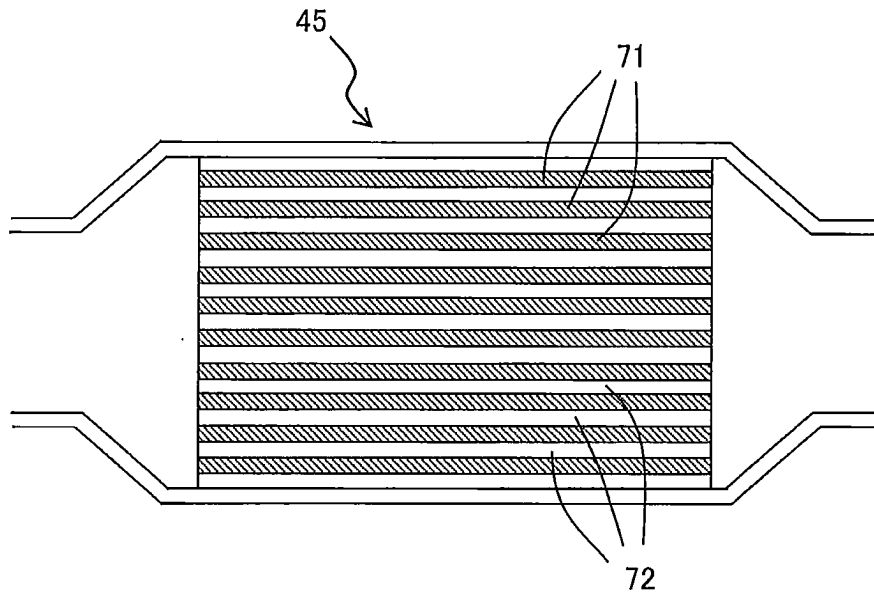


FIG. 3

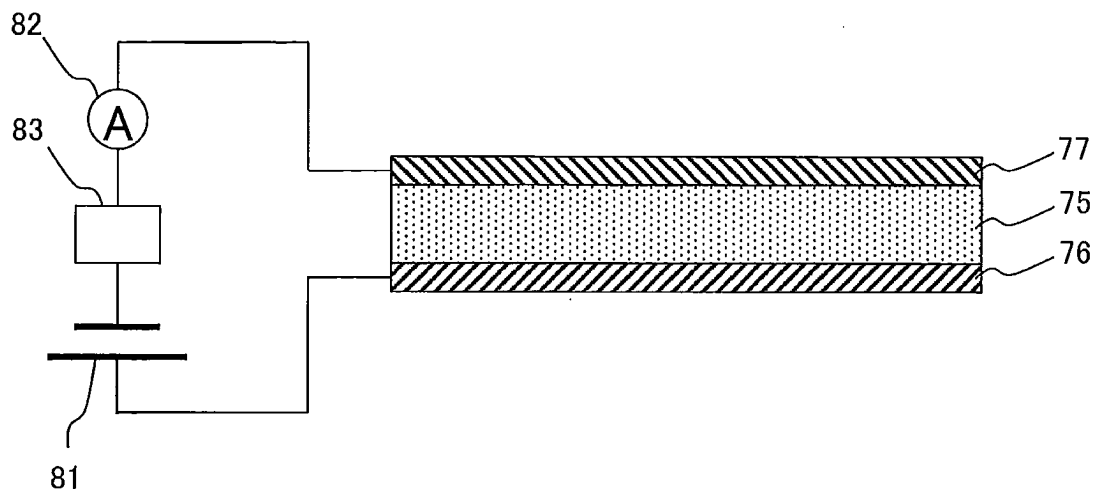


FIG. 4

