

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50924/2018
(22) Anmeldetag: 25.10.2018
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2020

(51) Int. Cl.: **G01R 31/367** (2019.01)
G01R 31/3842 (2019.01)
G01R 31/389 (2019.01)
G01R 31/392 (2019.01)
H01M 10/42 (2006.01)

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

(72) Erfinder:
Pofahl Stefan Dr.
8020 Graz (AT)
Wielandner Lukas BSC
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Kopetz Heinrich Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren zur Bereitstellung eines Indikators**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (100) zur Bereitstellung eines Indikators (200), welcher für wenigstens einen Parameter (210) eines Systems (1) in Form wenigstens einer elektrochemischen Zelle (1) spezifisch ist, wobei die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:

- Bereitstellen wenigstens eines Gesamtspektrums (230), welches jeweils für eine Systemantwort (214) einer Anregung (212) des Systems (1) bei einem variierten Parameter (210) des Systems (1) spezifisch ist,
- Generieren eines Indikators (200), wobei der Indikator (200) unter Berücksichtigung des variierten Parameters (210) und des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) selektiv ermittelt wird,
- Bereitstellen des generierten Indikators (200) anhand eines Qualitätskriteriums im Vergleich mit dem variierten Parameter (210).

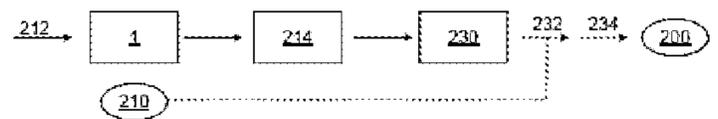


Fig. 1

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (100) zur Bereitstellung eines Indikators (200), welcher für wenigstens einen Parameter (210) eines Systems (1) in Form wenigstens einer elektrochemischen Zelle (1) spezifisch ist, wobei die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:

- Bereitstellen wenigstens eines Gesamtspektrums (230), welches jeweils für eine Systemantwort (214) einer Anregung (212) des Systems (1) bei einem variierten Parameter (210) des Systems (1) spezifisch ist,
- Generieren eines Indikators (200), wobei der Indikator (200) unter Berücksichtigung des variierten Parameters (210) und des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) selektiv ermittelt wird,
- Bereitstellen des generierten Indikators (200) anhand eines Qualitätskriteriums im Vergleich mit dem variierten Parameter (210).

Fig. 1

Verfahren zur Bereitstellung eines Indikators

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bereitstellung eines Indikators. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Bereitstellung eines Indikators.

- 5 Es ist aus dem Stand der Technik bekannt, dass Betriebszustände bei elektrochemischen Zellen mittels einer Anregung überwacht werden. Für diese Überwachung können Auswirkungen der Anregung erfasst werden, wobei bestimmte Merkmale dieser Auswirkung als Indikator für den Betriebszustand dienen können. Beispielsweise erfolgte die Anregung mit einem sinusförmigen elektrischen Signal,
10 welches mit einer festen Frequenz bei der Zelle eingeprägt wird. Anschließend kann das Antwortsignal bei der gleichen Frequenz oder dessen harmonischen gemessen und ausgewertet werden. In anderen Worten werden nur einzelne wenige Frequenzen des Antwortsignals als Grundlage für die Bestimmung des Indikators genutzt.
- 15 Häufig ist jedoch dieses Vorgehen noch nachteilig hinsichtlich der Spezifität des Indikators für den Betriebszustand und/oder hinsichtlich der Signalstärke und/oder Signalrobustheit.

Aus den Veröffentlichungen DE 10 2014 224 290 A1 und US 8 034 498 B2 sind Verfahren zur Überwachung von Systemen bekannt.

- 20 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, der voranstehend beschriebenen Problematik zumindest teilweise Rechnung zu tragen. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen verbesserten Indikator zur Überwachung des Parameters bereitzustellen.

- Die voranstehende Aufgabe wird durch die Patentansprüche gelöst. Insbesondere
25 wird die voranstehende Aufgabe gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 11. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den jeweiligen Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren
30 beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der

erfindungsgemäßen Vorrichtung, und jeweils umgekehrt, so dass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst durch ein Verfahren zur Bereitstellung eines
5 Indikators, welcher für wenigstens einen Parameter eines Systems spezifisch ist und/oder zur Überwachung des Parameters dient. Bei dem System kann es sich um ein elektrochemisches System und/oder um ein System in Form wenigstens einer elektrochemischen Zelle und vorzugsweise um wenigstens eine Brennstoffzelle handeln.

10 Ein derartiger Indikator kann zur Überwachung des Parameters genutzt werden, bevorzugt durch eine Auswertung einer gesamtharmonischen Verzerrung (auch: Total Harmonic Distortion, kurz THD). Der Parameter ist bspw. ein Betriebszustand oder ein Prozess bei dem System. Der Parameter kann dabei variieren, sich also während des Betriebs des Systems verändern. Die Veränderung kann zeitabhängig
15 erfolgen (wie eine Alterung oder dergleichen des Systems) oder durch andere Einflüsse bedingt sein (wie eine Temperatur oder dergleichen des Systems).

Zur Überwachung und vorzugsweise durch ein hierbei verwendetes THD-Verfahren kann ggf. zur Anregung ein elektrisches Signal (ein Anregungssignal, wie ein Wechselstrom) auf das System aufgeprägt und ein daraus resultierendes
20 Antwortsignal (wie eine Resonanzspannung) als Systemantwort beim System erfasst werden. Merkmale des Antwortsignals können dabei als Indikator für den Parameter genutzt werden. Zur Anregung wird bspw. ein sinusförmiger Wechselstrom in einem begrenzten Frequenzspektrum oder auch eine nicht-sinusförmige Anregung, beispielsweise in Form eines sägezahnförmigen elektrischen Signals, genutzt. Es
25 können ferner auch im System vorhandene Signale wie das Schalten eines Ventils oder dergleichen als Anregung genutzt werden. Auch ist es möglich, dass verzerrte sinusförmige oder nicht-sinusförmige Signale als Anregung Verwendung finden. Hierbei wird die Komplexität des resultierenden Frequenzspektrums des Antwortsignals deutlich erhöht, es kann allerdings auch eine verbesserte
30 Signalstärke und/oder Signalrobustheit erzielt werden. Aufgrund der erhöhten Komplexität ist die Auswertung eines solchen Antwortsignals herkömmlicherweise jedoch problematisch. Erfindungsgemäß kann ein Indikator bereitgestellt werden, welcher ggf. auch die Nutzung solcher komplexen Antwortsignale ermöglichen kann.

