

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21)	Anmeldenummer:	A 50074/2021	(51)	Int. Cl.:	H01M 8/00	(2016.01)
(22)	Anmeldetag:	08.02.2021			G06N 3/02	(2006.01)
(43)	Veröffentlicht am:	15.08.2022			G06N 20/00	(2019.01)
					G01R 31/36	(2020.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2008152963 A1
US 2018017630 A1
US 2019018067 A1
TW 201144841 A
WO 2013083872 A1
US 2004267467 A1

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Venkataraman Vikrant PHD
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Gamper Bettina Dr.
8020 Graz (AT)

(54) **Testverfahren für ein virtuelles Testen einer Brennstoffzelle**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Testverfahren für ein virtuelles Testen einer Brennstoffzelle (100), aufweisend die folgenden Schritte:

- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Testparameters (VPT) für den Ablauf des virtuellen Tests,
- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Brennstoffzellenparameters (VPZ) für die virtuell zu testende Brennstoffzelle (100),
- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Anschlussparameters (VPA) für die virtuell zu testende Brennstoffzelle (100),
- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Gasparameters (VPG) für die bei dem virtuellen Test zu verwendenden Gase,
- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Betriebsparameters (VPB) für einen virtuellen Betrieb der Brennstoffzelle (100),
- Eingabe der vorgegebenen Vorgabeparameter (VP) in eine virtuelle Testvorrichtung (10),
- Ausführen des virtuellen Tests auf Basis der Vorgabeparameter (VP) zur Erzeugung eines virtuellen Testergebnisses (TE),
- Ausgabe des erzeugten virtuellen Testergebnisses (TE) aus der Testvorrichtung (10).

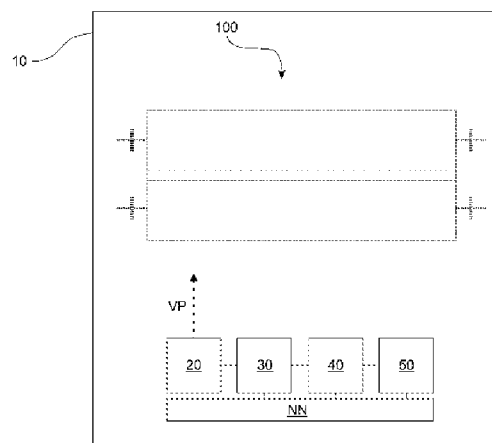


Fig. 2

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Testverfahren für ein virtuelles Testen einer Brennstoffzelle (100), aufweisend die folgenden Schritte:

- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Testparameters (VPT) für den Ablauf des virtuellen Tests,
- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Brennstoffzellenparameters (VPZ) für die virtuell zu testende Brennstoffzelle (100),
- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Anschlussparameters (VPA) für die virtuell zu testende Brennstoffzelle (100),
- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Gasparameters (VPG) für die bei dem virtuellen Test zu verwendenden Gase,
- Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Betriebsparameters (VPB) für einen virtuellen Betrieb der Brennstoffzelle (100),
- Eingabe der vorgegebenen Vorgabeparameter (VP) in eine virtuelle Testvorrichtung (10),
- Ausführen des virtuellen Tests auf Basis der Vorgabeparameter (VP) zur Erzeugung eines virtuellen Testergebnisses (TE),
- Ausgabe des erzeugten virtuellen Testergebnisses (TE) aus der Testvorrichtung (10).

Fig. 2

Testverfahren für ein virtuelles Testen einer Brennstoffzelle

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Testverfahren für ein virtuelles Testen einer Brennstoffzelle, eine virtuelle Testvorrichtung für die Durchführung eines virtuellen Tests einer Brennstoffzelle sowie ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines virtuellen Testverfahrens.

Es ist bekannt, dass bei der Entwicklung neuer technischer Generationen von Brennstoffzellen, diese ausführlich getestet werden müssen. Insbesondere bei der Grundlagenforschung werden neue Materialien, neue technische Konzepte oder neue Anschlussweisen üblicherweise an Prototypen einzelner Brennstoffzellen in der Realität getestet. Um dies durchzuführen, sind Prüfstände bekannt, auf welchen Prototypen von Brennstoffzellen installiert werden können. Auf solchen Prüfständen werden die Prototypen der Brennstoffzellen an entsprechende Gasversorgungen angeschlossen und anschließend betrieben. Dabei können für den jeweiligen Test unterschiedliche Betriebsweisen gewählt werden, um der Brennstoffzelle möglichst realistische Bedingungen bieten zu können. Ziel dieser realen Tests auf physisch vorhandenen Prüfständen ist es beispielsweise, die Leistungsfähigkeit, die Effizienz und/oder die Langzeitstabilität von neuen Brennstoffzellenprototypen zu testen.

Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass der Aufwand für physische Tests sehr hoch ist. So muss für die Durchführung von realen Prototypentests zum einen ein entsprechender Prüfstand zu Verfügung gestellt werden. Dieser Prüfstand benötigt Platz und ist kostenintensiv, da er unter anderem einen Gasanschluss zur Verfügung stellen muss sowie Sensoren und Betriebskomponenten, um den Betrieb eines Tests an einer Brennstoffzelle durchzuführen. Darüber hinaus müssen Prototypen von neuen Brennstoffzellen physisch hergestellt werden. Dies ist insbesondere dann aufwendig, wenn Prototypen mit unterschiedlichen Materialkomponenten und/oder unterschiedlichen technischen Konzeptideen parallel getestet werden sollen (auch höhere Stückzahlen wären erforderlich, um parallel zu testen, verbunden mit der Ungewissheit, ob das Konzept Erfolg versprechend ist). Insbesondere dann, wenn es bei dem Test eines Prototyps zu Fehlern, Defekten oder Beschädigungen am Prototyp kommt, ist ein hoher Zeitaufwand nötig, um neue Prototypen herzustellen und den Testzyklus fortzuführen. Basierend auf diesen Ausführungen ist ersichtlich, dass ein hoher Zeitaufwand, ein hoher Kostenaufwand und eine hohe Komplexität der Prüfung die Entwicklung neuer Brennstoffzellen verlangsamt und verteuert. Es

ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise eine Testmöglichkeit für Prototypen von Brennstoffzellen zu schaffen.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Testverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine virtuelle Testvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 17 und ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 18. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Testverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der virtuellen Testvorrichtung und dem Computerprogrammprodukt und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Erfindungsgemäß ist das Testverfahren für ein virtuelles Testen einer Brennstoffzelle ausgebildet. Für ein solches virtuelles Testen, im Gegensatz zu einem physischen Testen eines realen Prototyps einer Brennstoffzelle, weist das Testverfahren die folgenden Schritte auf:

- Vorgeben eines Vorgabeparameters in Form wenigstens eines Testparameters für den Ablauf des virtuellen Tests,
- Vorgeben eines Vorgabeparameters in Form wenigstens eines Brennstoffzellenparameters für die virtuell zu testende Brennstoffzelle,
- Vorgeben eines Vorgabeparameters in Form wenigstens eines Anschlussparameters für die virtuell zu testende Brennstoffzelle,
- Vorgeben eines Vorgabeparameters in Form wenigstens eines Gasparameters für die bei dem virtuellen Test zu verwendenden Gase,
- Vorgeben eines Vorgabeparameters in Form wenigstens eines Betriebsparameters für einen virtuellen Betrieb der Brennstoffzelle,
- Eingabe der vorgegebenen Vorgabeparameter in eine virtuelle Testvorrichtung,

- Ausführen des virtuellen Tests auf Basis der Vorgabeparameter zur Erzeugung eines virtuellen Testergebnisses,
- Ausgabe des erzeugten virtuellen Testergebnisses aus der Testvorrichtung.

Wie aus der voranstehenden Aufzählung der einzelnen Verfahrensschritte ersichtlich wird, findet ein erfindungsgemäßes Testverfahren rein virtuell statt. Es basiert also insbesondere auf der Verwendung eines virtuellen Prototyps einer virtuellen Brennstoffzelle sowie auf der Nutzung eines virtuellen Prüfstandes mit virtuellen Anschlüssen und virtuellen Gasen. Um die komplett virtuelle Durchführung des Tests bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren zu ermöglichen, muss eine Vielzahl von einzelnen Parametern für den Test vorgegeben werden. Diese Vorgabe einzelner Parameter erfolgt durch das Vorgeben von unterschiedlichen Vorgabeparametern. Dabei ist die erfindungsgemäße Ausgestaltung insbesondere fokussiert auf das Vorgeben von Mindestparametern in Form von wenigstens einem Testparameter, wenigstens einem Brennstoffzellenparameter, wenigstens einem Anschlussparameter, wenigstens einem Gasparameter und wenigstens einem Betriebsparameter. Selbstverständlich können für jede Art von Vorgabeparameter auch verschiedene Einzelbestandteile vorgesehen und vorgegeben werden. So sind auch zwei oder mehr Testparameter, zwei oder mehr Brennstoffzellenparameter, zwei oder mehr Anschlussparameter, zwei oder mehr Gasparameter und/oder zwei oder mehr Betriebsparameter als Vorgabeparameter einsetzbar. Selbstverständlich ist es grundsätzlich auch denkbar, weitere optionale Vorgabeparameter in das Testverfahren mit einzubeziehen.

