

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. November 2001 (15.11.2001)

PCT

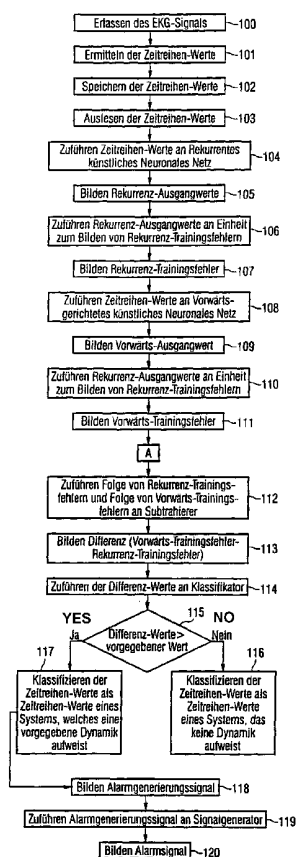
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/85018 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **A61B 5/00** (71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/01745 (72) **Erfinder; und**
- (22) Internationales Anmeldedatum: 7. Mai 2001 (07.05.2001) (75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **DECO, Gustavo** [IT/DE]; Hauptstrasse 76, 85579 Neubiberg (DE). **SCHÜRMANN, Bernd** [DE/DE]; Münchener Strasse 35, 85778 Haimhausen (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (74) **Gemeinsamer Vertreter:** **SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) **Bestimmungsstaaten** (national): CN, JP, US.
- (30) Angaben zur Priorität: 100 22 481.4 9. Mai 2000 (09.05.2000) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD AND DEVICE FOR THE CLASSIFICATION OF SERIAL VALUES, COMPUTER-READABLE STORAGE MEDIUM AND COMPUTER PROGRAMME ELEMENT

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KLASSIFIKATION VON ZEITREIHEN-WERTEN, COMPUTERLESBARES SPEICHERMEDIUM UND COMPUTERPROGRAMM-ELEMENT



(57) **Abstract:** Serial values which describe a system are introduced into a recurrent artificial neuronal network and said artificial neuronal network is trained. The development of the error signal during the training phase is used to classify the system, described by the serial values.

(57) **Zusammenfassung:** Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, werden einem Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt und das Rekurrente künstliche Neuronale Netz wird trainiert. Die Entwicklung des Fehlersignals während des Trainingsverfahrens wird verwendet, um das System, welches durch die Zeitreihen-Werte beschrieben wird, zu klassifizieren.

WO 01/85018 A2



(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Beschreibung**Verfahren und Vorrichtung zur Klassifikation von Zeitreihen-
Werten, Computerlesbares Speichermedium und Computerprogramm-
5 Element**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur
Klassifikation von Zeitreihen-Werten, ein Computerlesbares
Speichermedium und ein Computerprogramm-Element.

10

Ein solches Verfahren und eine solche Vorrichtung sind aus
[1] bekannt.

15

In [1] ist beschrieben, im Rahmen einer Texturanalyse mit
neuronalen Netzen für jeden Bildpunkt eines Texturbildes
einen Merkmalsvektor zu generieren, der anschließend mit
einem neuronalen Klassifikator klassifiziert wird. Als
neuronaler Klassifikator wird ein neuronales Netz mit Feed-
Forward-Struktur verwendet, im weiteren als Feed-Forward
20 Neuronales Netz bezeichnet, welches in [1] acht
Eingangsneuronen, fünf Ausgangsneuronen und eine verschiedene
Zahl versteckter Neuronen in einer einzigen versteckten
Schicht aufweist.

25

Nachteilig an einem solche Feed-Forward Neuronalen Netz ist
insbesondere, dass im Rahmen der Klassifikation von
Zeitreihen-Werten in Zeitreihen-Werte eines Systems eines
ersten Typs oder in Zeitreihen-Werte eines Systems eines
zweiten Typs, eine sehr große Anzahl von Trainingsdaten
30 erforderlich ist.

35

Dieses Problem wird dann weiter verschärft, wenn das System
des ersten Typs ein System ist, welches eine vorgegebene
Dynamik aufweist und das System des zweiten Typs ein System
ist, welches keine Dynamik aufweist.

Es ist mit bekannten Feed-Forward Neuronalen Netzen bisher praktisch nicht möglich, mit einer überschaubaren Zahl verfügbarer Trainingsdaten über das System, das heißt mit einer überschaubaren Anzahl von Zeitreihen-Werten in einer Trainingsphase eine Klassifikation mit ausreichender Qualität zu gewährleisten.