Es ist im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich, dass die nachfolgenden Schritte zur Bereitstellung des Indikators durchgeführt werden, bevorzugt nacheinander in der angegebenen oder in beliebiger Reihenfolge, wobei einzelne Schritte auch wiederholt durchgeführt werden können:

- 5 - Bereitstellen wenigstens eines Gesamtspektrums, welches jeweils für eine Systemantwort einer Anregung des Systems bei einem variierten Parameter des Systems spezifisch ist,
- Generieren eines Indikators, wobei der Indikator unter Berücksichtigung des variierten Parameters und des wenigstens einen Gesamtspektrums,
10 insbesondere selektiv, ermittelt wird,
- Bereitstellen des generierten Indikators anhand eines Qualitätskriteriums im Vergleich mit dem variierten Parameter.

Dies hat den Vorteil, dass das Gesamtspektrum bei der Generierung des Indikators berücksichtigt wird, und somit nicht nur einzelne wenige Frequenzen. Auch eine
15 komplexe Systemantwort, wie sie zum Beispiel durch eine nicht-sinusförmige Anregung hervorgerufen wird, kann auf diese Weise Berücksichtigung finden. Darüber hinaus können auch mehr Merkmale bei der Systemantwort als Indikator dienen, als dies herkömmlicherweise der Fall ist. Vorteilhafterweise erfolgt dabei die Ermittlung des Indikators selektiv, bevorzugt selektiv in Bezug auf das
20 Gesamtspektrum. Dies bedeutet insbesondere, dass nicht automatisch sämtliche oder bestimmte Frequenzen des Gesamtspektrums für den Indikator genutzt werden, sondern selektiv die für den Parameter signifikanten Frequenzen des Gesamtspektrums für den Indikator ausgewählt werden. Dies kann beispielsweise durch einen iterativen Optimierungsprozess erfolgen, bei welchem die Frequenzen
25 des Gesamtspektrums hinsichtlich ihrer Spezifität für den variierten Parameter untersucht werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Methoden sind dabei die Frequenzen jedoch nicht von vornherein als Indikator vorgegeben, sondern werden unter Berücksichtigung des Gesamtspektrums bestimmt. Auf diese Weise können grundsätzlich alle (oder zumindest die überwiegende Anzahl) der Frequenzen des
30 Gesamtspektrums potenziell als Indikator dienen.

Das Qualitätskriterium ist vorteilhafterweise eine Geeignetheit des Indikators und/oder von Frequenzen des Gesamtspektrums, einen Hinweis auf einen Wert des

Parameters zu liefern. Somit kann das Qualitätskriterium z. B. ein monoton
Verhalten der Frequenzen (bspw. der Summe derer Amplituden) über den monoton
variieren Parameter und/oder eine Proportionalität der Frequenzen bzw. der Summe
gegenüber dem variieren Parameter oder dergleichen betreffen. In anderen Worten
5 kann das Qualitätskriterium umso mehr zutreffen, desto geringer die Abweichung der
Monotonie und/oder Proportionalität der Frequenzen gegenüber dem variieren
Parameter ist. Für diese Beurteilung, wie das monotone Verhalten und/oder die
Proportionalität, können z. B. die Frequenzen für unterschiedliche Variationen des
Parameters erfasst werden, und insbesondere für jede dieser Erfassungen die
10 Summe der Amplituden der jeweiligen Frequenzen gebildet werden.

Die Systemantwort kann z. B. dadurch ermittelt werden, dass ein Antwortsignal als
elektrisches Signal bei dem System während der Anregung gemessen wird. Die
Anregung ist z. B. ein Anlegen einer elektrischen Spannung als Anregungssignal am
System. Das Gesamtspektrum ist bspw. das gesamte Frequenzspektrum des
15 Antwortsignals, welches bspw. mittels einer (digitalen) Fouriertransformation aus
dem Antwortsignal ermittelt wird. Ein Frequenzbereich des Gesamtspektrums kann
dabei im Bereich von 0,1 Hz bis 10 kHz liegen.

Vorteilhafterweise kann bei der Erfindung vorgesehen sein, dass der Indikator aus
Frequenzen des wenigstens einen Gesamtspektrums ermittelt wird, welche beim
20 Generieren dynamisch, und insbesondere zufällig und/oder iterativ, verändert
werden. Auf diese Weise können unterschiedliche Frequenzen des
Gesamtspektrums hinsichtlich ihrer Spezifität und/oder Geeignetheit für den Indikator
berücksichtigt werden. Die Geeignetheit entspricht dabei beispielsweise dem
Qualitätskriterium.

25 Ferner ist es denkbar, dass vor dem Generieren die nachfolgenden Schritte
vorgesehen sind:

- Initiales Auswählen von Auswahlfrequenzen aus Frequenzen des wenigstens
einen Gesamtspektrums, insbesondere anhand eines Auswahlkriteriums,
- Bereitstellen einer initial selektierten Frequenzkombination aus den
30 Auswahlfrequenzen, insbesondere zufällig,

und beim Generieren iterativ die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:

- Bereitstellen mehrerer Frequenzkombinationen aus den Auswahlfrequenzen, wobei hierzu die jeweils kombinierten Frequenzen teilweise aus der zuvor selektierten Frequenzkombination und teilweise davon abweichend und insbesondere zufällig ausgewählt werden,
- 5 - Durchführen einer Selektion wenigstens einer der Frequenzkombinationen anhand des Qualitätskriteriums.

Dies hat den Vorteil, dass verschiedene Frequenzkombinationen für den Indikator in Betracht gezogen werden können. Die Frequenzkombinationen können dabei eine Liste der verschiedenen Frequenzen sein, deren Amplituden für den Indikator bzw. für die Überwachung des Parameters ausgewertet werden. Das initiale Auswählen kann dabei dazu dienen, die anfänglichen Frequenzanteile des Gesamtspektrums auf solche Frequenzen zu reduzieren, welche über einem Eigenrauschen eines zur Erfassung genutzten Messgerätes liegen und/oder zusätzlich ein monotoneres Verhalten über die monoton variierenden Parameter zeigen. Anschließend können diese Frequenzanteile dieses reduzierten Spektrums zufällig kombiniert werden, um die initial selektierte Frequenzkombination zu erhalten. Es kann zudem vorgesehen sein, dass anschließend die Amplituden der Frequenzen dieser initial selektierten Frequenzkombination für jedes Spektrum eines Parameterpunktes aufsummiert werden. Hierbei ist der Hintergrund, dass für jede Variation des Parameters (also jeden Parameterpunkt) ein Gesamtspektrum erfasst worden sein kann. Verhalten sich diese Summen nun auch proportional oder indirekt proportional zu den Parameterpunkten, gilt gegebenenfalls ein Qualitätskriterium als erfüllt und/oder es können Qualitätsmerkmale dieser Frequenzkombination zwischengespeichert werden. Diese Frequenzkombination kann sodann als Ausgangspunkt (bzw. gemäß einer Evolutionsstrategie als „Eltern“) verwendet werden. Diese Eltern werden gegebenenfalls anschließend vervielfältigt, um somit beim Generieren die mehreren Frequenzkombinationen aus den Auswahlfrequenzen bei einer ersten Iteration bereitzustellen. Dabei können die Eltern ihre Gene (d. h. die Frequenzen) zufällig an eine Anzahl an vordefinierten Kindern vererben, sodass die jeweils kombinierten Frequenzen der Kinder teilweise aus der zuvor selektierten Frequenzkombination (der Eltern) ausgewählt werden. Um in keinem lokalen Optimum stecken zu bleiben, kann zudem das Prinzip der Mutation verwendet werden. Hierbei wird jede Frequenz im Frequenzspektrum der Kinder zusätzlich über eine vordefinierte