Wie bei Testverfahren üblich, wird die Genauigkeit des Testergebnisses insbesondere davon abhängen, wie genau die Vorgabeparameter gewählt sind. Je genauer die Vorgabeparameter gewählt werden und insbesondere je größer die Vielfalt der Vorgabeparameter gewählt wird, umso exakter wird das erzielte Testergebnis mit der Realität übereinstimmen. Somit kann ein erfindungsgemäßes Testverfahren durch die Auswahl von unterschiedlichen Detaillierungsgraden der Vorgabeparameter auswählen, wie genau das Testergebnis generiert werden soll. Dies berücksichtigt insbesondere auch den notwendigen Rechenaufwand für die Durchführung des Testverfahrens, welcher mit dem Detailgrad der Vorgabeparameter entsprechend ansteigt. Es ist also möglich, mit geringem Detailgrad der Vorgabeparameter ein schnelles, relativ grobes Testergebnis zu erzielen. In gleicher Weise dient ein erfin-

zungsgemäßes Testverfahren mit hohem Detaillierungsgrad der Vorgabeparameter dazu, ein sehr exaktes Testergebnis mit entsprechend höherem Rechenaufwand zur Verfügung zu stellen.

Die Vorgabeparameter beschreiben dabei zumindest die wesentlichen und notwendigen Parameter für die virtuelle Durchführung des Tests. Die Testparameter, welche in zumindest einer Form als Vorgabeparameter zur Verfügung gestellt werden, beschreiben den Ablauf des virtuellen Tests. Dabei kann es sich beispielsweise um die Testzeit, den Testablauf oder Betriebsstrategien während des Tests handeln.

Ein Brennstoffzellenparameter bezieht sich in erfindungsgemäßer Weise auf die Brennstoffzelle selbst. So kann hier beispielsweise die Geometrie, Strömungsquerschnitte, aber auch Materialauswahl und Materialparameter als Brennstoffzellenparameter eingesetzt werden. Unter einem Anschlussparameter ist im Sinne der vorliegenden Erfindung die Integration und der Anschluss auf dem virtuellen Prüfstand zu verstehen. Neben Parametern, welche den Prüfstand beschreiben, beispielsweise Anschlussquerschnitte, Materialien des virtuellen Prüfstandes oder Ähnliches, können auch Dichtigkeitsparameter als Anschlussparameter vorgesehen werden.

Unter einem Gasparameter als Vorgabeparameter ist im Sinne der vorliegenden Erfindung jeder Parameter zu verstehen, welcher sich auf die verwendeten und/oder produzierten Gase bezieht. Insbesondere handelt es sich dabei um Gasparameter hinsichtlich des Anodenzuführungsgases und/oder des Kathodenzuführungsgases. Dabei kann es sich um die Volumenströme, um die insgesamt für den Test zur Verfügung gestellte Gasmenge und/oder um Gaskonzentrationen handeln. Auch Verschmutzungsgrade für die entsprechenden Gase oder Gastemperaturen können hier als Vorgabeparameter in Form des Gasparameters ausgewählt werden.

Unter einem Betriebsparameter ist im Sinne der vorliegenden Erfindung jeder Parameter zu verstehen, der für den Brennstoffzellenbetrieb im Testverlauf notwendig ist. Dabei kann es sich zum Beispiel um Druckinformationen, Temperaturinformationen, Betriebsdauern, Ventilstellungen, Stromabnahmen und/oder Stromerzeugungskomponenten handeln. Selbstverständlich sind insbesondere Parameter als Betriebsparameter zu verstehen, welche durch entsprechende virtuelle Sensoren beim Testverlauf an der Brennstoffzelle wahrgenommen und/oder geregelt werden können.

Sind die Vorgabeparameter gemäß der vorliegenden Erfindung vorgegeben, können diese in eine virtuelle Testvorrichtung eingegeben werden. Die virtuelle Testvorrichtung bildet auf dieser Basis auf virtueller Ebene die Prüfvorrichtung wie auch den Prototyp der Brennstoffzelle nach, sodass unter den gegebenen Vorgabeparametern der virtuelle Test durchgeführt werden kann. Die virtuelle Testvorrichtung weist hierfür insbesondere Rechenmittel auf, also beispielsweise eine CPU, welche in der Lage sind, die virtuellen Testschritte für den virtuellen Testlauf durchzuführen. Beispielsweise können hier algorithmische Zusammenhänge, physikalische und/oder chemische Zusammenhänge oder Ähnliches hinterlegt sein. In Kombination oder alternativ zu algorithmischen Korrelationen ist auch die Verwendung von neuronalen Netzwerken, also insbesondere die Verwendung einer sogenannten trainierten künstlichen Intelligenz, möglich. Eine Einschränkung auf die Verwendung einer künstlichen Intelligenz ist jedoch nicht notwendig.

Sobald nun mit Hilfe der Ausführung des virtuellen Tests auf der virtuellen Testvorrichtung virtuelle Testergebnisse erzeugt worden sind, können diese ausgegeben werden. Virtuelle Testergebnisse orientieren sich dabei insbesondere an einem Testziel, also dem Effekt, welcher bei dem virtuellen Test überwacht und/oder herausgefunden werden soll. So können die Testergebnisse sich beispielsweise mit der Stabilität einzelner Materialien, einem vorhersagbaren oder möglichen Defekt, einem Gasergebnis bei der Produktion eines Produktionsgases oder zum Beispiel mit der Stromerzeugung befassen. Insbesondere kann das Testergebnis auch einen Bezug auf Basisparameter mit sich bringen, um bereits eine quantitative und/oder qualitative Bewertung des Testergebnisses zu liefern.

Es bleibt zusammenzufassen, dass es mit einem erfindungsgemäßen Testverfahren möglich wird, den kompletten Test eines Prototyps einer Brennstoffzelle auf virtueller Ebene durchzuführen. Dies beruht darauf, dass zum einen durch die definierte Vorgabe von Vorgabeparametern die Rahmenbedingungen des durchzuführenden Tests auf virtueller Ebene mit variierbarem Detailgrad vorgegeben werden können. In einem zweiten Schritt ist die virtuelle Testvorrichtung in der Lage, auf Basis dieser Vorgabe, den virtuellen Test durchzuführen. Abschließend kann eine virtuelle Auswertung des durchgeführten virtuellen Tests erfolgen, sodass das entsprechende virtuelle Testergebnis zur Verfügung gestellt wird.

Durch die komplett virtuelle Ausgestaltung des Testverfahrens werden im Vergleich zur realen Durchführung von Tests auf physikalischer Ebene, eine Vielzahl von Vorteilen erzielt. Insbesondere wird der Kostenaufwand für die Herstellung physisch vorhandener Prototypen obsolet. Darüber hinaus sind auch keine realen Prüfstände mehr notwendig, da diese ebenfalls virtuell nachgebildet werden. Auch ist der Zeitaufwand für die Durchführung von solchen Tests reduziert, da unabhängig von dem Vorhandensein von realen Prototypen oder Prüfständen an einem Rechner ein oder mehrere Testverläufe sogar parallel durchgeführt werden können. Selbstverständlich kann das Testverfahren auch parallel auf mehreren Rechneinheiten durchgeführt werden, um einerseits eine Plausibilitätsprüfung durchzuführen oder aber mehrere Testreihen mit unterschiedlichen Vorgabeparametern parallel durchzuführen. Ein weiterer Kostenvorteil wird dadurch erzielt, dass kein Personal für den Betrieb der Prüfstände benötigt wird. Darüber hinaus kann durch paralleles Testen verschiedener Prototypen die Entwicklungszeit realer Prototypen verkürzt werden.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass selbstverständlich auch weiterhin reale Testverfahren durchgeführt werden können, um insbesondere die Genauigkeit der durchzuführenden virtuellen Tests zu verbessern. Ergebnisse solch realer Tests sind insbesondere dann vorteilhaft, wenn es sich um vollständig neue Materialkombinationen handelt oder neue technische Konzepte, um die entsprechend algorithmische und/oder anderweitige Korrelation in der virtuellen Testvorrichtung noch weiter zu verbessern und mit der Realität in Einklang zu bringen.

Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren die Ausführung des virtuellen Tests mittels eines neuronalen Netzes, insbesondere ausschließlich mittels eines neuronalen Netzes erfolgt. Unter einem neuronalen Netz ist insbesondere die Verwendung einer sogenannten künstlichen Intelligenz zu verstehen. Diese künstliche Intelligenz beziehungsweise das neuronale Netz ist mittels Maschinelernenmethoden darauf trainiert, einen realen Prüfstand mit einem Prototyp einer Brennstoffzelle nachzubilden. Das Verfahren für das Trainieren dieses neuronalen Netzes basiert dabei insbesondere auf Versuchswerten von bereits in der Vergangenheit durchgeführten realen Versuchen an Prototypen von Brennstoffzellen. Dabei ist es auch möglich, dass durch eine Qualifizierung und/oder Quantifizierung von Testergebnissen ein kontinuierlicher Lerneffekt am neuronalen Netz ausgebildet wird, sodass durch den kontinuierlichen Betrieb eines erfindungsgemäßen Testver-

fahrens die Genauigkeit und die Qualität der Testergebnisse immer weiter verbessert werden kann.

Vorteile bringt es weiter mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren das virtuelle Testergebnis, wenigstens eines der folgenden Bestandteile aufweist:

- Brennstoffzellenergebnis,
- Anschlussergebnis,
- Gasergebnis,
- Betriebsergebnis,
- Sensorergebnis.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Selbstverständlich kann ein virtuelles Testergebnis auch mehrere Einzelergebnisse aufweisen und passt insbesondere zum Testziel beziehungsweise zu den weiteren Vorgabeparametern. Unter einem Brennstoffzellenergebnis können beispielsweise Ergebnisse verstanden werden, welche durch Veränderungen oder Beschädigungen der Brennstoffzelle entstehen können. Unter einem Anschlussergebnis sind beispielsweise Dichtigkeitseffekte oder andere Effekte in der Korrelation zwischen dem virtuellen Prototyp der Brennstoffzelle und dem virtuellen Prüfstand zu verstehen.