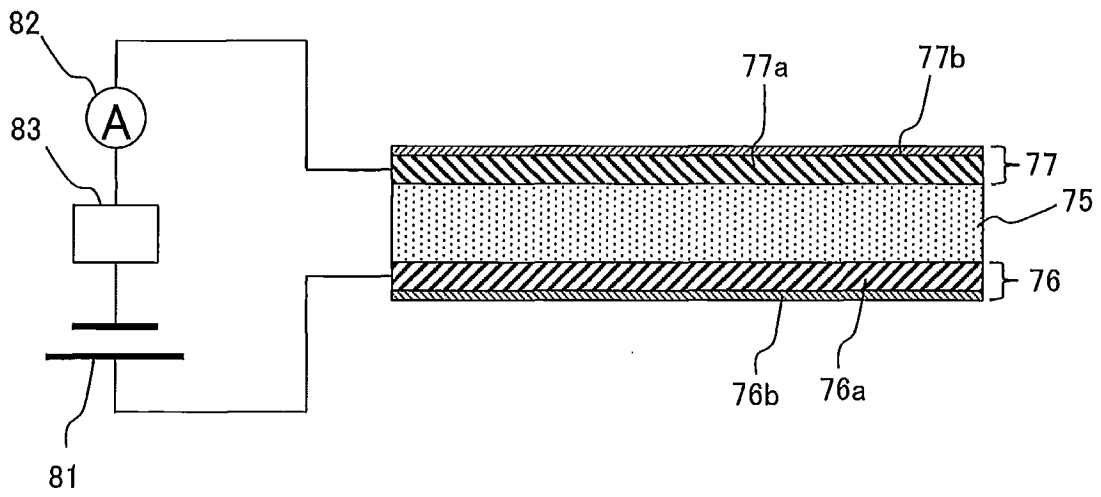


FIG. 5

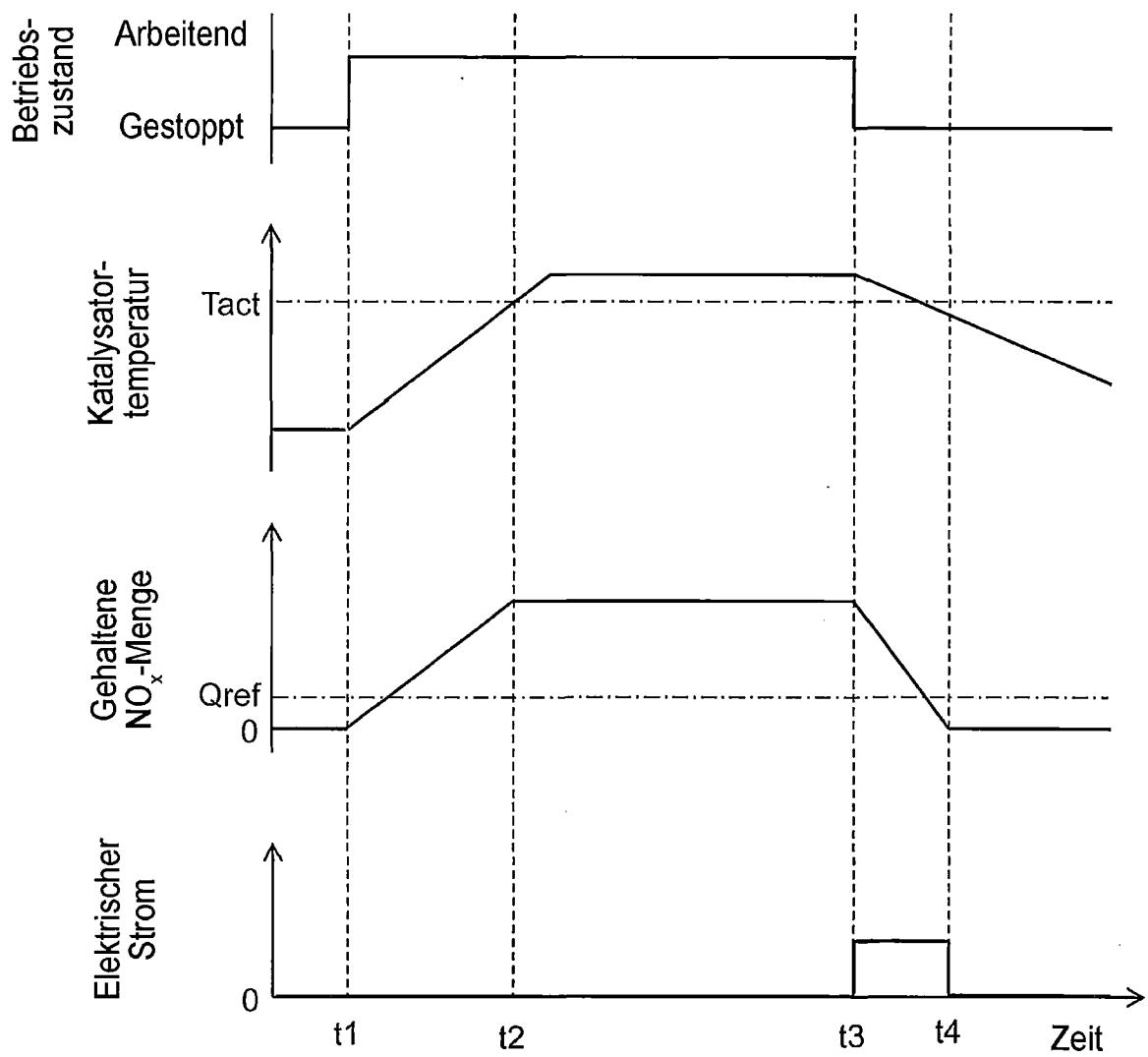


FIG. 6

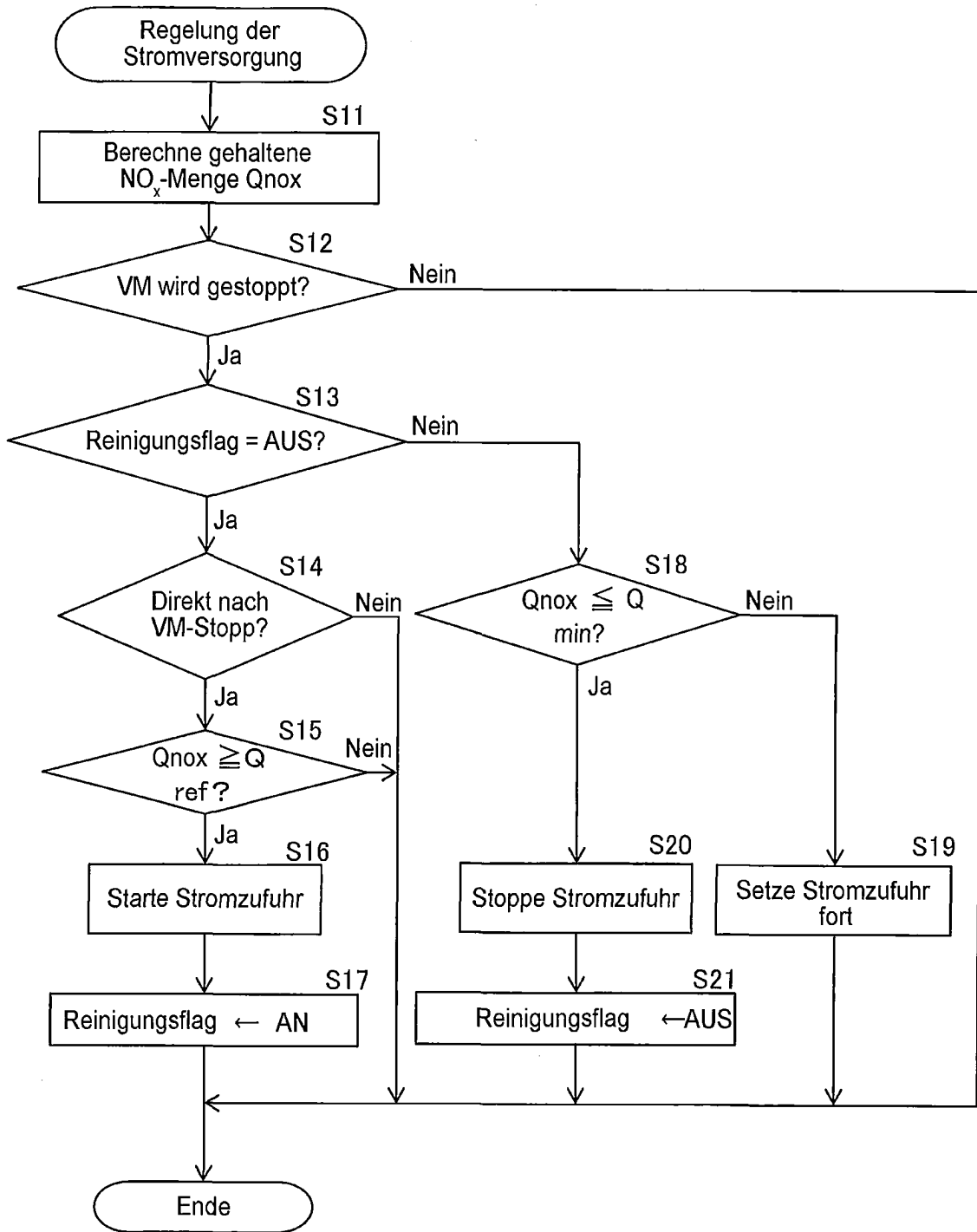