Wahrscheinlichkeit berücksichtigt oder nicht berücksichtigt, auch wenn sie vererbt bzw. nicht vererbt wurde. Auf diese Weise können die kombinierten Frequenzen der Frequenzkombinationen teilweise abweichend von den zuvor selektierten Frequenzkombinationen und insbesondere zufällig ausgewählt werden. Für jedes dieser Kinder kann nun das Qualitätsmerkmal bestimmt und/oder
5 zwischengespeichert werden. Diese neuen Qualitätsmerkmale können mit dem Qualitätsmerkmal der Eltern verglichen werden, um bei einem hinsichtlich des Qualitätskriteriums besseren Qualitätsmerkmal aus den Kindern neue Eltern zu generieren. Diese Vorgänge können beim Generieren iterativ wiederholt werden,
10 zum Beispiel für eine vordefinierte Anzahl an Iterationen (Generationen) oder bis ein Konvergenzkriterium erfüllt wird. Anschließend kann die beste Frequenzkombination (hinsichtlich des Qualitätskriteriums) für den Indikator bereitgestellt werden. Hierbei kann der Vorteil sein, dass auch zuvor nicht verwendete Signalanteile bei der Entwicklung des Indikators berücksichtigt werden können, und somit ein besonders
15 robuster Indikator bereitgestellt werden kann.

Vorteilhafterweise kann es möglich sein, dass zur Beurteilung des Qualitätskriteriums ein Qualitätsmerkmal jeweiliger Frequenzkombinationen ermittelt wird. Dieses Qualitätsmerkmal ist beispielsweise abhängig von einer Signalstärke der Amplituden der Frequenzen der jeweiligen Frequenzkombination und/oder von einer Abweichung
20 der Frequenzkombination zu den variierenden Parametern hinsichtlich einer Monotonie und/oder Proportionalität und/oder Sensitivität.

Die jeweilige Frequenzkombination ist vorzugsweise als eine Linearkombination und/oder als eine gewichtete Aufsummierung der Amplituden der kombinierten Frequenzen der jeweiligen Frequenzkombination ausgeführt. Ein Einzelsignal auf
25 einer Frequenz kann dabei auch als ein Quotient gebildet werden. Beispielsweise kann eine Linearkombination von Impedanzen bei unterschiedlichen Frequenzen zur Ermittlung eines Indikators herangezogen werden. Der Quotient kann aus Größen gleicher Art gebildet, wie dies etwa für den Klirrfaktor (THD) gilt, oder aus Größen unterschiedlicher Art gebildet werden, wie dies etwa bei der Impedanz oder Leistung
30 der Fall ist. Wird im Folgenden vom Aufsummieren der Amplituden gesprochen, dann ist darunter - aus Gründen der Vereinfachung - die Linearkombination von Amplituden oder Quotienten von Messgrößen bei unterschiedlichen Frequenzen zu verstehen.

Es kann ferner möglich sein, dass das Bereitstellen des wenigstens einen Gesamtspektrums dadurch durchgeführt wird, dass verschiedene Gesamtspektren und jeweils zugehörige Parameterpunkte für verschiedene Werte des Parameters erfasst werden. Hierzu kann der Parameter im Betrieb des Systems für Testmessungen
5 variiert werden, z. B. im Falle einer Alterung als Parameter das System für einen längeren Zeitraum betrieben werden, und während dieses Betriebs wiederholt Messungen durchgeführt werden. Jede dieser Messungen ist dann einem Parameterpunkt zum Zeitpunkt der Messung zugeordnet, z. B. einem Zeitpunkt und/oder Wert für die Alterung. In anderen Worten kann ein Verlauf von Messwerten
10 der Messungen einem Verlauf von Parameterpunkten gegenüberstehen. Die Messungen selbst sind z. B. jeweils eine Messung eines Antwortsignals, sodass die Gesamtspektren der Antwortsignale ebenfalls den Parameterpunkten zugeordnet sind.

Ferner können vor dem Generieren optional die nachfolgenden Schritte durchgeführt
15 werden:

- Durchführen wenigstens einer Kombination einer zufälligen Auswahl aus den Auswahlfrequenzen, um die initial selektierte Frequenzkombination bereitzustellen,
- Aufsummieren der Amplituden dieser Auswahl aus den Auswahlfrequenzen
20 für jedes der Gesamtspektren, insbesondere Gesamtspektren für unterschiedliche Parameterpunkte,
- Vergleichen der aufsummierten Amplituden mit den Parameterpunkten anhand des Qualitätskriteriums, z. B. hinsichtlich einer Abweichung und/oder Monotonie zu den Parameterpunkten,
- 25 - Bestimmen eines Qualitätsmerkmals der initial selektierten Frequenzkombination anhand des Vergleichs, bspw. als Wert der jeweiligen Abweichung,

wobei beim Generieren das Durchführen der Selektion die nachfolgenden Schritte umfassen kann:

- Vergleichen der bereitgestellten Frequenzkombinationen mit den Parameterpunkten anhand des Qualitätskriteriums, z. B. hinsichtlich einer Abweichung und/oder Monotonie zu den Parameterpunkten,
- 5 - Bestimmen eines jeweiligen Qualitätsmerkmals anhand des Vergleichs, bspw. als Wert der jeweiligen Abweichung,
- Auswählen einer der Frequenzkombinationen als selektierte Frequenzkombination anhand eines Vergleichs der Qualitätsmerkmale mit dem Qualitätsmerkmal der zuvor selektierten Frequenzkombination, vorzugsweise wenn eines der zuletzt bestimmten Qualitätsmerkmale höher ist
10 als das Qualitätsmerkmal der zuvor (bei der vorherigen Iteration) selektierten Frequenzkombination

wobei ggf. die selektierte Frequenzkombination nach der letzten Iteration zum Bereitstellen des generierten Indikators verwendet werden kann. Dies hat den Vorteil, dass sehr zuverlässig ein für den Parameter spezifischer Indikator ermittelt
15 werden kann.