Unter einem Gasergebnis ist dabei zum Beispiel die chemische Umsetzung von Anodenzuführungsgas und/oder Kathodenzuführungsgas im virtuellen Prototyp der Brennstoffzelle zu verstehen. So können beispielsweise Gasumsetzungsraten oder entstehende Abgase als Ergebnis ausgewiesen werden. Ein Betriebsergebnis bezieht sich insbesondere auf die Effizienz im Betrieb des Prototyps der Brennstoffzelle. Dies kann in der Umsetzung der Gase oder beispielsweise in der Stromerzeugung und/oder im Stromverbrauch liegen. Ein Sensorergebnis bezieht sich vorteilhafterweise darauf, dass in der virtuellen Nachbildung des Prüfstandes und der Brennstoffzelle in der Realität nachgebildete Sensoren mit entsprechenden Ergebnissen für den Testlauf nachgebildet werden. Es bleibt also zusammenzufassen, dass das Testergebnis sich insbesondere dahingehend variieren lässt, mit welchem Ziel der Test aktuell durchgeführt werden soll. So können beispielsweise Effizienztests an Brennstoffzellen andere Testergebnisse in ihrer Zusammensetzung aufweisen, als dies bei Stabilitätstests in der Langzeitnutzung von Brennstoffzellen der Fall ist.

Vorteilhaft ist es weiter, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren der wenigstens eine Testparameter ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:

- Testdauer,
- Testziel,
- Abbruchparameter,
- Kontrollstrategie.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Mit der Testdauer kann vorgegeben werden, wie lange der virtuelle Test durchgeführt werden soll. Auch ein Testziel kann vorgegeben werden, um beispielsweise unterschiedliche Testergebnisse voneinander zu unterscheiden. So sind beispielsweise Effizienzbetrachtungen als Testziel genauso möglich wie Langzeitstabilitätsbetrachtungen. Unter einem Abbruchparameter sind Grenzwerte zu verstehen, welche den Test final oder vorzeitig beenden. Dies können Schädigungsgrenzwerte sein, um beispielsweise eine Beschädigung oder einen Defekt des virtuellen Prototyps der Brennstoffzelle zu verhindern. Auch eine Kontrollstrategie ist als Testparameter vorgebar, um beispielsweise bewusst Eingriffe einer Kontrollstrategie zu unterdrücken oder aber verschiedene Kontrollmöglichkeiten an ein und demselben Prototyp einer Brennstoffzelle zu vergleichen.

Vorteile bringt es ebenfalls mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren der wenigstens eine Brennstoffzellenparameter ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:

- Geometrie,
- Strömungsquerschnitte,
- Materialauswahl für einzelne Komponenten,
- Sensorik.

Auch bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Unter der Geometrie sind insbesondere Abmessungen des Prototyps der Brennstoffzelle zu verstehen. Dabei kann es sich insbesondere um Übergangsquerschnitte, Materialquerschnitte oder den Schichtaufbau von einzelnen Bestandteilen

handeln. Auch Strömungsquerschnitte können für die Strömung von Gasen, insbesondere dann, wenn die Fluidodynamik beim virtuellen Test betrachtet werden soll, eine Rolle spielen und dementsprechend als Brennstoffzellenparameter eingesetzt werden. Auch die Materialauswahl für einzelne Komponenten und die entsprechenden Materialparameter können eingesetzt werden, um Brennstoffzellenparameter auszubilden. Dabei kann es sich zum Beispiel um Dichtigkeitswerte, um Materialdichten, um Korngrößen, um mechanische Härten oder Ähnliches handeln. Auch kann der Brennstoffzellenparameter die Art, den Ort und/oder die Menge vorhandener Sensorik aufweisen, um sicherzustellen, dass insbesondere Kontrollverfahren auf virtueller Ebene mit den real möglichen Kontrollverfahren bei real vorhandenen Sensorelementen korreliert. Auch Katalysatormaterialien können bei der Vorgabe der Brennstoffzellenparameter berücksichtigt werden. Durch eine Anbindung und/oder eine Schnittstelle zu einem CAD System sind insbesondere die geometrischen Brennstoffzellenparameter sehr einfach und schnell variierbar. Dies kann gezielt auf Basis eines Testergebnisses aus einem vorangegangenen TEs erfolgen und/oder als Teil einer vordefinierten Testreihe.

Vorteile bringt es weiter mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren der wenigstens eine Anschlussparameter ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:

- Dichtungsart,
- Dichtungskraft,
- Dichtungsmaterial,
- Dichtungsgeometrie,
- Befestigung für den Testbetrieb.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Die Dichtungsqualität kann dabei insbesondere hinsichtlich der Kraft, des Materials, der Art und der Geometrie variieren. So kann sichergestellt werden, dass auch die Rahmenbedingungen des Prüfstandes bei dem virtuellen Test berücksichtigt werden. Auch entsprechende Ausdehnungskoeffizienten auf Basis von sich erhöhender Temperatur am Prototyp der Brennstoffzelle können durch die Berücksichtigung der Befestigung am Prüfstand für diese Brennstoffzelle betrachtet werden. Die

Anschlussparameter dienen dabei insbesondere auch einer Dauerbetrachtung an einem virtuellen Prüfstand, um möglicherweise reduzierte Stabilität und über die Dauer entstehende mechanische Effekte am Prüfstand ebenfalls berücksichtigen zu können. So sind beispielsweise Undichtigkeiten in Form eines Gradienten über die Zeit als Anschlussparameter betrachtbar, vorgebar und/oder als Teil des Testergebnisses für zukünftige Durchläufe der virtuellen Tests speicherbar.

Ein weiterer Vorteil kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren der wenigstens eine Gasparameter ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:

- Gaszusammensetzung Anodenzuführgas,
- Gasgesamtmenge Anodenzuführgas,
- Gaszusammensetzung Kathodenzuführgas,
- Gasgesamtmenge Kathodenzuführgas.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Auch hier sind Veränderungen über die Zeit möglich, sodass sich beispielsweise die Gaszusammensetzung und/oder die Gasmenge je nach Betriebssituation über den Verlauf des virtuellen Tests ändert. Auch sind beispielsweise Wechsel von unterschiedlichen Brenngasen und damit der Einsatz für SOFC-Brennstoffzellen wie auch für Wasserstoffbrennstoffzellen (PEM) möglich. Insbesondere ist noch darauf hinzuweisen, dass selbstverständlich auch weitere Gase, insbesondere Abgase auf der Anodenseite und/oder der Kathodenseite der Brennstoffzelle, betrachtet werden können. Dabei ist es möglich, die Menge für das jeweilige Gas für den gesamten virtuellen Test vorzugegeben. Auch eine intelligente Kontrolle in Abhängigkeit der Gasmenge ist denkbar und kann als „intelligent option“ bezeichnet werden. Wird keine intelligente Kontrolle der Gasmenge durchgeführt, so wird der Test ohne detaillierte Analyse der Gasmengen durchgeführt. Beide Varianten, also mit und ohne Betrachtung der Gasmenge sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung einsetzbar.

Vorteilhaft ist es weiter, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren der wenigstens eine Betriebsparameter ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:

- Temperatur,
- Druck,

- Betriebsdauer,
- Ventilstellungen,
- Stromabnahme/-erzeugung.

Auch bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Insbesondere werden als Betriebsparameter alle Parameter betrachtet, welche beim Betrieb der Brennstoffzelle über den Verlauf des virtuellen Testverfahrens gesteuert und/oder geregelt werden sollen. So können unterschiedliche Betriebssituationen sowie die entsprechenden Kontrolleffekte in solchen Betriebssituationen berücksichtigt und als Teil des virtuellen Tests betrachtet werden. Weiter sind auch unterschiedliche Kombinationen berücksichtigbar, um vorteilhafterweise komplexe Kontrollstrategien für den Testverlauf durchführen zu können. Auch kann durch einen oder mehrere Betriebsparameter die Art des Tests variiert werden. So sind beispielsweise in-situ Tests, also in der virtuellen Umgebung eines Brennstoffzellensystems, und ex-situ Tests, also eine isolierte Testmöglichkeit, denkbar. Auch können Halbzellen-Tests durchgeführt werden.

Vorteilhaft ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren wenigstens einer der Vorgabeparameter aus einer Liste ausgewählt wird. Neben einer grundsätzlich möglichen freien Eingabe bringt der Listenauswahlschritt eine Plausibilitätsprüfung der Eingabe mit sich. So sind beispielsweise unplausible oder unmögliche Vorgabeparameter mit einer Listenauswahl nahezu ausgeschlossen. Die Vorgabeliste für die Vorgabeparameter ist damit insbesondere auf vernünftige und/oder technisch sinnvolle Werte begrenzt. Auch ist es möglich, dass für jeden einzelnen Vorgabeparameter hinsichtlich seiner Art eigene Listen bestehen. Dabei ist es möglich, dass verschiedene Listen einander bedingen. Wird beispielsweise als Brennstoffzellenparameter eine PEM-Brennstoffzelle definiert, so ist entsprechend die Liste für die Gasparameter beschränkt auf die Verwendung von Wasserstoff als Brenngas. Dies erlaubt es, noch genauer den Testverlauf vorherzusehen und auf technisch sinnvolle Testziele und Testdurchläufe zu reduzieren.