FIG. 7

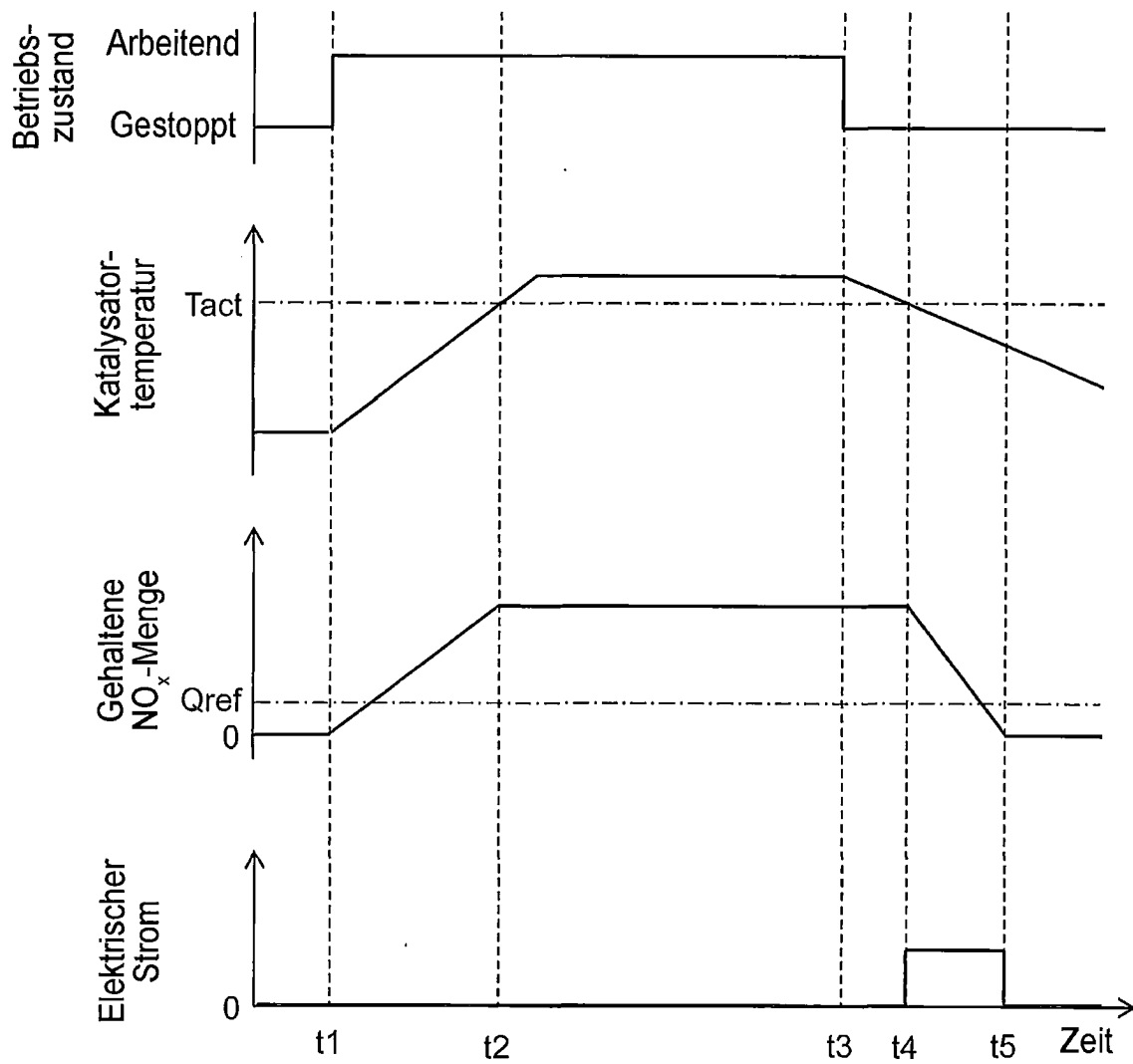


FIG. 8

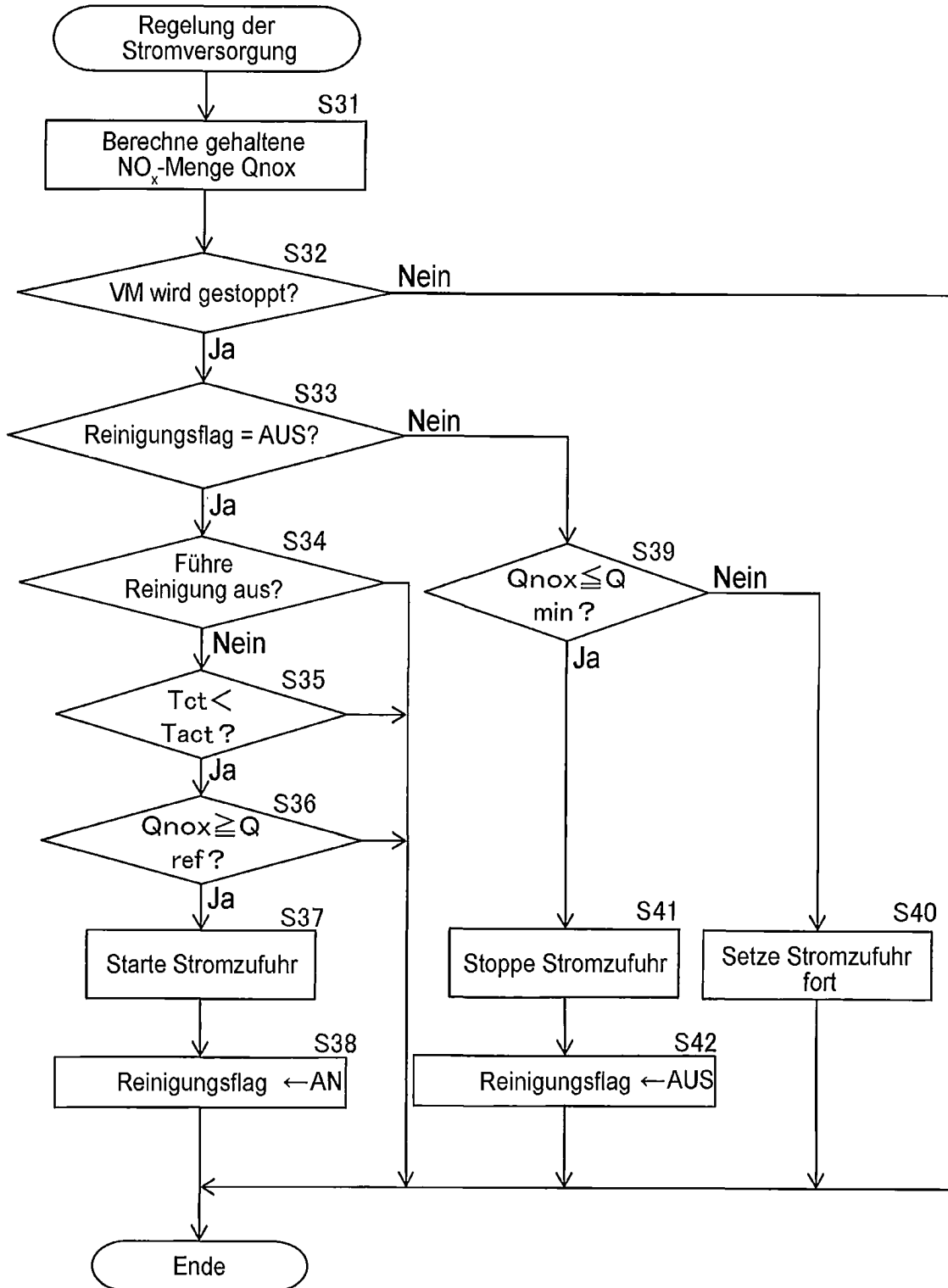