Unter Dynamik eines Systems ist im weiteren zu verstehen, dass für den Fall, dass ein System mit einer deterministischen Beschreibung des zukünftigen Systemverhaltens aufgrund der Beschreibung des Systemverhaltens in der Vergangenheit beschrieben werden kann.

Zeitreihen-Werte sind beispielsweise Abtastwerte von analogen Signalen, beispielsweise von biomedizinischen Signalen wie einem Elektroenzephalogramm-Signal (EEG-Signal), einem Elektrokardiogramm-Signal (EKG-Signal), Elektromyogramm-Signal, allgemein alle analogen bioelektrischen oder biomagnetischen Signale, wie sie beispielsweise in [2] in einer Übersicht zu finden sind.

Aus [2] ist weiterhin ein sogenanntes Elektrokardiogramm-Gerät bekannt, mit dem EKG-Signale erfasst werden können.

Weiterhin ist aus [3] bekannt, dass es sowohl mit Feed-Forward Neuronalen Netzen als auch mit sogenannten Rekurrenten Neuronalen Netzen, das heißt mit neuronalen Netzen, die Zyklen in ihrer Neuronenstruktur aufweisen, grundsätzlich möglich ist, die Struktur eines chaotischen Systems aus Zeitreihen-Werten zu lernen, die das chaotische System beschreiben.

Aus diesem Dokument ist ferner bekannt, ein Rekurrentes Neuronales Netz mittels einer Variante des sogenannten Backpropagation Through Time (BTT) -Lernverfahrens für ein Rekurrentes Neuronales Netz zu trainieren.

In dieser Variante wird das Neuronale Netz mit Zeitreihen-
Werten als Trainingsdaten trainiert, wobei der Einfluss
zeitlich vorangegangener Zeitreihen-Werte in einem aktuellen
5 Adaptionsschritt der Gewichte des Rekurrenten Neuronalen
Netzes exponentiell abnimmt.

Grundlagen über ein Rekurrentes Neuronales Netz sind aus [4]
bekannt.

10

Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, Zeitreihen-
Werte eines Systems in Zeitreihen-Werte eines Systems eines
ersten Typs oder in Zeitreihen-Werte eines Systems eines
zweiten Typs zu klassifizieren, wobei das System des ersten
15 Systems ein System ist, welches eine vorgegebene Dynamik
aufweist und das System des zweiten Typs ein System ist,
welches keine Dynamik aufweist.

Das Problem wird durch das Verfahren, die Vorrichtung, das
20 computerlesbare Speichermedium sowie das Computerprogramm-
Element mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen
Patentansprüchen gelöst.

Ein Verfahren zur Klassifikation von Zeitreihen-Werten in
25 Zeitreihen-Werte eines Systems eines ersten Typs oder in
Zeitreihen-Werte eines Systems in Zeitreihen-Werte eines
zweiten Typs, wobei ein System eines ersten Typs ein System
ist, welches eine vorgegebene Dynamik aufweist, und wobei
eine Typ eines zweiten Systems ein System ist, welches keine
30 Dynamik aufweist, weist folgende Verfahrensschritte auf. Die
Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, werden einem
Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt. Von dem
Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz werden aufgrund der
Zeitreihen-Werte eine Folge von Rekurrenz-Ausgangswerten
35 erzeugt. Aus der Folge der Rekurrenz-Ausgangswerte wird eine
Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern ermittelt. Die Folge der
Rekurrenz-Trainingsfehler wird als Basis für eine

- Klassifikation der Zeitreihen-Werte eingesetzt, wobei die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert werden, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler ein vorgegebenes Kriterium erfüllt und die
- 5 Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des zweiten Typs klassifiziert werden, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler das vorgegebene Kriterium nicht erfüllt.
- 10 Eine Vorrichtung zur Klassifikation von Zeitreihen-Werten in Zeitreihen-Werte eines Systems eines ersten Typs oder in Zeitreihen-Werte eines Systems eines zweiten Typs, wobei ein System des ersten Typs ein System ist, welches eine vorgegebene Dynamik aufweist, und wobei ein System des
- 15 zweiten Typs ein System ist, welches keine Dynamik aufweist, weist einen Prozessor auf, der derart eingerichtet ist, dass folgende Verfahrensschritte durchführbar sind:
- die Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, werden einem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt,
 - 20 • von dem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz werden aufgrund der Zeitreihen-Werte eine Folge von Rekurrenz-Ausgangswerten erzeugt,
 - aus der Folge der Rekurrenz-Ausgangswerte wird eine Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern ermittelt,
 - 25 • aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler werden die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, und
 - die Zeitreihen-Werte werden in Zeitreihen-Werte eines
 - 30 Systems des zweiten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler das vorgegebene Kriterium nicht erfüllt.