Vorteile bringt es weiter mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren die Ausführung des virtuellen Tests vorab mittels wenigstens einer definierten Defekt-Betriebsweise kalibriert wird. Werden vollständig neue virtuelle Prüfstände und/oder vollständig neue virtuelle Prototypen von Brennstoffzellen getestet, so kann

eine Kalibrierung notwendig sein. Um sicherzustellen, dass die Testergebnisse auf virtueller Ebene auch einer Plausibilitätsprüfung standhalten, kann in einem ersten Kalibrierungsschritt aktiv eine virtuelle Beschädigung des virtuellen Prüfstandes und/oder der Brennstoffzelle herbeigeführt werden. Dadurch, dass es sich hier um einen ausschließlich virtuellen Test handelt, entstehen hierdurch keine Nachteile, da keine realen, physischen Beschädigungen eintreten. Eine solche Defekt-Betriebsweise führt also dazu, dass beispielsweise Betriebsbedingungen vorgegeben werden, welche mit höchster Sicherheit in der Realität zu einem definierten und vorhersagbaren Defekt führen müssen. Sofern also der Kalibrierungsdurchlauf des virtuellen Testverfahrens den gleichen vorhersagbaren Defekt aufweist, kann von einer positiven Kalibrierung ausgegangen werden. Es ist also möglich, insbesondere bei komplett neuen Testsituationen, eine grundsätzliche Plausibilitätsprüfung zur Kalibrierung vorzusehen. Auch ist es im Rahmen der vorliegenden Erfindung möglich, nach dem Ablauf des virtuellen Tests die Ergebnisse auf erfolgreiche Kontrollstrategien zu analysieren. Ziel einer solchen Analyse ist insbesondere die Erkennung einer erfolgreichen Vermeidung eines Defekts oder einer Beschädigung der Brennstoffzelle.

Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren, die Vorgabeparameter und/oder das virtuelle Testergebnis wenigstens teilweise gespeichert werden. Die Speicherung erlaubt es auch später noch auf ein solches Testergebnis zurückgreifen zu können. Insbesondere wird die Korrelation aus Vorgabeparametern und virtuellen Testergebnissen gespeichert, um deren Korrelation und Zusammenhang für die spätere Nutzung vorliegen zu haben. Die Speicherung kann insbesondere zur Optimierung der virtuellen Testvorrichtung genutzt werden. Auch ein Speichern von weiteren Messwerten bei der virtuellen Durchführung, insbesondere von Parametern, welche nicht Teil des Testergebnisses sein sollen, ist selbstverständlich im Rahmen der vorliegenden Erfindung denkbar.

Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren das virtuelle Testergebnis qualitativ und/oder quantitativ überprüft wird und anschließend die virtuelle Testvorrichtung anhand des Prüfungsergebnisses optimiert wird. Eine solche Überprüfung erlaubt es also, die Qualität und/oder die Quantität und damit die Richtigkeit des Testergebnisses zu überprüfen. Sofern hier eine Diskrepanz und ein Qualitätsmangel vorliegt, kann diese dazu genutzt werden, eine Optimierung der virtuellen Testvorrichtung durchzuführen. Es kann also eine selbstlernende Schleife zur

Verfügung gestellt werden, welche jeder Durchführung eines virtuellen Tests einen Optimierungsschritt der virtuellen Testvorrichtung selbst anschließen lässt. Dies kann sofort nach dem Test erfolgen, aber auch auf Basis von gespeicherten Daten. Insbesondere erfolgt es zu einem Zeitpunkt, zu welchem auf der entsprechenden virtuellen Testvorrichtung kein virtueller Test durchläuft, um eine zeitliche Unterscheidung zwischen virtuellem Test und Optimierungslauf der virtuellen Testvorrichtung zur Verfügung zu stellen.

Vorteile bringt es ebenfalls mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren der virtuelle Test mehrfach durchgeführt wird, wobei wenigstens ein Vorgabeparameter sich zwischen den Durchführungsläufen unterscheidet. Dies ist insbesondere der Fall, wenn auf einem virtuellen Prüfstand ein virtueller Prototyp einer Brennstoffzelle unterschiedlichen Tests unterzogen werden soll. Dabei kann insbesondere ein definierter kontinuierlicher Testzyklus als Testreihe möglich werden. Im Gegensatz zu realen Tests kann beispielsweise die Gaszusammensetzung schrittweise von Test zu Test verändert werden. So kann beispielsweise herausgefunden werden, ab welcher Grenzkonzentration einer vorgegebenen Verunreinigung in einem Gas eine nicht mehr reversible Schädigung der Brennstoffzelle eintritt. In der entsprechend zugehörigen Testreihe würde die Verunreinigung an dem entsprechenden Gas schrittweise erhöht werden, bis im Testergebnis der irreversible Effekt als Schädigung sichtbar werden würde. Dabei kann die Vorgabe der Schrittweite zwischen den einzelnen Tests einer Testreihe ebenfalls variiert werden.

Vorteilhaft ist es darüber hinaus, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren für ein Training der virtuellen Testvorrichtung, vorhandene, reale Testergebnisse eingesetzt worden sind. Dies basiert insbesondere auf Testergebnissen, welche an realen Prüfständen mit realen Prototypen von Brennstoffzellen bereits durchgeführt worden sind. Jedoch ist es auch möglich, virtuell durchgeführte Tests in der Realität nochmals durchzuführen und die realen Testergebnisse mit den virtuellen Testergebnissen zu vergleichen. Das Vergleichsergebnis kann beispielsweise, wie dies bereits erläutert worden ist, zur Optimierung der virtuellen Testvorrichtung verwendet werden.

Ebenfalls Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren für wenigstens einen der Vorgabeparameter ein Defekt der Brennstoffzelle für den Ablauf des virtuellen Tests vorgegeben wird. Somit kann aktiv eine Defektsituati-

on simuliert werden. Dabei kann es sich um unterschiedlich große Defekte handeln, von einem Riss der Membran der Brennstoffzelle bis zu einer vorgegebenen, kleinen und akzeptablen Leckagerate. Auch kann auf diese Weise ein Test der Anfälligkeit der Zelle für solche Defekte erzeugt werden, sodass eine Aussage über die Betriebsrobustheit möglich wird. Insbesondere ist es hier möglich, diesen Defekt als Alterungseffekt zu definieren, sodass nach mehreren Durchläufen von virtuellen Tests, der Prüfstand und/oder die entsprechende mehrfach verwendete Brennstoffzelle Alterungseffekte aufweisen können. Beispielsweise kann ein Zähler die Anzahl der virtuellen Tests auf dem virtuellen Prüfstand zählen. Hier ist grundsätzlich auch ein Reset des Zählers denkbar, um den virtuellen Prüfstand wieder in seinen ursprünglichen Neuzustand zu versetzen.

Vorteilhaft ist es weiter, wenn bei einem erfindungsgemäßen Testverfahren bei einer wiederholten Durchführung eines virtuellen Tests ein Alterungseffekt der Brennstoffzelle und/oder der virtuellen Testvorrichtung berücksichtigt wird. Alterungseffekte beziehen sich beispielsweise auf Alterung von Materialien, Alterung von Abdichtungen oder andere Alterungseffekte. Insbesondere ist dieser Alterungseffekt fest eingestellt und vorzugsweise manuell unveränderbar. Ein solcher Alterungseffekt kann beispielsweise durch eine Zählung der Testdurchläufe der virtuellen Brennstoffzelle generiert werden. So kann eine Brennstoffzelle zum Beispiel bis zum EoL (End of Life) und/oder bis zum EoS (End of service) für virtuelle Tests eingesetzt und die Alterung berücksichtigt werden. Das Bedienpersonal des virtuellen Tests kann also in diesen Alterungseffekt nicht eingreifen. Dies gilt insbesondere für den Alterungseffekt an der Brennstoffzelle und den Alterungseffekt am Prüfstand. Selbstverständlich ist jedoch grundsätzlich auch ein virtueller Reset des Alterungseffekts möglich, sodass eine mehrfach verwendete Brennstoffzelle wieder in einen neuwertigen Prototyp zurückgesetzt werden kann.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine virtuelle Testvorrichtung für die Durchführung eines virtuellen Tests einer Brennstoffzelle. Eine solche virtuelle Testvorrichtung weist ein Vorgabemodul für die Vorgabe wenigstens eines Vorgabeparameters auf. Weiter ist ein Eingabemodul für eine Eingabe des wenigstens einen Vorgabeparameters vorgesehen. Mit Hilfe eines Ausführungsmoduls ist eine Ausführung des virtuellen Tests auf Basis der Vorgabeparameter möglich. Über ein Ausgabemodul ist eine Ausgabe eines virtuellen Testergebnisses durchführbar. Das Vorgabemodul, das Eingabemodul, das Ausführungsmodul und/oder das Ausgabemodul

sind dabei für die Ausführung eines erfindungsgemäßen Testverfahrens ausgebildet. Somit bringt eine virtuelle Testvorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Testverfahren erläutert worden sind.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, welche bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren mit den Merkmalen der vorliegenden Erfindung auszuführen. Dies kann beispielsweise auch durch Sprachkommandos erfolgen. Damit bringt auch ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Testverfahren erläutert worden sind.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Es zeigen schematisch:

- Fig. 1 ein grundsätzlicher schematischer Aufbau einer Brennstoffzelle,
- Fig. 2 ein erster Schritt eines erfindungsgemäßen Testverfahrens,
- Fig. 3 ein weiterer Schritt eines erfindungsgemäßen Testverfahrens,
- Fig. 4 ein weiterer Schritt eines erfindungsgemäßen Testverfahrens,
- Fig. 5 ein weiterer Schritt eines erfindungsgemäßen Testverfahrens,
- Fig. 6 eine mögliche Aufzählung von Vorgabeparametern,
- Fig. 7 eine mögliche Aufzählung von Testergebnissen,
- Fig. 8 eine Alternative für ein erfindungsgemäßes Testverfahren,
- Fig. 9 eine weitere Alternative für ein erfindungsgemäßes Testverfahren.

In der Figur 1 ist sehr schematisch ein Grundaufbau einer Brennstoffzelle 100 dargestellt. Schematisch ist hier, nicht näher bezeichnet, die Dreiteiligkeit zwischen einem

Anodenabschnitt, einem Kathodenabschnitt und der dazwischenliegenden Membran dargestellt. Um die beiden unterschiedlichen Abschnitte der Brennstoffzelle 100 mit den zugeführten Gasen zu versorgen, sind hier links und rechts Anschlüsse dargestellt, welche auf einem realen Prüfstand in physischer Weise angeschlossen und ausgebildet sind.