FIG. 9

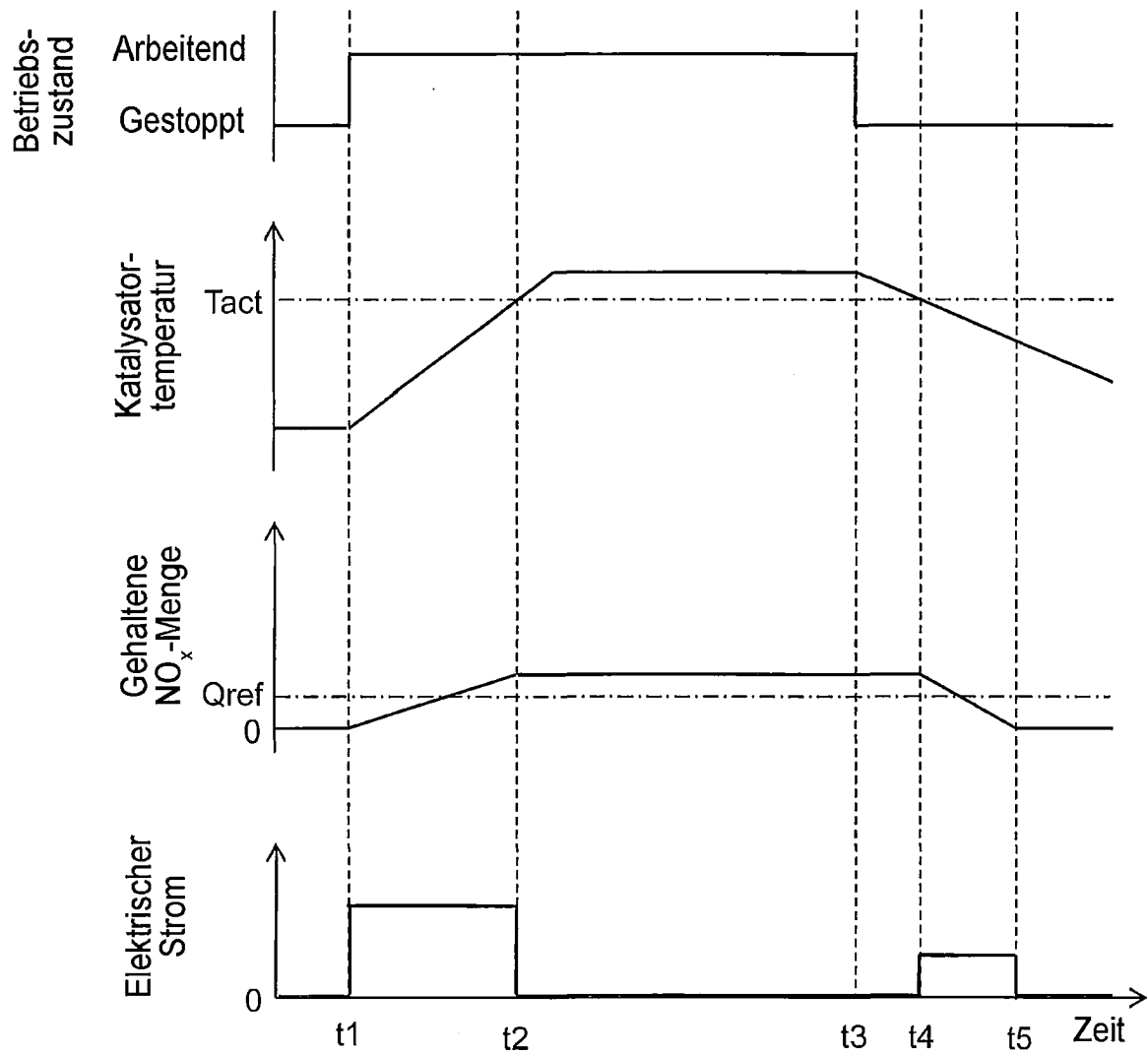


FIG. 10

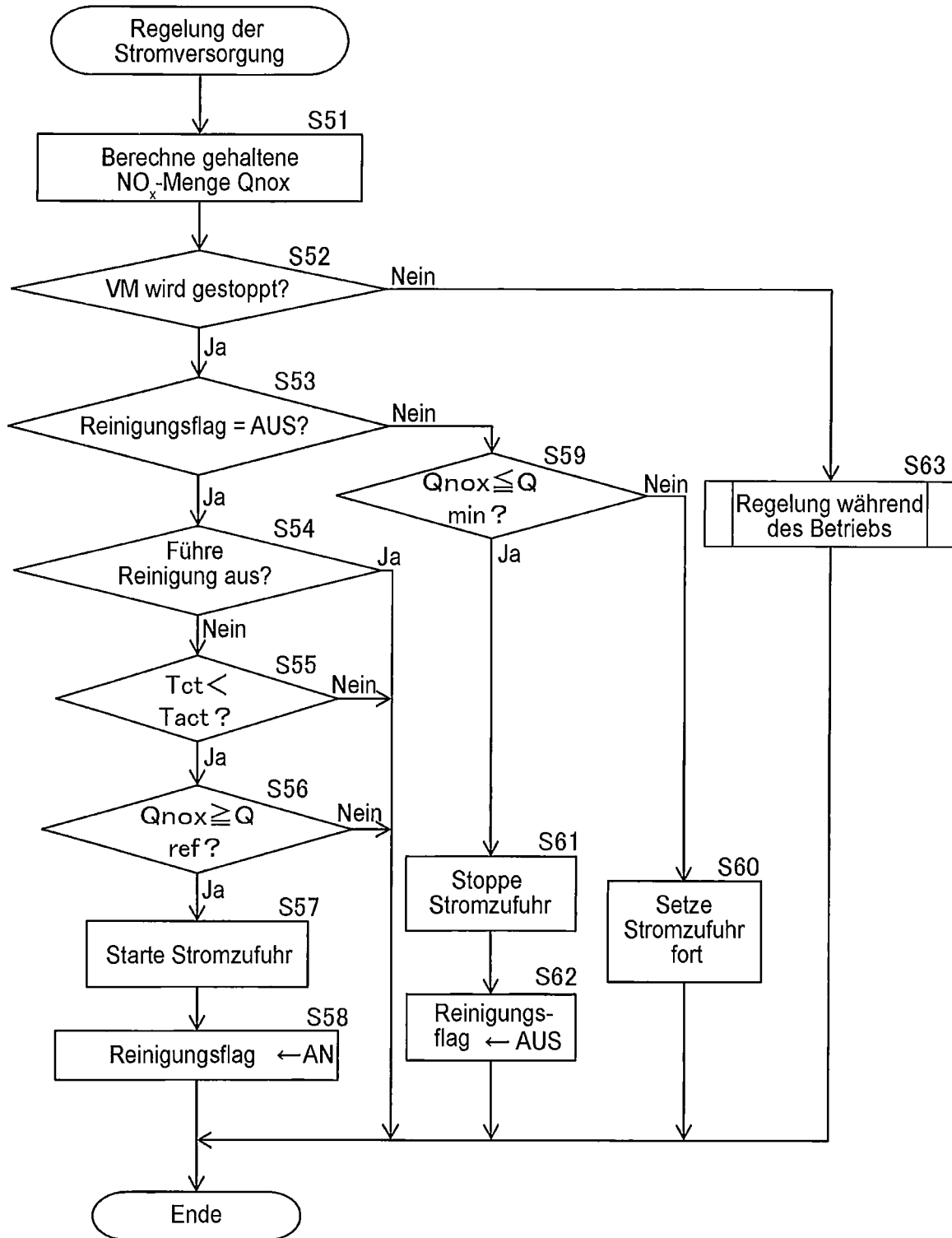


FIG. 11