Es kann von Vorteil sein, wenn im Rahmen der Erfindung die Auswahlfrequenzen gemäß dem Auswahlkriterium aus solchen Frequenzen gebildet werden, welche, insbesondere als das Qualitätskriterium, über einem Rauschanteil des Gesamtspektrums liegen und/oder dessen Monotonie mit der Monotonie des
20 Parameters korreliert. Auf diese Weise kann eine Spezifität des Parameters untersucht werden.

Des Weiteren ist es denkbar, dass das Generieren mehrere Optimierungsschritte umfasst, in welchen jeweils der Indikator iterativ anhand verschiedener Frequenzen des Gesamtspektrums angepasst und evaluiert und anhand der Evaluation für den
25 nachfolgenden Optimierungsschritt selektiert wird. Die Evaluation ist dabei insbesondere eine Auswertung, bei welcher ein Verlauf der Gesamtspektren mit einem Verlauf des Parameters verglichen wird, bevorzugt anhand des Qualitätskriteriums. Dies ermöglicht es, anhand einer Vielzahl potenzieller Frequenzen für den Indikator die vielversprechendsten auszuwählen.

30 Vorteilhafterweise kann im Rahmen der Erfindung vorgesehen sein, dass das Ermitteln des Indikators zumindest teilweise stochastisch, vorzugsweise mittels eines

lokal stochastischen Optimierungsverfahrens, bevorzugt mittels einer Evolutionsstrategie und/oder eines Genetischen Algorithmus durchgeführt wird. Damit ist es möglich, auch solche Frequenzen des Gesamtspektrums zu berücksichtigen, welche gemäß herkömmlicher Verfahren ausgeschlossen werden
5 würden.

Ein weiterer Vorteil kann im Rahmen der Erfindung erzielt werden, wenn die Berücksichtigung des Gesamtspektrums dadurch erfolgt, dass ein überwiegender Teil des Gesamtspektrums für den Indikator berücksichtigt und/oder zur Generierung verwendet wird. Durch die Nutzung mehrerer Frequenzen des Gesamtspektrums
10 kann die Spezifität des Indikators erhöht werden.

Vorteilhafterweise kann bei der Erfindung vorgesehen sein, dass der nachfolgende Schritt vorgesehen ist:

- Erfassen der Systemantworten durch ein Durchführen der insbesondere nicht-sinusförmigen Anregung wiederholt während eines Variierens des
15 Parameters, sodass der Parameter verschiedene Parameterwerte (Parameterpunkte) annimmt,

wobei vorzugsweise die Berücksichtigung des variierten Parameters dadurch erfolgt, dass ein Verlauf der Gesamtspektren aus den erfassten Systemantworten mit einem Verlauf der zugehörigen Parameterwerte (Parameterpunkte) verglichen wird. Auf
20 diese Weise kann ein besonders robuster Indikator ermittelt werden.

Ein weiterer Vorteil im Rahmen der Erfindung ist erzielbar, wenn der generierte Indikator bereitgestellt wird, um anhand des Indikators den Parameter bei dem System oder bei einem weiteren System zu überwachen, wobei vorzugsweise der Parameter als ein Betriebszustand des Systems, insbesondere eine Temperatur,
25 oder als ein Prozess des Systems, insbesondere eine Alterung, ausgeführt ist. Dabei kann der Indikator zur Bewertung des Parameters anhand der Systemantwort, insbesondere als ein beim System während der Überwachung erfasstes elektrisches Signal, ausgeführt sein. Auf diese Weise kann der Indikator dazu genutzt werden, den Parameter bei einem System zu überwachen und/oder zu ermitteln, ohne dass
30 eine aufwendige anderweitige Messung des Parameters erfolgen muss.

Vorzugsweise reicht es für die Überwachung aus, dass ein elektrisches Signal bei dem System für den Indikator erfasst wird.

Ebenfalls Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Bereitstellung eines Indikators. Die Vorrichtung kann z. B. als eine Datenverarbeitungsanlage oder als ein Computerprogramm, insbesondere Computerprogrammprodukt, oder als eine elektronische Vorrichtung ausgebildet sein. Ferner kann die Vorrichtung auch als ein
5 computerlesbares Medium, wie ein Datenträger, mit dem Computerprogramm ausgebildet sein.

Hierbei ist ggf. vorgesehen, dass der Indikator für wenigstens einen Parameter eines Systems insbesondere in Form wenigstens einer elektrochemischen Zelle spezifisch ist. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann dabei die nachfolgenden Module, z. B.
10 in der Form von Software- und/oder Hardwaremodulen, aufweisen:

- ein Bereitstellungsmodul zum Bereitstellen wenigstens eines Gesamtspektrums, welches jeweils für eine Systemantwort einer Anregung des Systems bei einem variierten Parameter des Systems spezifisch ist,
- ein Indikatormodul zum Generieren eines Indikators, welches dazu ausgeführt
15 ist, den Indikator unter Berücksichtigung des variierten Parameters und des wenigstens einen Gesamtspektrums selektiv zu ermitteln,
- ein Ergebnismodul zum Bereitstellen des generierten Indikators anhand eines Qualitätskriteriums im Vergleich mit dem variierten Parameter.

Damit bringt die erfindungsgemäße Vorrichtung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie
20 ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Verfahren beschrieben worden sind. Zudem kann die Vorrichtung geeignet sein, ein erfindungsgemäßes Verfahren auszuführen.

Nach einer weiteren Möglichkeit kann vorgesehen sein, dass die Vorrichtung wenigstens ein Verarbeitungsmittel aufweist, welches dazu ausgeführt ist, die
25 Vorrichtung zur Durchführung der Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens zu veranlassen. Bei dem Verarbeitungsmittel kann es sich z. B. um ein Computerprogramm oder eine Elektronik oder dergleichen handeln. Zum Veranlassen der Durchführung der Schritte kann das Verarbeitungsmittel (als Computerprogramm) z. B. durch einen Prozessor der Vorrichtung geladen und
30 ausgeführt werden.

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
5 für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung zur Visualisierung eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

10 Figur 3 eine schematische Darstellung zur Visualisierung eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

In den nachfolgenden Figuren werden für die gleichen technischen Merkmale auch von unterschiedlichen Ausführungsbeispielen die identischen Bezugszeichen verwendet.