Erfindungsgemäß wird gemäß Figur 2 nun die virtuelle Testvorrichtung 10 eine komplett virtuelle Durchführung des Tests ermöglichen. In einem ersten Schritt ist hierfür innerhalb der virtuellen Testvorrichtung 10 nicht nur durch die Anschlüsse an einem Prüfstand derselbe virtuell nachgebildet, sondern auch die Brennstoffzelle 100 selbst. Diese Nachbildung basiert dabei auf den entsprechenden Vorgabeparametern VP, welche hier vom Vorgabemodul 20 vorgegeben werden. Das Vorgabemodul 20 der Testvorrichtung 10 dient also dazu, in den erfindungsgemäßen Vorgabeschritten des Testverfahrens den Anschluss und damit den Prüfstand, die Brennstoffzelle 100 und damit die Brennstoffzellenparameter VPZ wie auch die Testziele VPZ, Gasparameter VPG und Ähnliches vorzugeben. Mit anderen Worten modelliert die virtuelle Testvorrichtung 10 mit Hilfe des Vorgabemoduls 20 die Testsituation, die Brennstoffzelle 100 und den Prüfstand. Wie ebenfalls in der Figur 2 dargestellt ist, kann die komplette Durchführung der Modellierung mit Unterstützung eines Algorithmus oder hier eines neuronalen Netzes NN erfolgen.

Die Figur 3 zeigt einen möglichen nächsten Schritt eines erfindungsgemäßen Testverfahrens. Die Vorgabeparameter VP werden nun mit Hilfe des Eingabemoduls 30 nach der erfolgten Modellierung verwendet und in den nachgelagerten Algorithmus, beziehungsweise das neuronale Netz NN, eingegeben. Anschließend kann mit Hilfe des Ausführungsmoduls, wie dies die Figur 4 zeigt, eine Durchführung des virtuellen Tests erfolgen. Dies basiert insbesondere auf den gespeicherten realen Korrelationen zwischen Vorgabeparametern VP und Testabläufen. Damit wird in dem neuronalen Netz NN dieser Ausführungsform der modellierte Testaufbau verwendet, um einen virtuellen Betrieb der Brennstoffzelle 100 zu simulieren und durchzuführen.

In Figur 5 ist nun nach Beendigung des Tests eine Ausgabe des Testergebnisses TE möglich, welche eine Vielzahl von Einzeltestinformationen enthalten kann.

Basierend auf der rein virtuell durchgeführten Modellierung, Testdurchführung und Testauswertung kann gemäß Figur 6 eine Vielzahl unterschiedlicher Vorgabeparameter VP gewählt werden. Die Vorgabeparameter VP sind hier in einer Liste darge-

stellt und weisen zumindest einen Testparameter VPT, zumindest einen Brennstoffzellenparameter VPZ, zumindest einen Anschlussparameter VPA, zumindest einen Gasparameter VPG und zumindest einen Betriebsparameter VPB auf. Selbstverständlich ist für jeden dieser einzelnen Arten von Vorgabeparametern VP eine Vielzahl von Einzelparametern denkbar. Je größer die Anzahl an Vorgabeparametern VP gewählt wird, umso höher ist auch der Detaillierungsgrad der Modellierung des durchzuführenden virtuellen Tests. Entsprechend eines erhöhten Detaillierungsgrades ist auch mit einem höheren Detailgrad des Testergebnisses TE zu rechnen sowie mit einer erhöhten Rechenleistung.

Die Figur 7 zeigt schematisch, dass auch das Testergebnis TE verschiedene Einzelkomponenten aufweisen kann. So sind hier in der Liste beispielhaft ein Brennstoffzellenergebnis TEZ, ein Anschlussergebnis TEA, ein Gasergebnis TEG, ein Betriebsergebnis TEB und ein Sensorergebnis TES dargestellt. Das Testergebnis TE kann wenigstens eines dieser Testergebnisse TE oder eine Kombination verschiedener Testergebnisse TE aufweisen. Jedes einzelne Testergebnis TE kann wiederum eine Vielzahl von Einzelparametern aufweisen und dementsprechend ähnlich den Vorgabeparametern VP hinsichtlich des gewünschten Detaillierungsgrades angepasst werden. Ein hoher Detaillierungsgrad an Vorgabeparametern VP und ein hoher Detaillierungsgrad an Testergebnissen TE erlaubt es auf Basis einer deutlich erhöhten notwendigen Rechenleistung, eine sehr genaue virtuelle Testausführung durchzuführen.

Die Figur 8 zeigt eine schematische Variante zur Durchführung des Testverfahrens. So wird hier separat zur Ausgabe des Testergebnisses TE am Ende eines virtuellen Tests eine Speicherung des Testergebnisses TE in einem Speichermodul 60 durchgeführt. Dies kann zum Beispiel dazu verwendet werden, das Testergebnis TE später zu verifizieren, nochmals auszugeben oder mit zukünftigen oder alten Testergebnissen TE zu vergleichen.

Die Figur 9 zeigt eine Weiterbildung der Variante der Figur 8. Hier wird das gespeicherte Testergebnis TE aus dem Speichermodul 60 in das neuronale Netz NN zurückgespielt und zur Optimierung der virtuellen Testvorrichtung 10 verwendet. Insbesondere kann hier durch maschinelles Lernen und vorausgehende Qualitätskontrolle des Testergebnisses TE eine über dem Nutzungsverlauf der Testvorrichtung 10 dauernde Optimierungsschleife zur Verfügung gestellt werden.

Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen. Selbstverständlich können einzelne Merkmale der Ausführungsformen, sofern technisch sinnvoll, frei miteinander kombiniert werden, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

10	Virtuelle Testvorrichtung
20	Vorgabemodul
30	Eingabemodul
40	Ausführungsmodul
50	Ausgabemodul
60	Speichermodul
100	Brennstoffzelle
VP	Vorgabeparameter
VPT	Testparameter
VPZ	Brennstoffzellenparameter
VPA	Anschlussparameter
VPG	Gasparameter
VPB	Betriebsparameter
TE	virtuelles Testergebnis
TEZ	Brennstoffzellenergebnis
TEA	Anschlussergebnis
TEG	Gasergebnis
TEB	Betriebsergebnis
TES	Sensorergebnis
NN	neuronales Netz

Patentansprüche

1. Testverfahren für ein virtuelles Testen einer Brennstoffzelle (100), aufweisend die folgenden Schritte:
 - Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Testparameters (VPT) für den Ablauf des virtuellen Tests,
 - Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Brennstoffzellenparameters (VPZ) für die virtuell zu testende Brennstoffzelle (100),
 - Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Anschlussparameters (VPA) für die virtuell zu testende Brennstoffzelle (100),
 - Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Gasparameters (VPG) für die bei dem virtuellen Test zu verwendenden Gase,
 - Vorgeben eines Vorgabeparameters (VP) in Form wenigstens eines Betriebsparameters (VPB) für einen virtuellen Betrieb der Brennstoffzelle (100),
 - Eingabe der vorgegebenen Vorgabeparameter (VP) in eine virtuelle Testvorrichtung (10),
 - Ausführen des virtuellen Tests auf Basis der Vorgabeparameter (VP) zur Erzeugung eines virtuellen Testergebnisses (TE),
 - Ausgabe des erzeugten virtuellen Testergebnisses (TE) aus der Testvorrichtung (10).
2. Testverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausführung des virtuellen Tests mittels eines neuronalen Netzes (NN), insbesondere ausschließlich mittels eines neuronalen Netzes (NN), erfolgt.

3. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das virtuelle Testergebnis (TE) wenigstens eines der folgenden Bestandteile aufweist:
 - Brennstoffzellenergebnis (TEZ)
 - Anschlussergebnis (TEA)
 - Gasergebnis (TEG)
 - Betriebsergebnis (TEB)
 - Sensorergebnis (TES)
4. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Testparameter (VPT) ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:
 - Testdauer
 - Testziel
 - Abbruchparameter
 - Kontrollstrategie
5. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Brennstoffzellenparameter (VPZ) ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:
 - Geometrie
 - Strömungsquerschnitte
 - Materialauswahl für einzelne Komponenten
 - Sensorik

6. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Anschlussparameter (VPA) ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:
- Dichtungsart
 - Dichtungskraft
 - Dichtungsmaterial
 - Dichtungsgeometrie
 - Befestigung für den Testbetrieb
7. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Gasparameter (VPG) ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:
- Gaszusammensetzung Anodenzuführgas
 - Gasgesamtmenge Anodenzuführgas
 - Gaszusammensetzung Kathodenzuführgas
 - Gasgesamtmenge Kathodenzuführgas
8. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wenigstens eine Betriebsparameter (VPB) ausgewählt ist aus der folgenden Aufzählung:
- Temperatur
 - Druck
 - Betriebsdauer
 - Ventilstellungen
 - Stromabnahme/Erzeugung

9. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens einer der Vorgabeparameter (VP) aus einer Liste ausgewählt wird.
10. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausführung des virtuellen Tests vorab mittels wenigstens einer definierten Defekt-Betriebsweise kalibriert wird.
11. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorgabeparameter (VP) und/oder das virtuelle Testergebnis (TE) wenigstens teilweise gespeichert werden.
12. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das virtuelle Testergebnis (TE) qualitativ und/oder quantitativ überprüft wird und anschließend die virtuelle Testvorrichtung (10) anhand des Prüfungsergebnisses optimiert wird.
13. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der virtuelle Test mehrfach durchgeführt wird, wobei wenigstens ein Vorgabeparameter (VP) sich zwischen den Durchführungsläufen unterscheidet.
14. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für ein Training der virtuellen Testvorrichtung (10) vorhandene, reale Testergebnisse eingesetzt worden sind.
15. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für wenigstens einen der Vorgabeparameter (VP) ein Defekt der Brennstoffzelle (100) für den Ablauf des virtuellen Tests vorgegeben wird.
16. Testverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer wiederholten Durchführung eines virtuellen Tests ein Alterungseffekt der Brennstoffzelle (100) und/oder der virtuellen Testvorrichtung (10) berücksichtigt wird.