- In einem computerlesbaren Speichermedium ist ein
- 35 Computerprogramm zur Klassifikation von Zeitreihen-Werten in Zeitreihen-Werte eines Systems eines ersten Typs oder in Zeitreihen-Werte eines Systems eines zweiten Typs

gespeichert, wobei ein System des ersten Typs ein System ist, welches eine vorgegebene Dynamik aufweist, und wobei ein System des zweiten Typs ein System ist, welches keine Dynamik aufweist, das, wenn es von einem Prozessor ausgeführt wird, folgende Verfahrensschritte aufweist:

- die Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, werden einem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt,
- von dem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz werden aufgrund der Zeitreihen-Werte eine Folge von Rekurrenz-Ausgangswerten erzeugt,
- aus der Folge der Rekurrenz-Ausgangswerte wird eine Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern ermittelt,
- aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler werden die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, und
- die Zeitreihen-Werte werden in Zeitreihen-Werte eines Systems des zweiten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler das vorgegebene Kriterium nicht erfüllt.

Wird ein Computerprogramm-Element zur Klassifikation von Zeitreihen-Werten in Zeitreihen-Werte eines Systems eines ersten Typs oder in Zeitreihen-Werte eines Systems eines zweiten Typs, wobei ein System des ersten Typs ein System ist, welches eine vorgegebene Dynamik aufweist, und wobei ein System des zweiten Typs ein System ist, welches keine Dynamik aufweist, von einem Prozessor ausgeführt, so werden folgende Verfahrensschritte ausgeführt:

- die Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, werden einem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt,
- von dem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz werden aufgrund der Zeitreihen-Werte eine Folge von Rekurrenz-Ausgangswerten erzeugt,
- aus der Folge der Rekurrenz-Ausgangswerte wird eine Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern ermittelt,

- aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler werden die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, und
 - 5 • die Zeitreihen-Werte werden in Zeitreihen-Werte eines Systems des zweiten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler das vorgegebene Kriterium nicht erfüllt.
- 10 Anschaulich bedeutet diese Vorgehensweise, dass erstmals ein Rekurrentes künstliches Neuronales Netz eingesetzt wird, um zu ermitteln, ob Zeitreihen-Werte, welche ein System beschreiben, das eine vorgegebene Dynamik aufweist, oder ob das durch die Zeitreihen-Werte beschriebene System ein reines
- 15 Rauschen ist ohne jede statistische Korrelation zwischen den einzelnen Zeitreihen-Werten.

Es wurde erkannt worden, dass von einem Rekurrenten Neuronalen Netz im Rahmen eines Trainingsverfahrens die

20 Dynamik eines Systems sehr gut gelernt werden kann, insbesondere besser als mit einem vorwärtsgerichteten künstlichen Neuronalen Netz, mit dem es nur sehr schlecht, das heißt mit einer sehr großen Zahl von Zeitreihen-Werten überhaupt möglich ist, eine Dynamik eines Systems

25 nachzubilden.

Das stark unterschiedliche Lernverhalten, insbesondere die starke Verringerung des Trainingsfehlers im Rahmen des Trainings eines Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netzes bei

30 Zeitreihen-Werten eines Systems, dem eine Dynamik zugrunde liegt, wird zur Klassifikation des Systems, welches durch die Zeitreihen-Werte beschrieben wird, eingesetzt.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass für den Fall,

35 dass die Zeitreihen-Werte ein System des zweiten Typs, das heißt ein System beschreiben, dem keine Dynamik zugrunde liegt, es bedeutet, dass keine statistische Korrelationen

zwischen den einzelnen Zeitreihen-Werten vorhanden sind und solche auch nicht gelernt werden, wodurch sich der Trainingsfehler im Rahmen des Trainings weder eines Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netzes noch eines vorwärts gerichteten künstlichen Neuronalen Netzes verringert.

Somit ist allein schon eine starke Verringerung des Trainingsfehlers im Rahmen des Trainings eines Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netzes ein starkes Indiz dafür, dass dem System, welches durch die Zeitreihen-Werte beschrieben wird, deterministisch statistische Korrelationen aufweist, das heißt eine vorgegebene Dynamik aufweist. Somit eignet sich schon die Verringerung des Trainingsfehlers im Rahmen des Trainings eines Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netzes zur Klassifikation des durch die Zeitreihen-Werte beschriebenen Systems.