In Figur 1 ist schematisch ein System 1 zur Visualisierung eines erfindungsgemäßen
15 Verfahrens 100 gezeigt. Dabei ist dargestellt, dass zunächst eine Anregung 212 bei dem System 1 durchgeführt werden kann, um eine Systemantwort 214 zu ermitteln. Aus dieser Systemantwort 214, wie ein elektrisches Signal, kann anschließend ein Gesamtspektrum 230 berechnet werden. Hierzu kann ein Antwortsignal während der
20 Anregung 212 bei dem System 1 durch ein Messgerät ermittelt und zum Beispiel durch einen Analog-Digital-Wandler in ein digitales Signal umgewandelt werden. Mittels einer digitalen Fouriertransformation, wie beispielsweise einer Fast-Fouriertransformation, kann dann aus diesem digitalen Signal das Gesamtspektrum 230 gebildet werden. Ferner ist es in einem weiteren Schritt möglich, dass
25 Auswahlfrequenzen 232 aus dem Gesamtspektrum 230 ausgewählt werden, welche somit einer Teilmenge des Gesamtspektrums 230 entsprechen. Diese Auswahlfrequenzen 232 müssen dabei nicht zwangsläufig benachbarte Frequenzen sein, sodass auch eine Liste verschiedener Frequenzen aus dem Gesamtspektrum 230 als Auswahlfrequenzen 232 in Betracht kommen. Anhand von verschiedenen
30 Frequenzkombinationen 234 kann dann unter Berücksichtigung des variierten Parameters 210 des Systems 1 sowie des Gesamtspektrums 230 ein Indikator 200 bestimmt werden. Der Parameter 210 wird hierzu zur Ermittlung verschiedener Systemantworten 214 für verschiedene Anregungen 212 variiert.

Um den Indikator 200 bereitzustellen, kann zum Beispiel eine erfindungsgemäße Vorrichtung 10 genutzt werden. Diese ist schematisch in Figur 2 dargestellt, und umfasst neben einem Bereitstellungsmodul 20 noch ein Indikatormodul 30 und ein Ergebnismodul 40. Optional ist zudem ein Verarbeitungsmittel 11 vorgesehen.

- 5 In Figur 3 ist schematisch ein erfindungsgemäßes Verfahren 100 zur Bereitstellung eines Indikators 200 visualisiert, wobei der Indikator 200 für wenigstens einen Parameter 210 eines Systems 1 in Form wenigstens einer elektrochemischen Zelle 1 spezifisch ist. Gemäß einem ersten Verfahrensschritt 101 erfolgt dabei ein Bereit-
- 10 stellen wenigstens eines Gesamtspektrums 230, welches jeweils für eine Systemantwort 214 einer Anregung 212 des Systems 1 bei einem variierten Parameter 210 des Systems 1 spezifisch ist. Gemäß einem zweiten Verfahrensschritt 102 erfolgt ein Generieren eines Indikators 200, wobei der Indikator 200 unter Berücksichtigung des variierten Parameters 210 und des wenigstens einen Gesamtspektrums 230 selektiv ermittelt wird. Als dritter Verfahrensschritt 103 wird
- 15 ein Bereitstellen des generierten Indikators 200 anhand eines Qualitätskriteriums im Vergleich mit dem variierten Parameter 210 durchgeführt.

Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen. Selbstverständlich können einzelne Merkmale der Ausführungsformen, sofern technisch sinnvoll, frei

20 miteinander kombiniert werden, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

1	System, Zelle
10	Vorrichtung
11	Verarbeitungsmittel
20	Bereitstellungsmodul
30	Indikatormodul
40	Ergebnismodul
100	Verfahren
101	erster Verfahrensschritt
102	zweiter Verfahrensschritt
103	dritter Verfahrensschritt
200	Indikator
210	Parameter
212	Anregung
214	Systemantwort
230	Gesamtspektrum
232	Auswahlfrequenzen
234	Frequenzkombination

Patentansprüche

1. Verfahren (100) zur Bereitstellung eines Indikators (200), welcher für wenigstens einen Parameter (210) eines Systems (1) in Form wenigstens einer elektrochemischen Zelle (1) spezifisch ist, wobei die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:
 - Bereitstellen wenigstens eines Gesamtspektrums (230), welches jeweils für eine Systemantwort (214) einer Anregung (212) des Systems (1) bei einem variierten Parameter (210) des Systems (1) spezifisch ist,
 - Generieren eines Indikators (200), wobei der Indikator (200) unter Berücksichtigung des variierten Parameters (210) und des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) selektiv ermittelt wird,
 - Bereitstellen des generierten Indikators (200) anhand eines Qualitätskriteriums im Vergleich mit dem variierten Parameter (210).

2. Verfahren (100) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Indikator (200) aus Frequenzen des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) ermittelt wird, welche beim Generieren dynamisch, und insbesondere zufällig und/oder iterativ, verändert werden.

3. Verfahren (100) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
vor dem Generieren die nachfolgenden Schritte vorgesehen sind:
 - Initiales Auswählen von Auswahlfrequenzen (232) aus Frequenzen des wenigstens einen Gesamtspektrums (230), insbesondere anhand eines Auswahlkriteriums,
 - Bereitstellen einer initial selektierten Frequenzkombination (234) aus den Auswahlfrequenzen (232), insbesondere zufällig,und beim Generieren iterativ die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:
 - Bereitstellen mehrerer Frequenzkombinationen (234) aus den Auswahlfrequenzen (232), wobei hierzu die jeweils kombinierten Frequenzen teilweise aus der zuvor selektierten Frequenzkombination (234) und teilweise davon abweichend und insbesondere zufällig ausgewählt werden,

- Durchführen einer Selektion wenigstens einer der Frequenzkombinationen (234) anhand des Qualitätskriteriums.

4. Verfahren (100) nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Bereitstellen des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) dadurch durchgeführt wird, dass verschiedene Gesamtspektren (230) und jeweils zugehörige Parameterpunkte für verschiedene Werte des Parameters (210) erfasst werden, wobei vor dem Generieren die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:

- Durchführen wenigstens einer Kombination einer zufälligen Auswahl aus den Auswahlfrequenzen (232), um die initial selektierte Frequenzkombination (234) bereitzustellen,
- Aufsummieren der Amplituden dieser Auswahl aus den Auswahlfrequenzen (232) für jedes der Gesamtspektren (230),
- Vergleichen der aufsummierten Amplituden mit den Parameterpunkten anhand des Qualitätskriteriums,
- Bestimmen eines Qualitätsmerkmals der initial selektierten Frequenzkombination (234) anhand des Vergleichs,

wobei beim Generieren das Durchführen der Selektion die nachfolgenden Schritte umfasst:

- Vergleichen der bereitgestellten Frequenzkombinationen (234) mit den Parameterpunkten anhand des Qualitätskriteriums,
- Bestimmen eines jeweiligen Qualitätsmerkmals anhand des Vergleichs,
- Auswählen einer der Frequenzkombinationen (234) als selektierte Frequenzkombination (234) anhand eines Vergleichs der Qualitätsmerkmale mit dem Qualitätsmerkmal der zuvor selektierten Frequenzkombination (234),

wobei die selektierte Frequenzkombination (234) nach der letzten Iteration zum Bereitstellen des generierten Indikators (200) verwendet wird.