17. Virtuelle Testvorrichtung (10) für die Durchführung eines virtuellen Tests einer Brennstoffzelle (100), aufweisend ein Vorgabemodul (20) für die Vorgabe wenigstens eines Vorgabeparameters (VP), ein Eingabemodul (30) für eine Eingabe des wenigstens einen Vorgabeparameters (VP), ein Ausführungsmodul (40) für eine Ausführung des virtuellen Tests auf Basis der Vorgabeparameter (VP) und ein Ausgabemodul (50) für eine Ausgabe eines virtuellen Testergebnisses, wobei das Vorgabemodul (20), das Eingabemodul (30), das Ausführungsmodul (40) und/oder das Ausgabemodul (50) für eine Ausführung eines Verfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 16 ausgebildet sind.
18. Computerprogrammprodukt umfassend Befehle, welche bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 16 auszuführen.

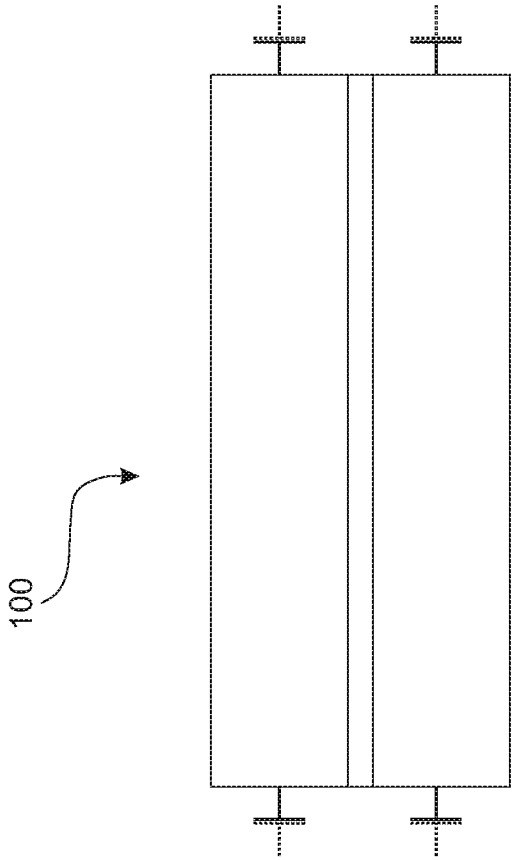


Fig. 1

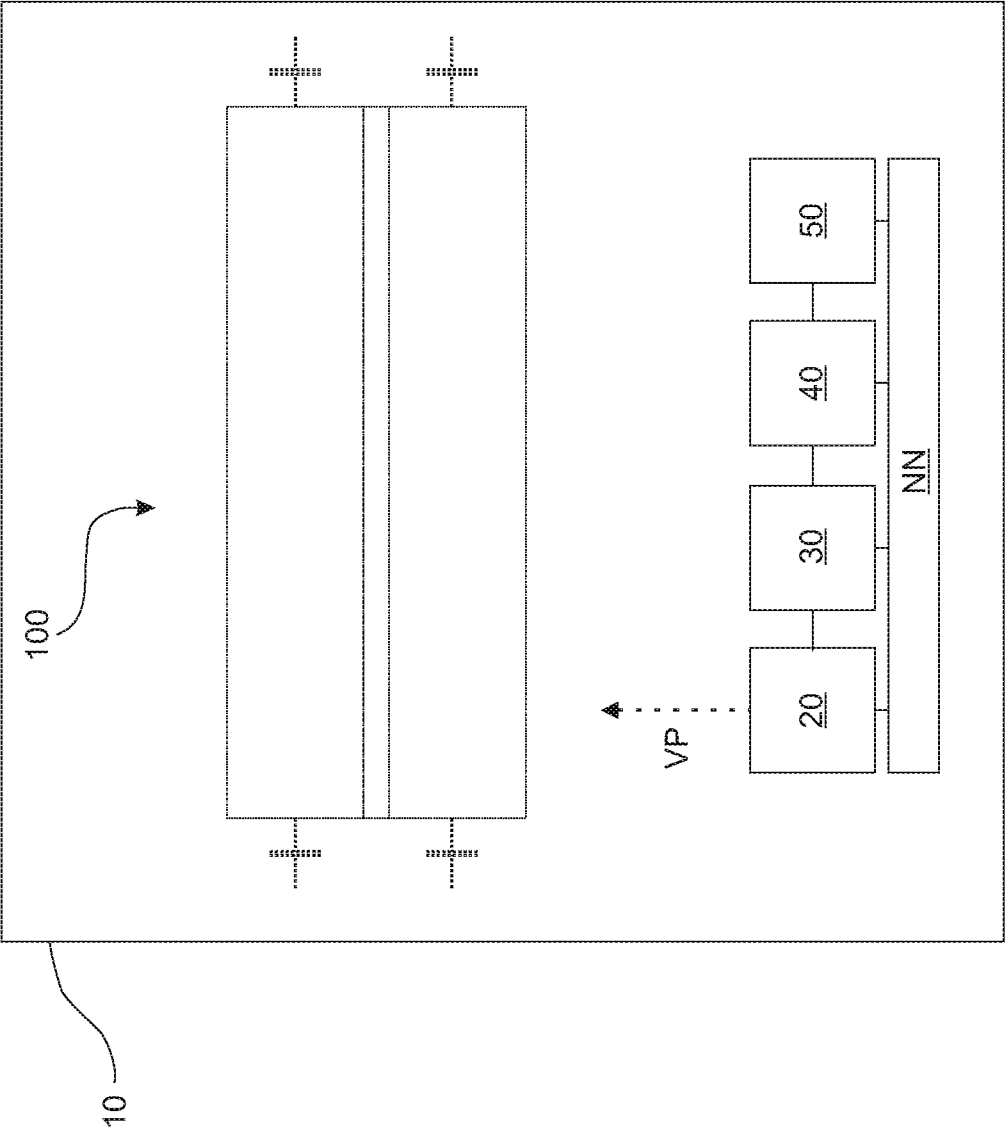