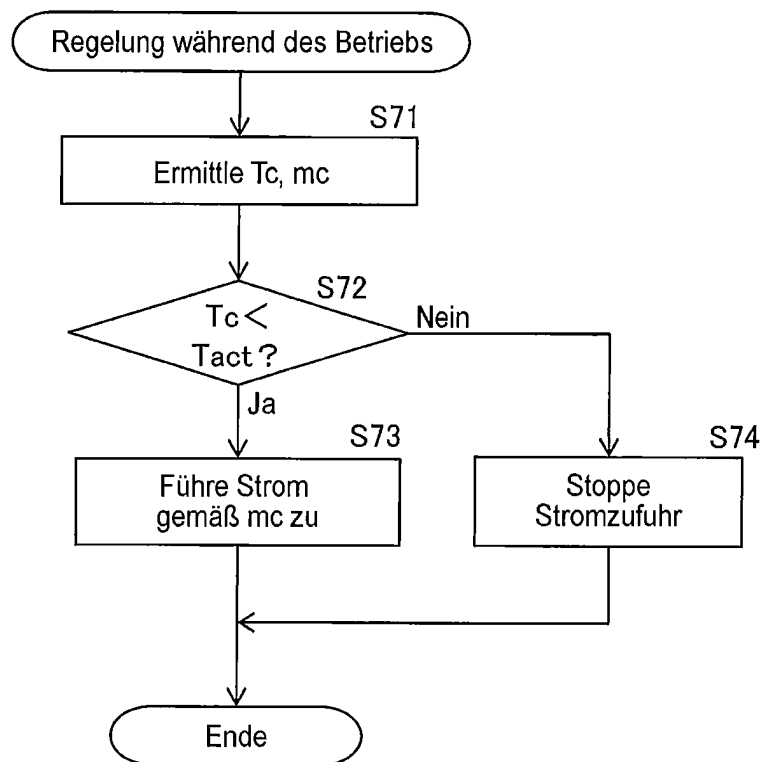


FIG. 12A

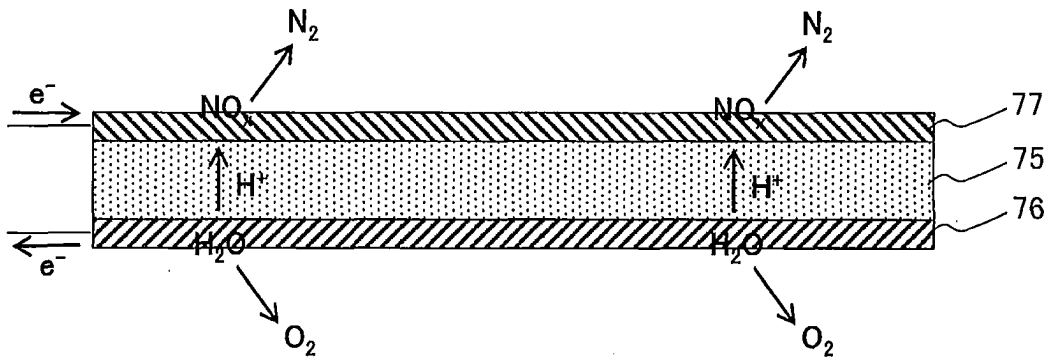


FIG. 12B