5. Verfahren (100) nach Anspruch 3 oder 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Auswahlfrequenzen (232) gemäß dem Auswahlkriterium aus solchen Frequenzen gebildet werden, welche, insbesondere als das Qualitätskriterium,

- über einem Rauschanteil des Gesamtspektrums (230) liegen und/oder dessen Monotonie mit der Monotonie des Parameters (210) korreliert.
6. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Generieren mehrere Optimierungsschritte umfasst, in welchen jeweils der Indikator (200) iterativ anhand verschiedener Frequenzen des Gesamtspektrums (230) angepasst und evaluiert und anhand der Evaluation für den nachfolgenden Optimierungsschritt selektiert wird.
 7. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ermitteln des Indikators (200) zumindest teilweise stochastisch, vorzugsweise mittels eines lokal stochastischen Optimierungsverfahrens, bevorzugt mittels einer Evolutionsstrategie und/oder eines Genetischen Algorithmus durchgeführt wird.
 8. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berücksichtigung des Gesamtspektrums (230) dadurch erfolgt, dass ein überwiegender Teil des Gesamtspektrums (230) für den Indikator (200) berücksichtigt und/oder zur Generierung verwendet wird.
 9. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der nachfolgende Schritt vorgesehen ist:
 - Erfassen der Systemantworten (214) durch ein Durchführen der insbesondere nicht-sinusförmigen Anregung (212) wiederholt während eines Variierens des Parameters (210), sodass der Parameter (210) verschiedene Parameterwerte annimmt,wobei die Berücksichtigung des variierten Parameters (210) dadurch erfolgt, dass ein Verlauf der Gesamtspektren (230) aus den erfassten Systemantworten (214) mit einem Verlauf der zugehörigen Parameterwerte verglichen wird.
 10. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

der generierte Indikator (200) bereitgestellt wird, um anhand des Indikators (200) den Parameter (210) bei dem System (1) oder bei einem weiteren System (1) zu überwachen, wobei der Parameter (210) als ein Betriebszustand des Systems (1), insbesondere eine Temperatur, oder als ein Prozess des Systems (1), insbesondere eine Alterung, ausgeführt ist, wobei der Indikator (200) zur Bewertung des Parameters (210) anhand der Systemantwort (214), insbesondere als ein beim System (1) während der Überwachung erfasstes elektrisches Signal, ausgeführt ist.

11. Vorrichtung (10) zur Bereitstellung eines Indikators (200), welcher für wenigstens einen Parameter (210) eines Systems (1) in Form wenigstens einer elektrochemischen Zelle (1) spezifisch ist, aufweisend:
- ein Bereitstellungsmodul (20) zum Bereitstellen wenigstens eines Gesamtspektrums (230), welches jeweils für eine Systemantwort (214) einer Anregung (212) des Systems (1) bei einem variierten Parameter (210) des Systems (1) spezifisch ist,
 - ein Indikatormodul (30) zum Generieren eines Indikators (200), welches dazu ausgeführt ist, den Indikator (200) unter Berücksichtigung des variierten Parameters (210) und des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) selektiv zu ermitteln,
 - ein Ergebnismodul (40) zum Bereitstellen des generierten Indikators (200) anhand eines Qualitätskriteriums im Vergleich mit dem variierten Parameter (210).
12. Vorrichtung (10) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (10) wenigstens ein Verarbeitungsmittel (11) aufweist, welches dazu ausgeführt ist, die Vorrichtung (10) zur Durchführung der Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zu veranlassen.