Fig. 2

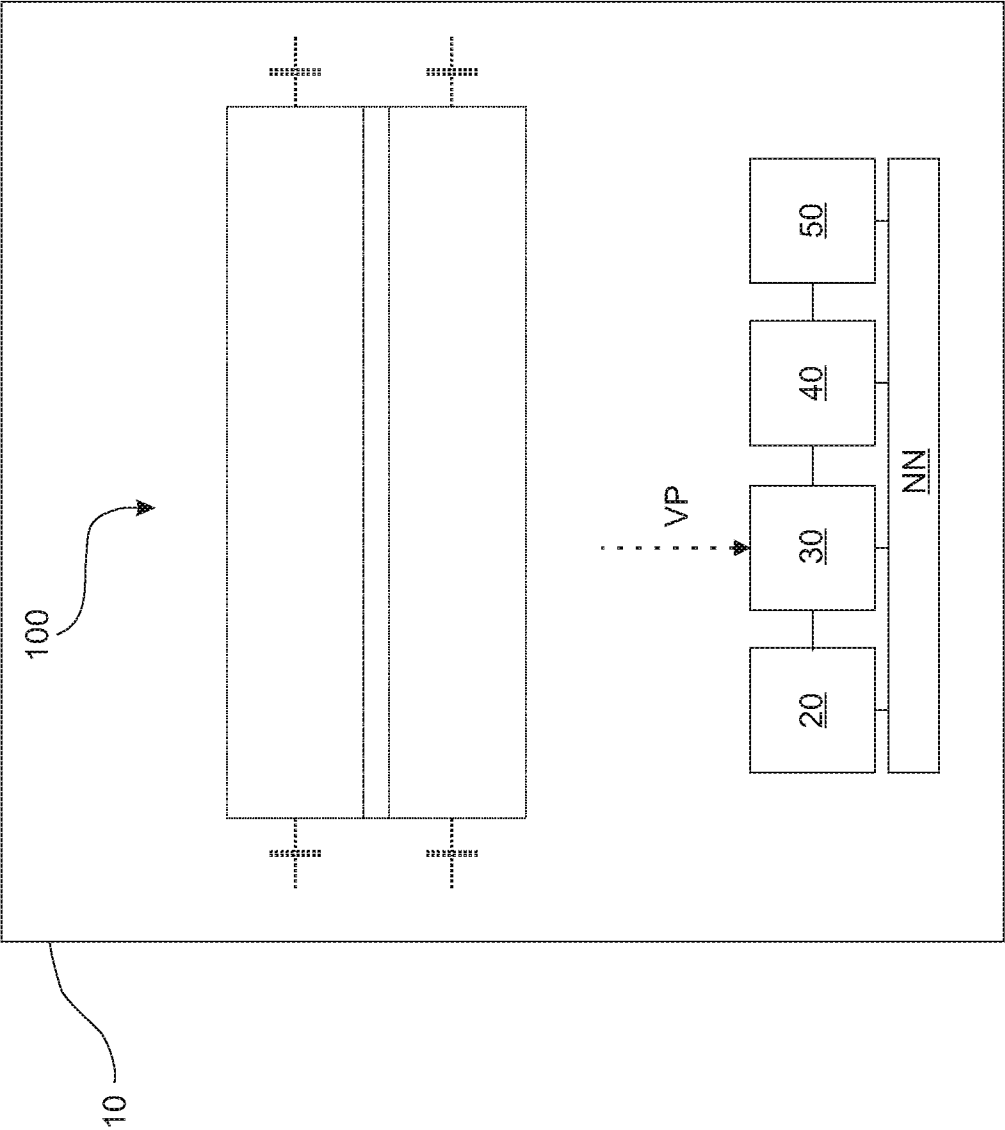


Fig. 3

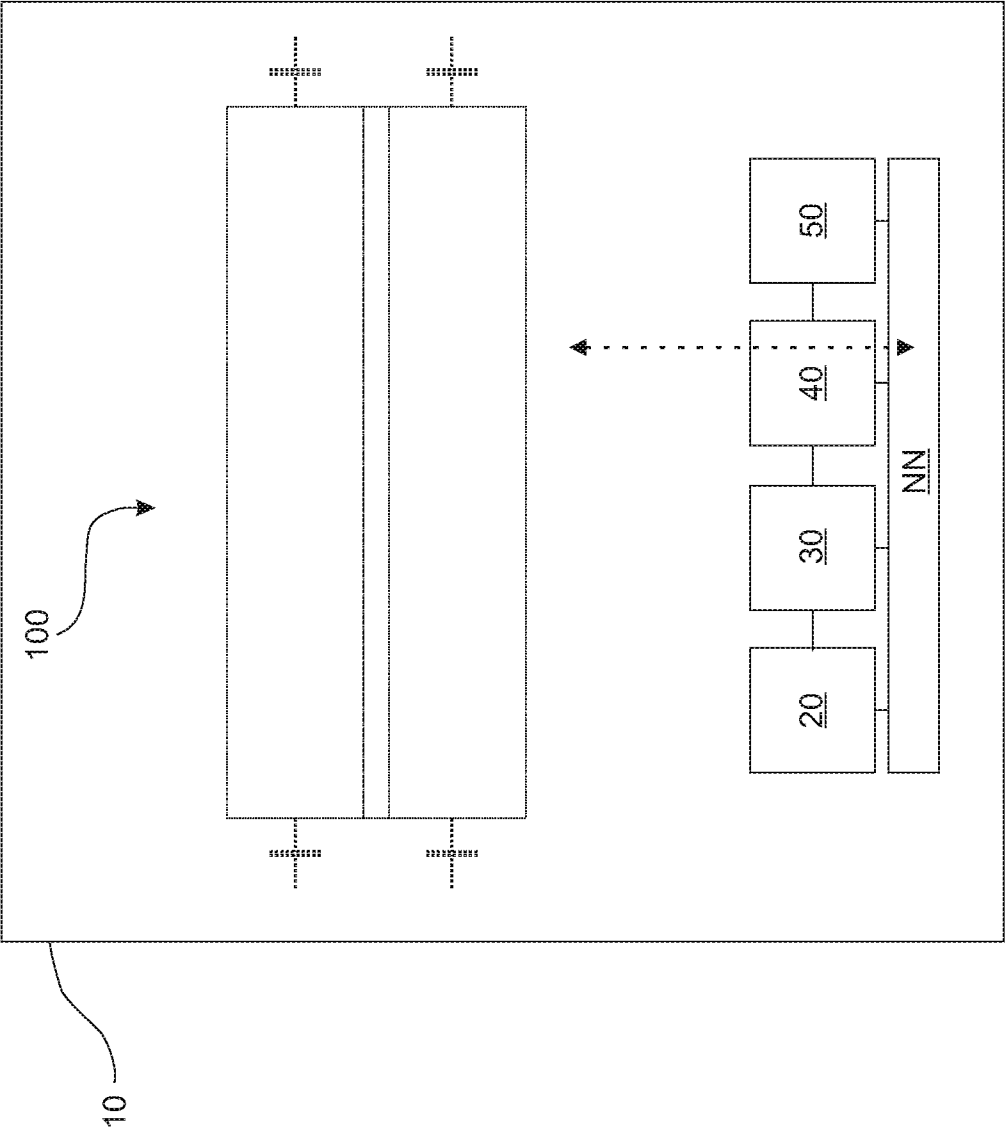


Fig. 4

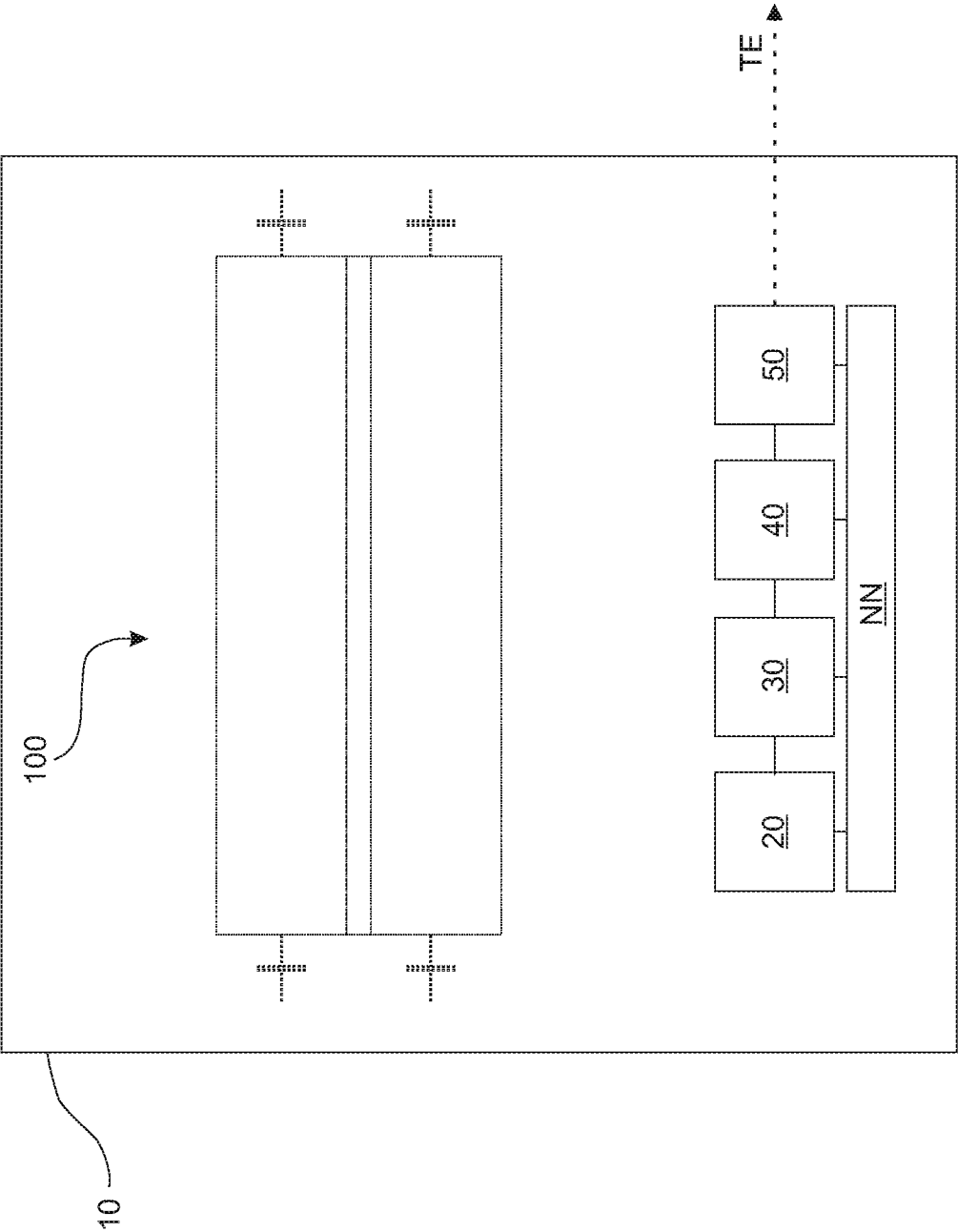


Fig. 5

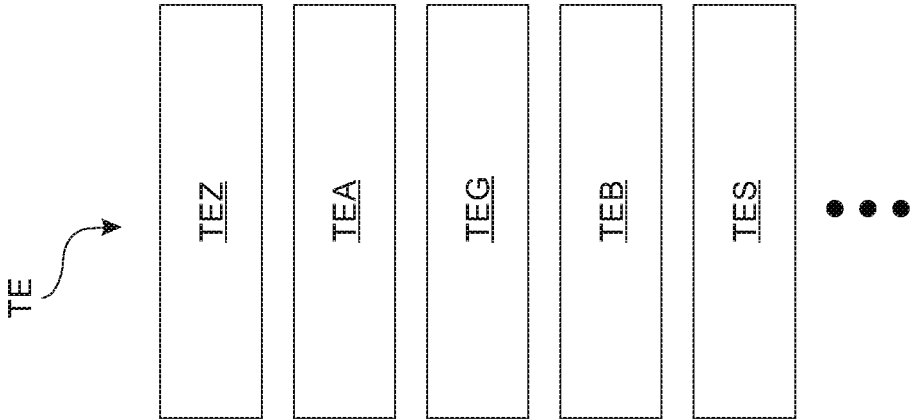


Fig. 7

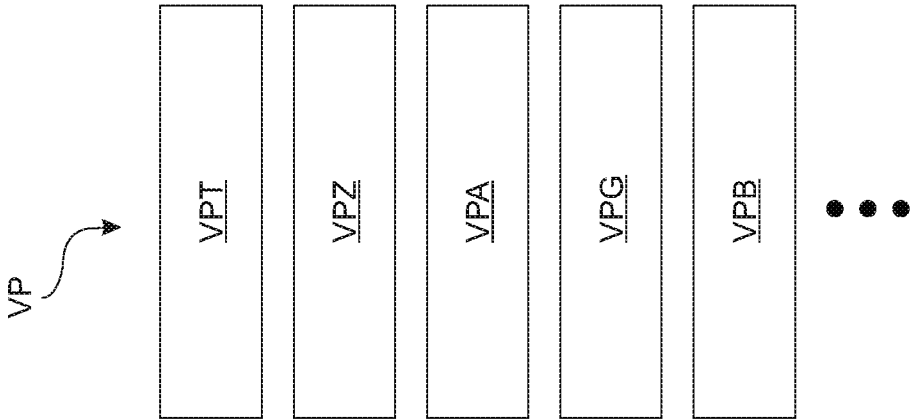


Fig. 6

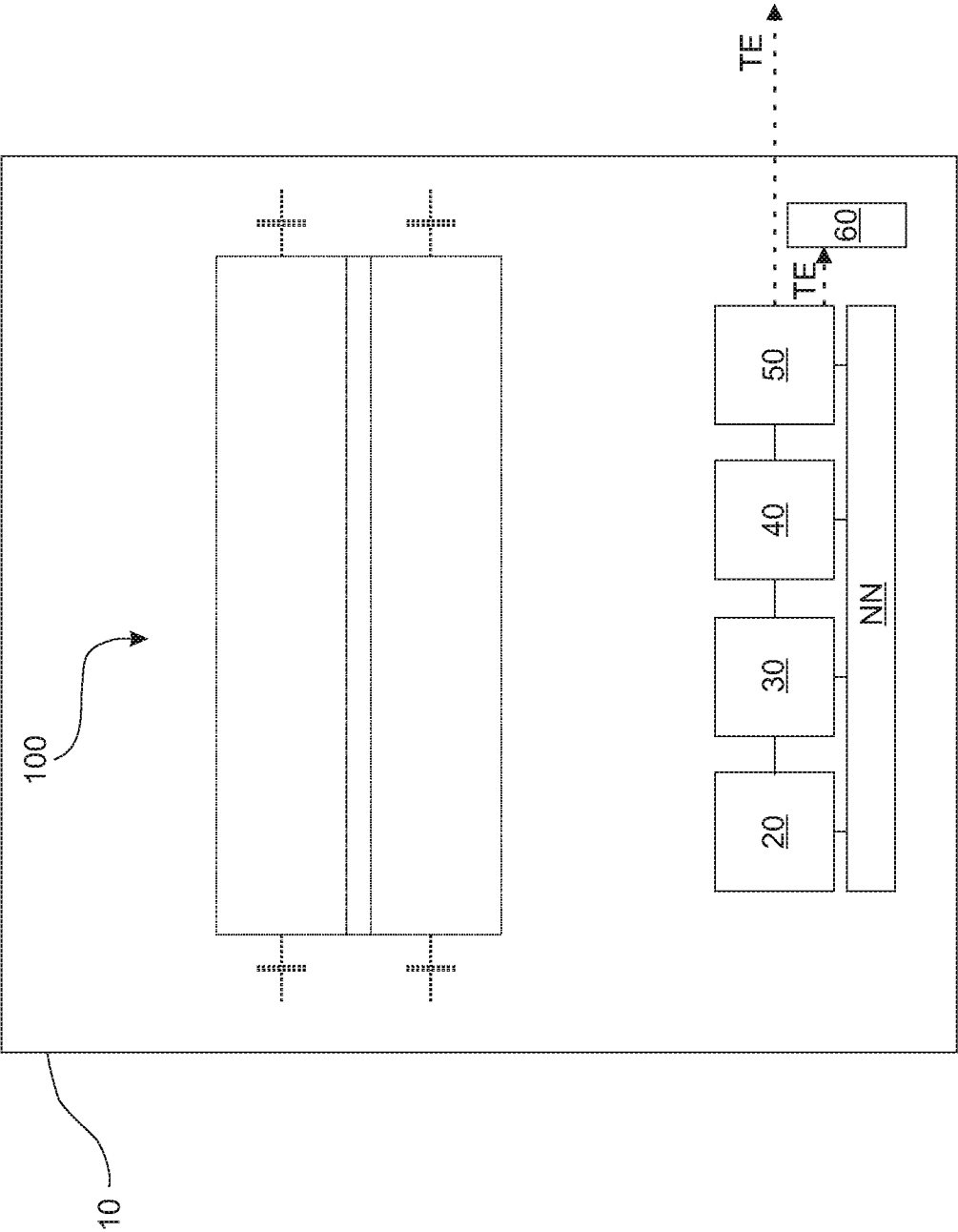


Fig. 8

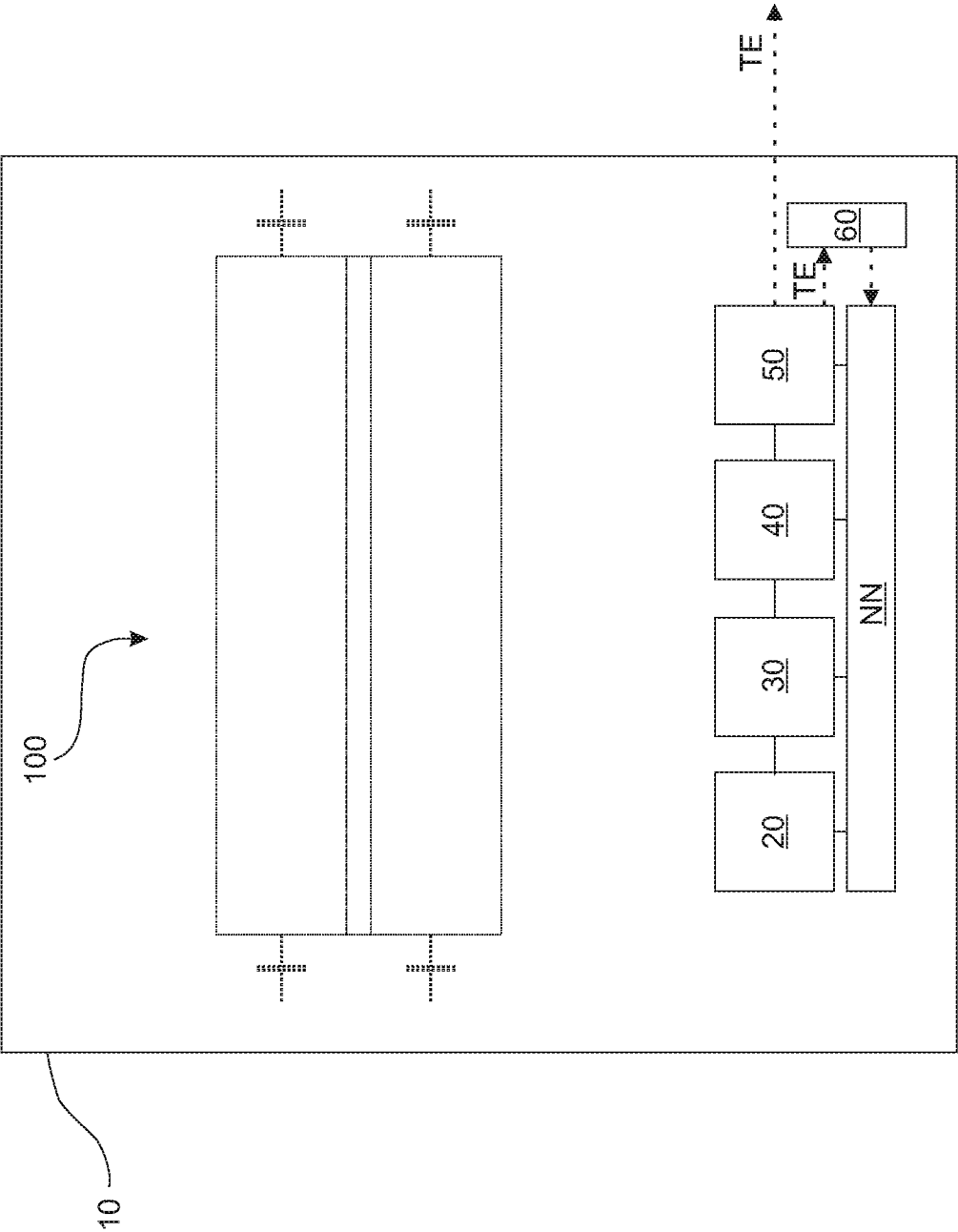


Fig. 9

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

H01M 8/00 (2016.01); G06N 3/02 (2006.01); G06N 20/00 (2019.01); G01R 31/36 (2020.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

H01M 8/00 (2013.01); G06N 3/02 (2019.01); G06N 20/00 (2021.08); G01R 31/36 (2019.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

H01M, G06N, G01R

Konsultierte Online-Datenbank:

Epodoc, WPIAP, X-Full, NPL

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 08.02.2021 eingereichten Ansprüchen 1-18 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	US 2008152963 A1 (DINAN et al) 26. Juni 2008 (26.06.2008) Absätze [0006], [0017]-[0024]	1-18
X	US 2018017630 A1 (SCHIPFER) 18. Januar 2018 (18.01.2018) Abbildung 1; Absätze [0002]-[0008], [0017]-[0020], [0029]	1-18
X	US 2019018067 A1 (KONG et al) 17. Januar 2019 (17.01.2019) Abbildungen 1, 3; Absätze [0007]-[0010], [0027]-[0029], [0046]-[0048]	1-18
X	TW 201144841 A (NAT UNIV CHIN YI TECHNOLOGY) 16. Dezember 2011 (16.12.2011) Zusammenfassung; Absätze [0004]-[0010]	1-18
X	WO 2013083872 A1 (CONVION OY) 13. Juni 2013 (13.06.2013) Abbildung 3; Anspruch 1	1-18
A	US 2004267467 A1 (GOPAL) 30. Dezember 2004 (30.12.2004) Ganzes Dokument	1-18

Datum der Beendigung der Recherche:

21.12.2021

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

TORRE Palmiro

*) Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.