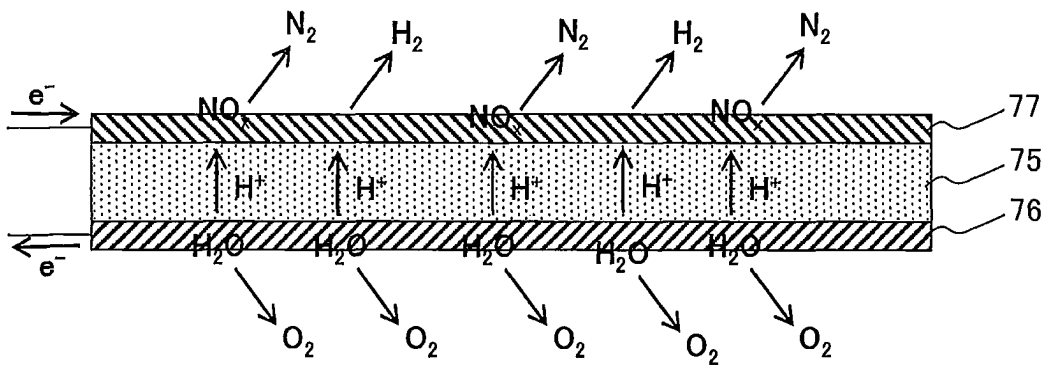


FIG. 13

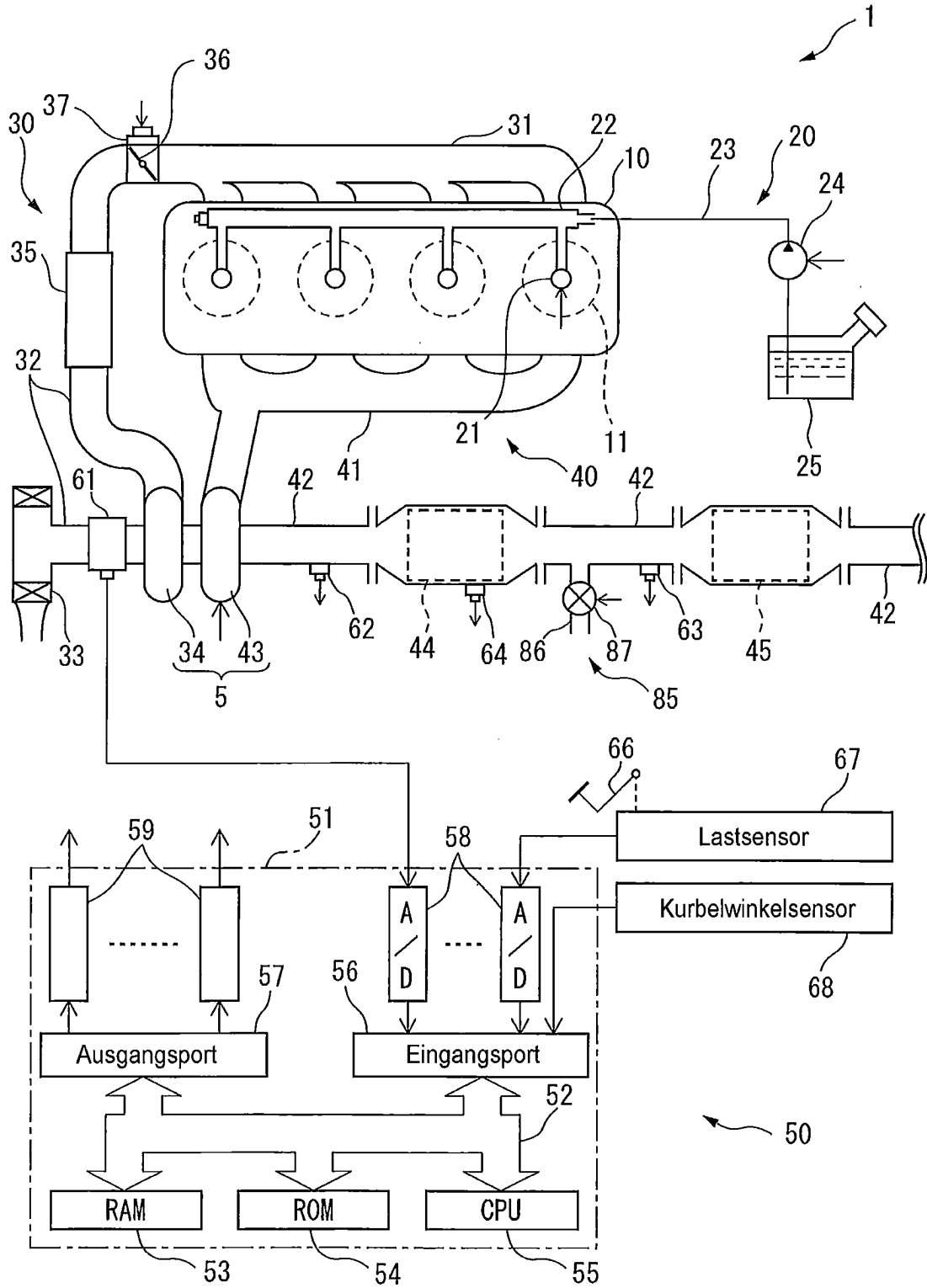


FIG. 14

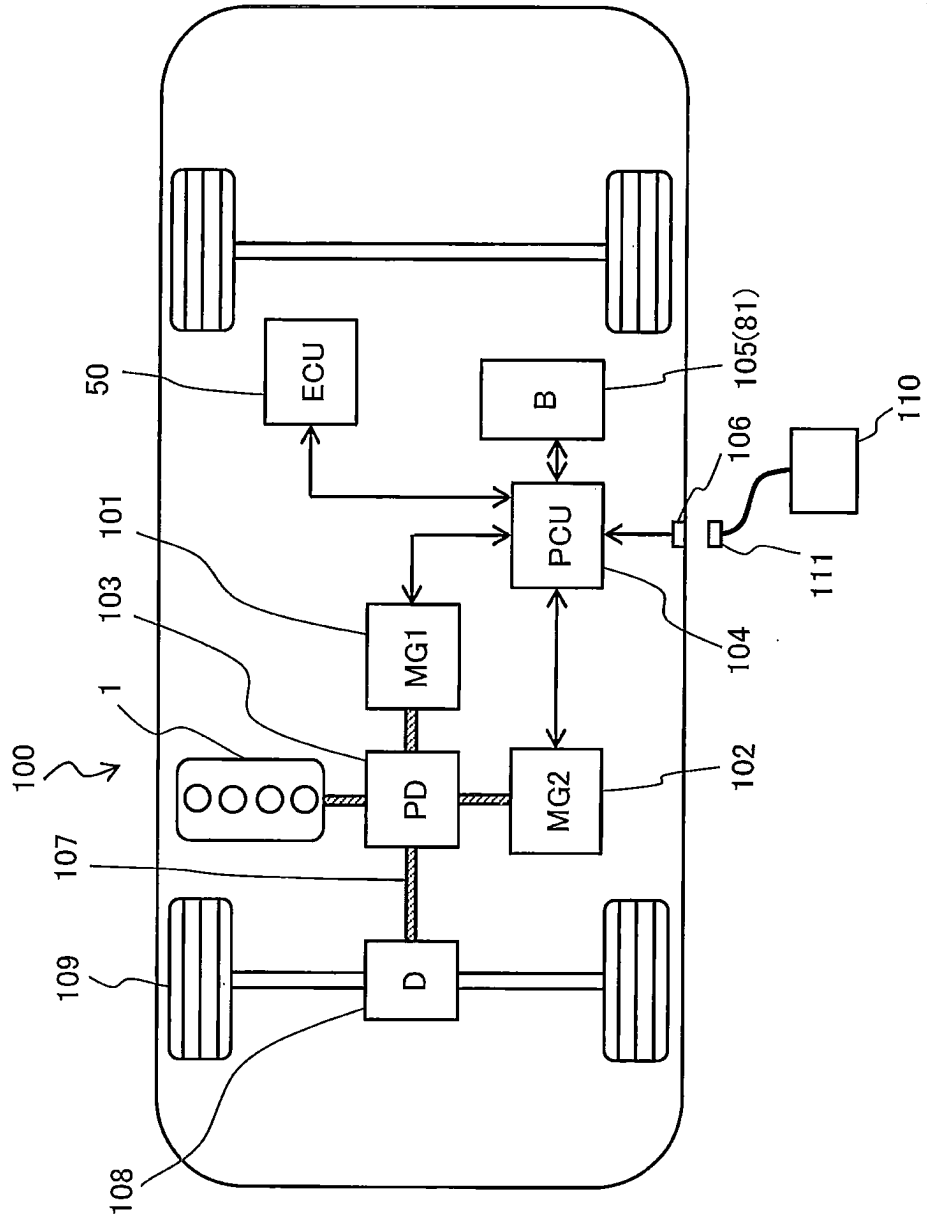