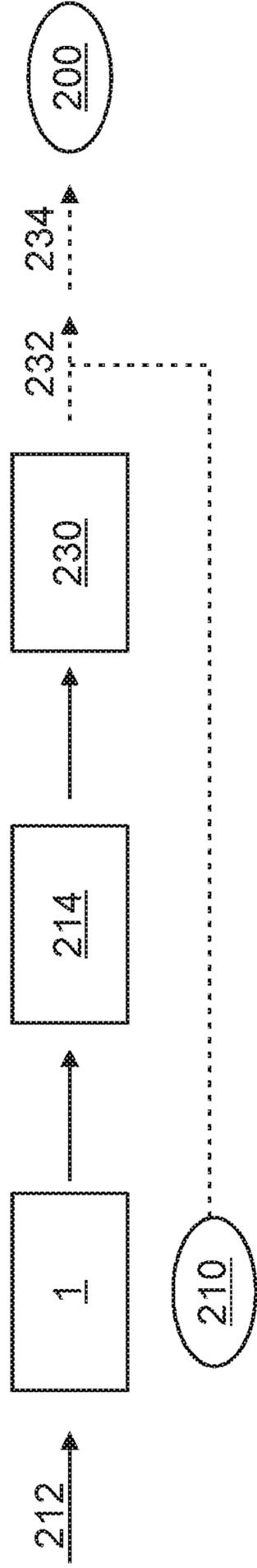


Fig. 1

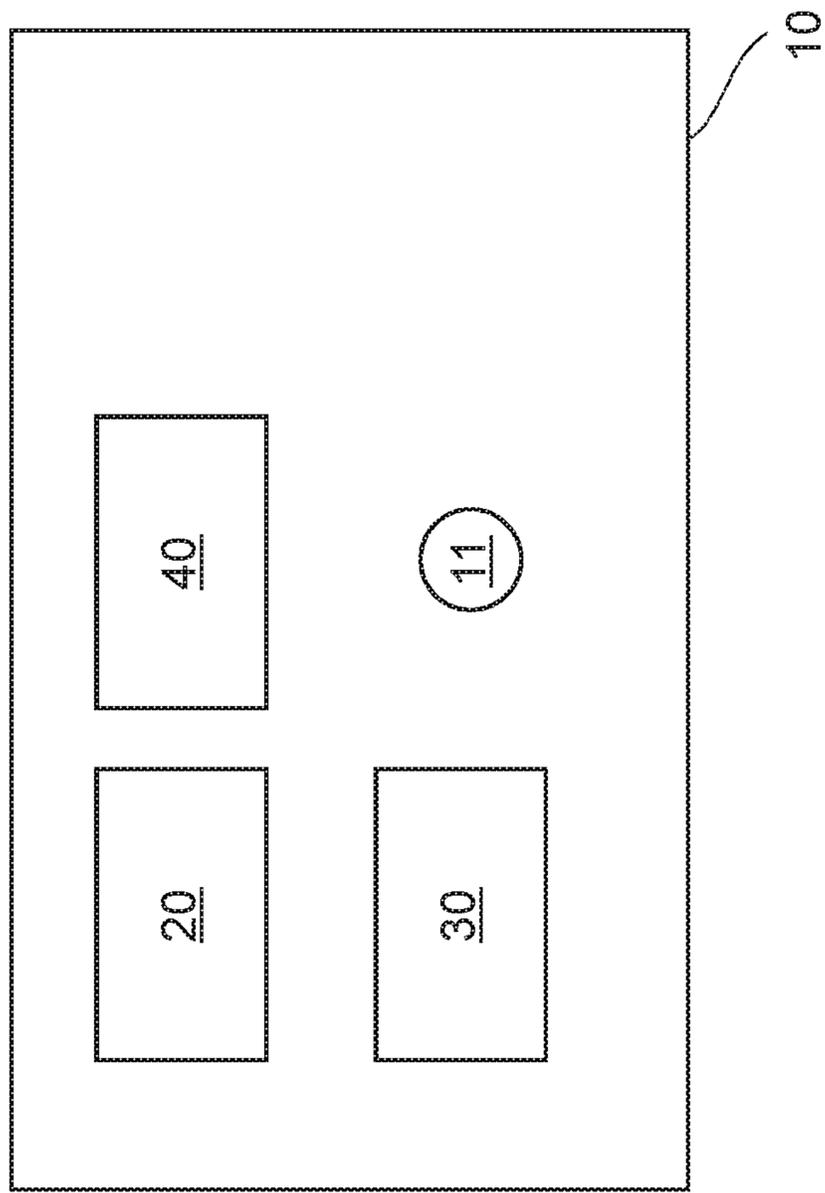


Fig. 2

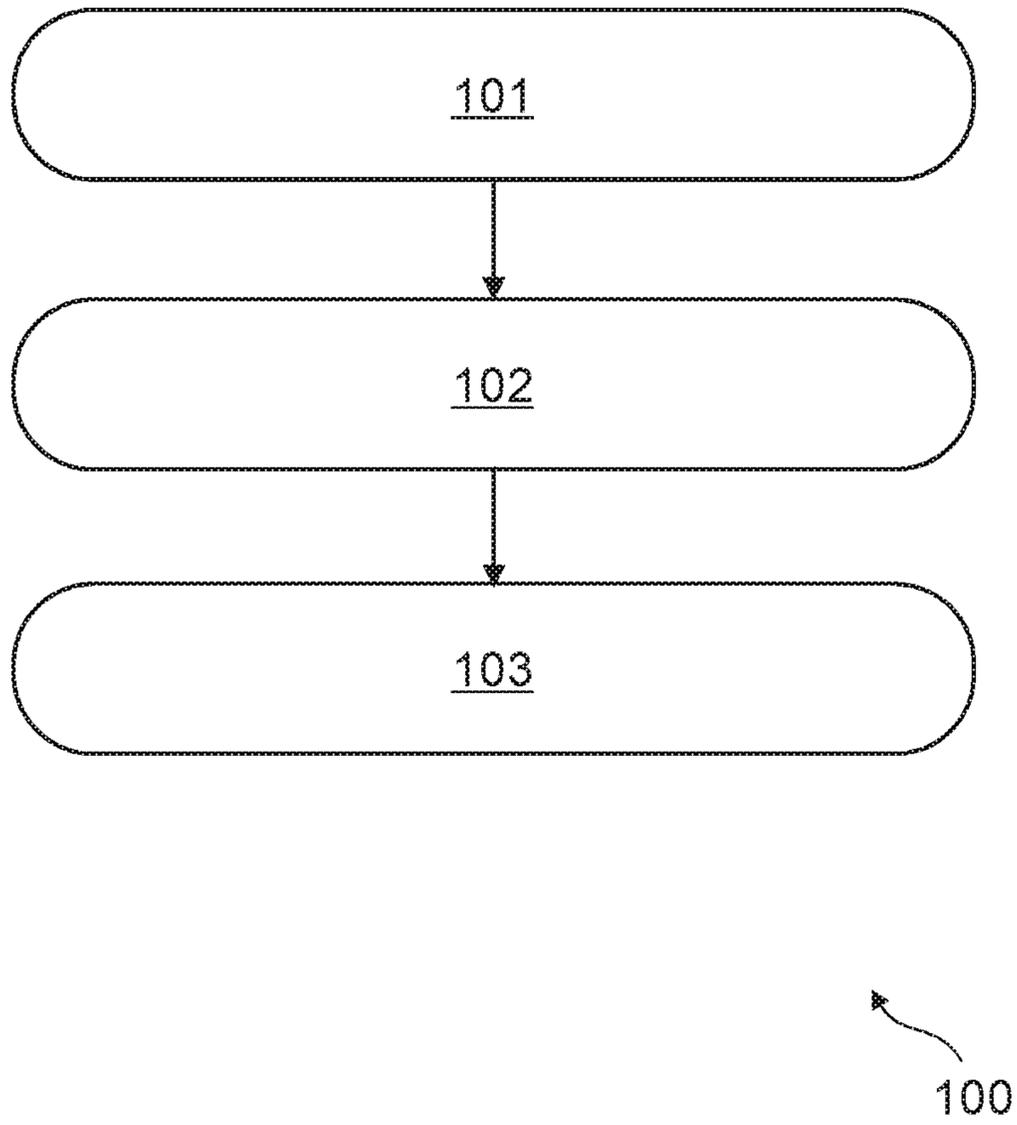


Fig. 3

Patentansprüche

1. Verfahren (100) zur Bereitstellung eines Indikators (200), welcher für wenigstens einen Parameter (210) eines Systems (1) in Form wenigstens einer elektrochemischen Zelle (1) spezifisch ist, wobei die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:
 - Bereitstellen wenigstens eines Gesamtspektrums (230), welches jeweils für eine Systemantwort (214) einer Anregung (212) des Systems (1) bei einem variierten Parameter (210) des Systems (1) spezifisch ist,
 - Generieren eines Indikators (200), wobei der Indikator (200) unter Berücksichtigung des variierten Parameters (210) und des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) selektiv ermittelt wird,
 - Bereitstellen des generierten Indikators (200) anhand eines Qualitätskriteriums im Vergleich mit dem variierten Parameter (210), wobei vor dem Generieren die nachfolgenden Schritte vorgesehen sind:
 - Initiales Auswählen von Auswahlfrequenzen (232) aus Frequenzen des wenigstens einen Gesamtspektrums (230),
 - Bereitstellen einer initial selektierten Frequenzkombination (234) aus den Auswahlfrequenzen (232),und beim Generieren iterativ die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:
 - Bereitstellen mehrerer Frequenzkombinationen (234) aus den Auswahlfrequenzen (232), wobei hierzu die jeweils kombinierten Frequenzen teilweise aus der zuvor selektierten Frequenzkombination (234) und teilweise davon abweichend und zufällig ausgewählt werden,
 - Durchführen einer Selektion wenigstens einer der Frequenzkombinationen (234) anhand des Qualitätskriteriums.
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Indikator (200) aus Frequenzen des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) ermittelt wird, welche beim Generieren dynamisch, und insbesondere zufällig und/oder iterativ, verändert werden.
3. Verfahren (100) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
vor dem Generieren das initiale Auswählen von Auswahlfrequenzen (232) aus Frequenzen des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) anhand eines

Auswahlkriteriums erfolgt und das Bereitstellen einer initial selektierten Frequenzkombination (234) aus den Auswahlfrequenzen (232) zufällig erfolgt.