FIG. 15

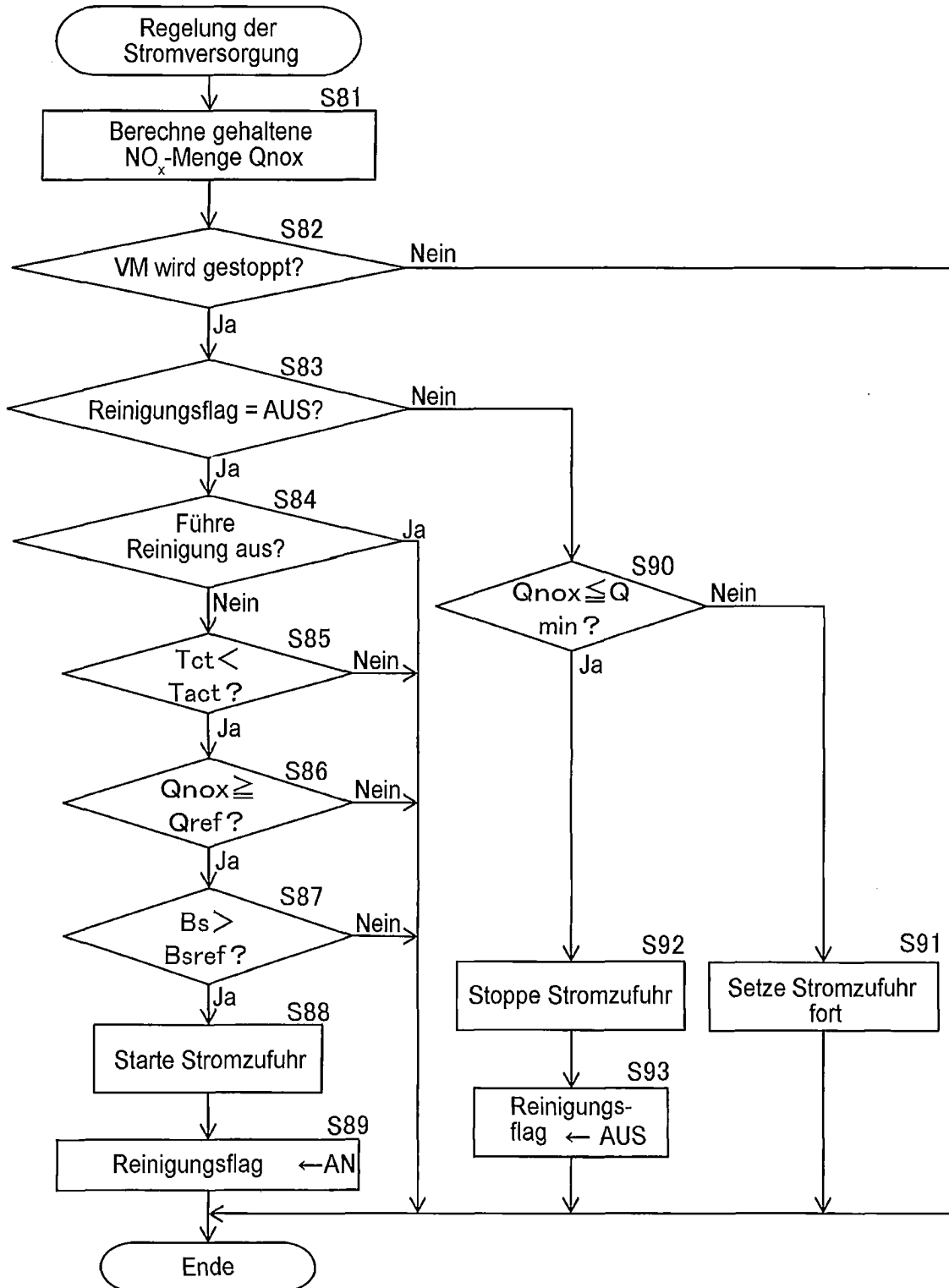


FIG. 16

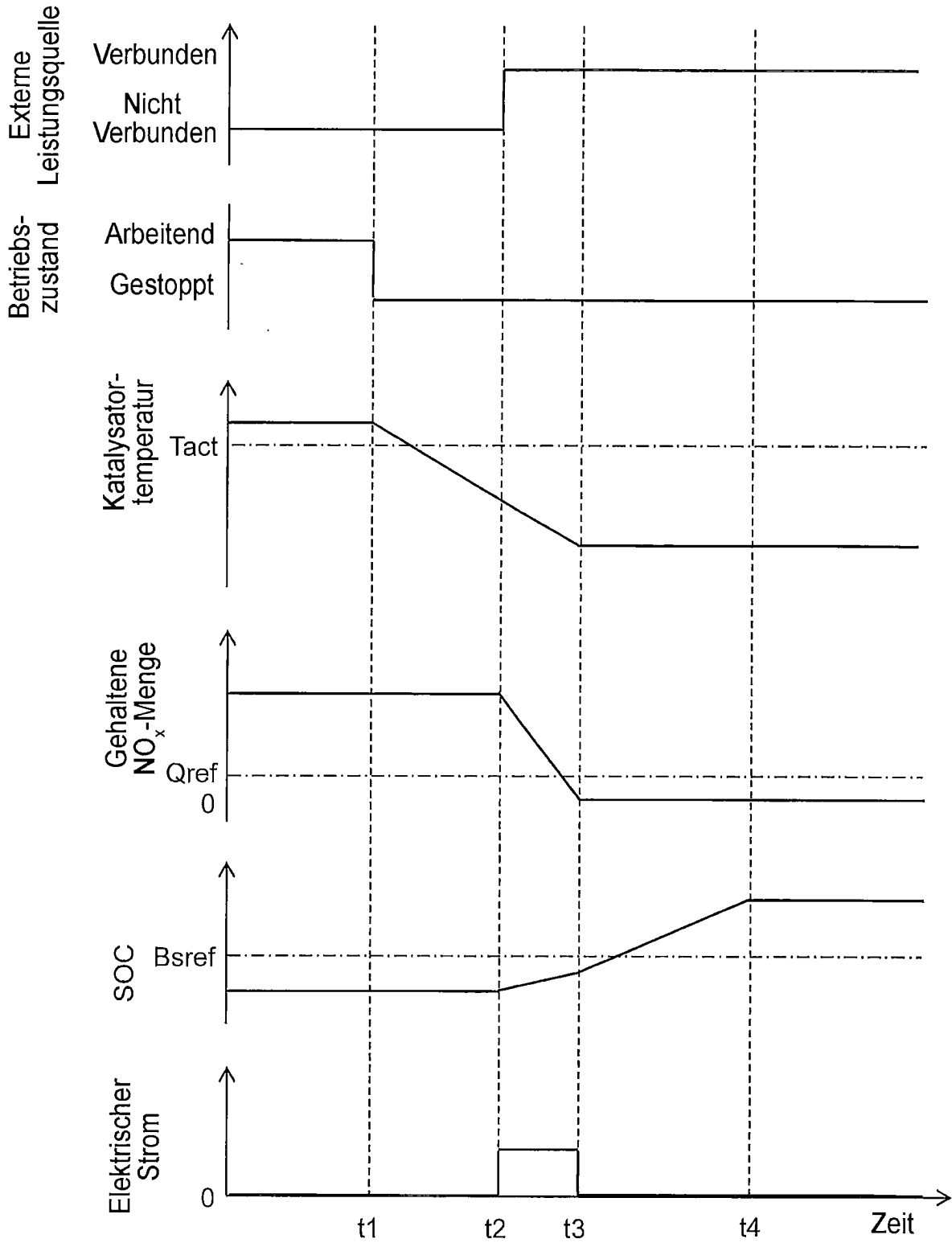


FIG. 17

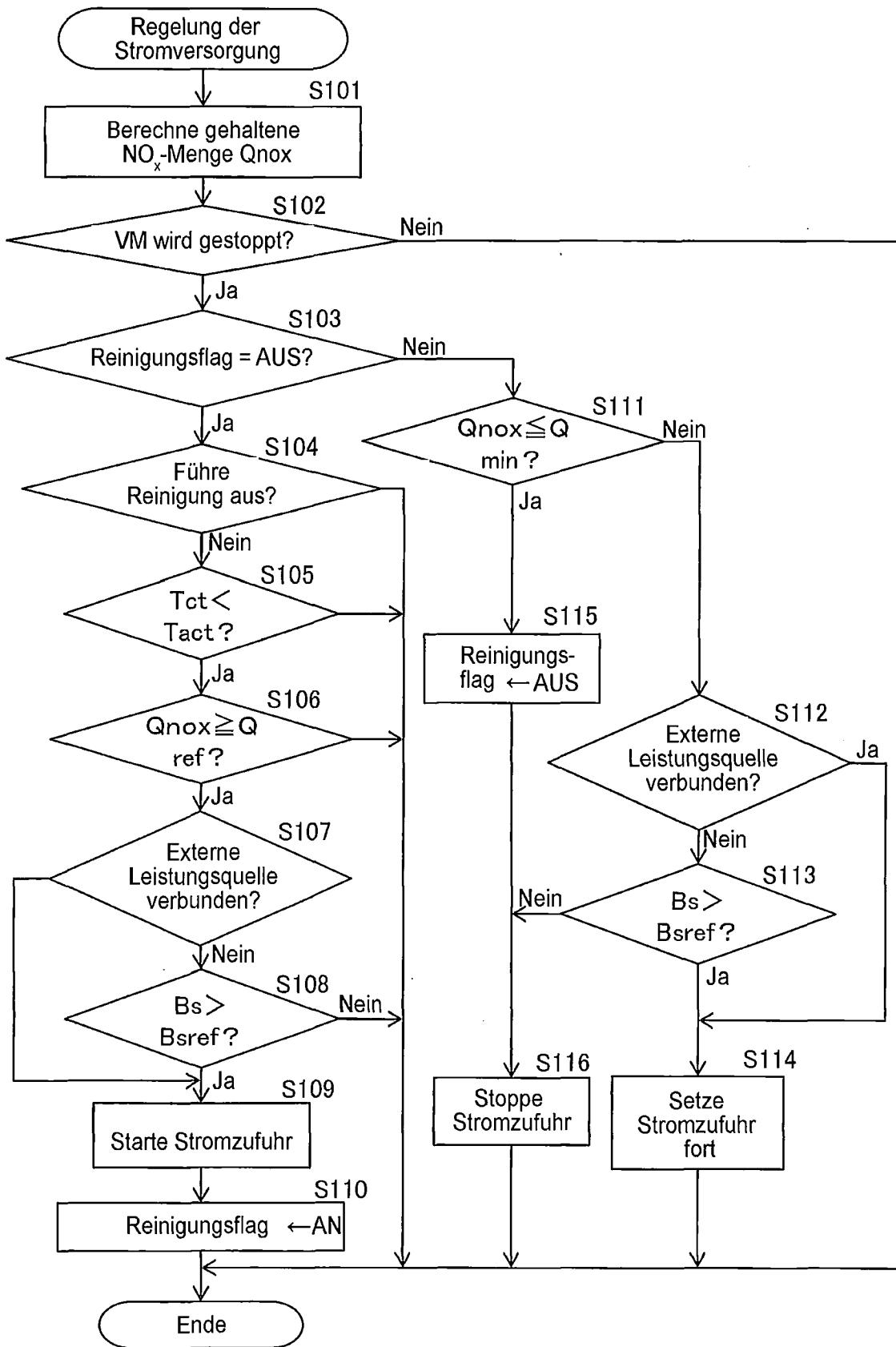


FIG. 18

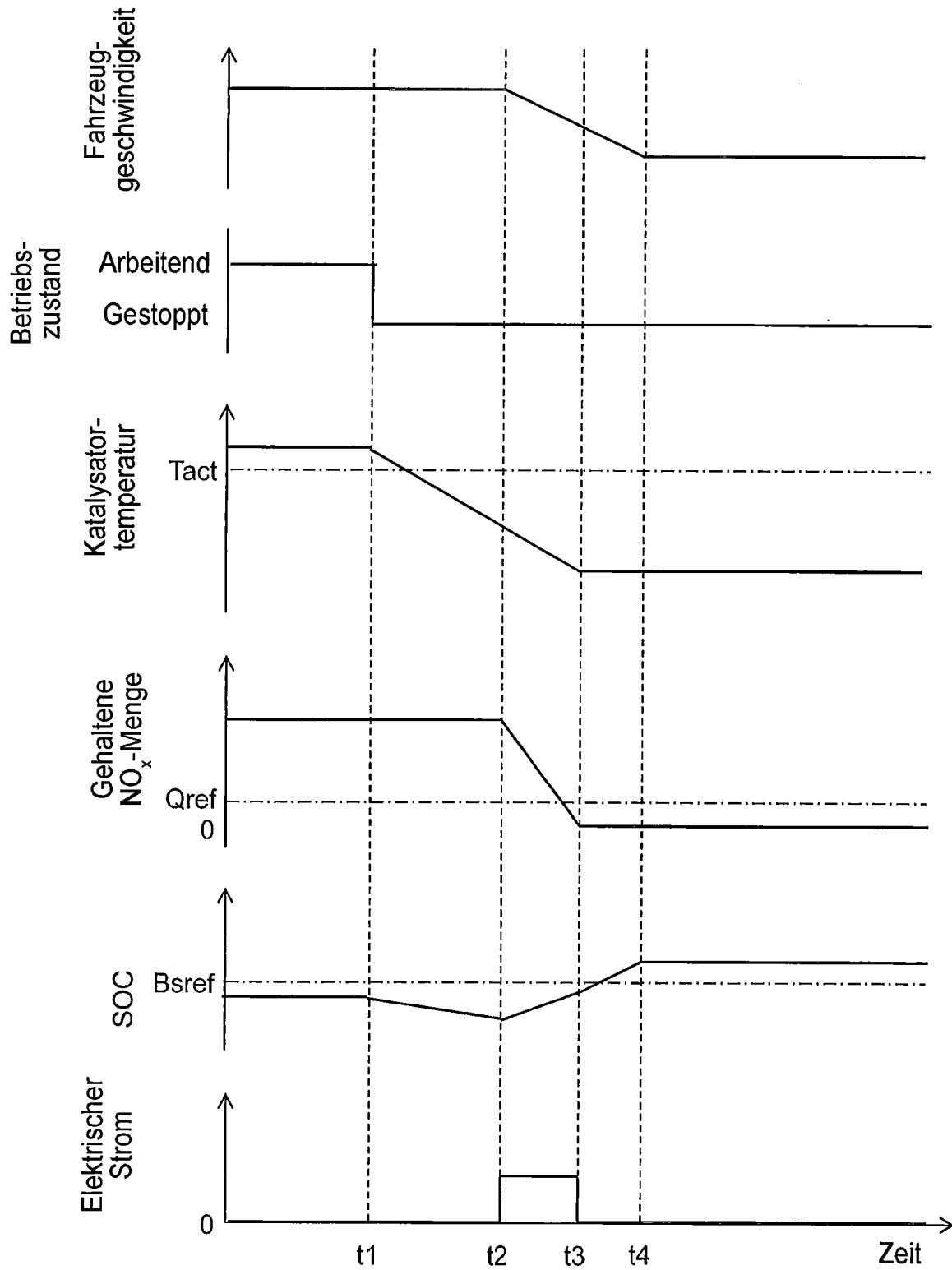


FIG. 19