4. Verfahren (100) nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Bereitstellen des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) dadurch durchgeführt wird, dass verschiedene Gesamtspektren (230) und jeweils zugehörige Parameterpunkte für verschiedene Werte des Parameters (210) erfasst werden, wobei vor dem Generieren die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:

- Durchführen wenigstens einer Kombination einer zufälligen Auswahl aus den Auswahlfrequenzen (232), um die initial selektierte Frequenzkombination (234) bereitzustellen,
- Aufsummieren der Amplituden dieser Auswahl aus den Auswahlfrequenzen (232) für jedes der Gesamtspektren (230),
- Vergleichen der aufsummierten Amplituden mit den Parameterpunkten anhand des Qualitätskriteriums,
- Bestimmen eines Qualitätsmerkmals der initial selektierten Frequenzkombination (234) anhand des Vergleichs,

wobei beim Generieren das Durchführen der Selektion die nachfolgenden Schritte umfasst:

- Vergleichen der bereitgestellten Frequenzkombinationen (234) mit den Parameterpunkten anhand des Qualitätskriteriums,
- Bestimmen eines jeweiligen Qualitätsmerkmals anhand des Vergleichs,
- Auswählen einer der Frequenzkombinationen (234) als selektierte Frequenzkombination (234) anhand eines Vergleichs der Qualitätsmerkmale mit dem Qualitätsmerkmal der zuvor selektierten Frequenzkombination (234),

wobei die selektierte Frequenzkombination (234) nach der letzten Iteration zum Bereitstellen des generierten Indikators (200) verwendet wird.

5. Verfahren (100) nach Anspruch 3 oder 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Auswahlfrequenzen (232) gemäß dem Auswahlkriterium aus solchen Frequenzen gebildet werden, welche, insbesondere als das Qualitätskriterium,

über einem Rauschanteil des Gesamtspektrums (230) liegen und/oder dessen Monotonie mit der Monotonie des Parameters (210) korreliert.

6. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Generieren mehrere Optimierungsschritte umfasst, in welchen jeweils der Indikator (200) iterativ anhand verschiedener Frequenzen des Gesamtspektrums (230) angepasst und evaluiert und anhand der Evaluation für den nachfolgenden Optimierungsschritt selektiert wird.
7. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Ermitteln des Indikators (200) zumindest teilweise stochastisch, vorzugsweise mittels eines lokal stochastischen Optimierungsverfahrens, bevorzugt mittels einer Evolutionsstrategie und/oder eines Genetischen Algorithmus durchgeführt wird.
8. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Berücksichtigung des Gesamtspektrums (230) dadurch erfolgt, dass ein überwiegender Teil des Gesamtspektrums (230) für den Indikator (200) berücksichtigt und/oder zur Generierung verwendet wird.
9. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der nachfolgende Schritt vorgesehen ist:
 - Erfassen der Systemantworten (214) durch ein Durchführen der insbesondere nicht-sinusförmigen Anregung (212) wiederholt während eines Variierens des Parameters (210), sodass der Parameter (210) verschiedene Parameterwerte annimmt,wobei die Berücksichtigung des variierten Parameters (210) dadurch erfolgt, dass ein Verlauf der Gesamtspektren (230) aus den erfassten Systemantworten (214) mit einem Verlauf der zugehörigen Parameterwerte verglichen wird.
10. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass

der generierte Indikator (200) bereitgestellt wird, um anhand des Indikators (200) den Parameter (210) bei dem System (1) oder bei einem weiteren System (1) zu überwachen, wobei der Parameter (210) als ein Betriebszustand des Systems (1), insbesondere eine Temperatur, oder als ein Prozess des Systems (1), insbesondere eine Alterung, ausgeführt ist, wobei der Indikator (200) zur Bewertung des Parameters (210) anhand der Systemantwort (214), insbesondere als ein beim System (1) während der Überwachung erfasstes elektrisches Signal, ausgeführt ist.

11. Vorrichtung (10) zur Bereitstellung eines Indikators (200), welcher für wenigstens einen Parameter (210) eines Systems (1) in Form wenigstens einer elektrochemischen Zelle (1) spezifisch ist, aufweisend:

- ein Bereitstellungsmodul (20) zum Bereitstellen wenigstens eines Gesamtspektrums (230), welches jeweils für eine Systemantwort (214) einer Anregung (212) des Systems (1) bei einem variierten Parameter (210) des Systems (1) spezifisch ist,
- ein Indikatormodul (30) zum Generieren eines Indikators (200), welches dazu ausgeführt ist, den Indikator (200) unter Berücksichtigung des variierten Parameters (210) und des wenigstens einen Gesamtspektrums (230) selektiv zu ermitteln,
- ein Ergebnismodul (40) zum Bereitstellen des generierten Indikators (200) anhand eines Qualitätskriteriums im Vergleich mit dem variierten Parameter (210), wobei

vor dem Generieren die nachfolgenden Schritte vorgesehen sind:

- Initiales Auswählen von Auswahlfrequenzen (232) aus Frequenzen des wenigstens einen Gesamtspektrums (230),
- Bereitstellen einer initial selektierten Frequenzkombination (234) aus den Auswahlfrequenzen (232),

und beim Generieren iterativ die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden:

- Bereitstellen mehrerer Frequenzkombinationen (234) aus den Auswahlfrequenzen (232), wobei hierzu die jeweils kombinierten Frequenzen teilweise aus der zuvor selektierten Frequenzkombination (234) und teilweise davon abweichend und zufällig ausgewählt werden,

- Durchführen einer Selektion wenigstens einer der Frequenzkombinationen (234) anhand des Qualitätskriteriums.

12. Vorrichtung (10) nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Vorrichtung (10) wenigstens ein Verarbeitungsmittel (11) aufweist, welches dazu ausgeführt ist, die Vorrichtung (10) zur Durchführung der Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zu veranlassen.