Durch die Erfindung wird es erstmals möglich, mit einem vertretbaren Trainingsaufwand, das heißt mit einer vertretbar großen Anzahl verwendeter Zeitreihen-Werte zum Trainieren des Rekurrenten Neuronalen Netzes Zeitreihen-Werte, welche ein System beschreiben, zu klassifizieren. Durch die Klassifikation anhand des Trainingsverhaltens des Neuronalen Netzes wird ermittelt, ob dem System, welches durch die Zeitreihen-Werte beschrieben wird, eine vorgegebene Dynamik zugrunde liegt oder nicht.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Die im weiteren beschriebenen Ausgestaltungen der Erfindung betreffen sowohl das Verfahren, die Vorrichtung, das computerlesbare Speichermedium als auch das Computerprogramm-Element.

Das Verfahren kann sowohl mittels Computerprogramm, das heißt mittels Software, als auch mit einer elektronischen Spezialschaltung in Hardware implementiert werden.

- 5 Als Kriterium kann ein vorgegebener Grad der Verringerung der Rekurrenz-Trainingsfehler aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler verwendet werden. In diesem Fall werden die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert, wenn die Rekurrenz-Trainingsfehler sich
10 in größerem Maße verringern als durch den vorgegebenen Grad angegeben.

- Alternativ können die Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, einem vorwärtsgerichteten künstlichen Neuronalen
15 Netz (Feed-Forward Neuronales Netz) zugeführt werden, und von dem vorwärtsgerichteten künstlichen Neuronalen Netz kann aufgrund der Zeitreihen-Werte eine Folge von Vorwärts-Ausgangswerten erzeugt werden. Aus der Folge der Vorwärts-Ausgangswerte wird eine Folge von Vorwärts-Trainingsfehlern
20 gemäß dieser Weiterbildung ermittelt und als das Kriterium wird ein Unterschied der Verringerung der Rekurrenz-Trainingsfehler aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler und der Verringerung der Vorwärts-Trainingsfehler aus der Folge der Vorwärts-Trainingsfehler verwendet. Die Zeitreihen-
25 Werte werden in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert, wenn der Unterschied größer ist als ein vorgegebener Wert.

- Die Zeitreihen-Werte sind bevorzugt Abtastwerte eines
30 physikalischen Signals, insbesondere eines biomedizinischen Signals, wie beispielsweise Abtastwerte eines Elektroenzephalogramm-Signals, eines Elektrokardiogramm-Signals, eines Elektromyogramm-Signals oder allgemein aller bioelektrischen oder biomagnetischen Signale.

- 35 Das Verfahren eignet sich insbesondere für den Einsatz der Klassifikation allgemein aller Systeme, bei denen ein

Rückschluss auf das Verhalten des Systems aufgrund des Bestehens oder Nichtbestehens einer Dynamik möglich ist.

So eignet sich die Erfindung beispielsweise auch für den Einsatz im Rahmen der Finanzmarktanalyse, da auch in diesem Einsatzgebiet bei Existenz einer Dynamik innerhalb von Zeitreihen-Werten ermittelt werden kann, dass eine Prognose des zukünftigen Verhaltens des Finanzmarktes möglich wird.

10 Insbesondere wird die Erfindung bevorzugt bei der Analyse eines Elektrokardiogramm-Signals eingesetzt in der Weise, dass es aufgrund des Ausgangswerts möglich ist, zu klassifizieren, ob der Patient, dessen Zeitreihen-Werte gemessen worden sind, ein ischämischer Patient ist oder
15 nicht. Dies wird möglich, da bei einem ischämischen Patienten der Folge von Elektrokardiogramm-Signalen eine vorgegebene Dynamik zugrunde liegt, was bei einem gesunden Patienten nicht der Fall ist.

20 Die Erfindung eignet sich insbesondere auch zum Einsatz bei der Klassifikation von Elektroenzephalogramm-Signalen hinsichtlich der Klassifikation, ob die Zeitreihen-Werte ein Elektroenzephalogramm-Signal beschreiben, welches auf einen Gehirntumor hinweist oder nicht.

25 Die Abtastwerte können auch von einem sogenannten Licox-Signal abgetastet werden, wodurch die Klassifikation der Zeitreihen-Werte dahingehend möglich ist, ob ein plötzlicher Herztod mit großer Wahrscheinlichkeit bevorsteht oder nicht.

30 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im weiteren näher erläutert.

Es zeigen

35

Figuren 1a und 1b ein Ablaufdiagramm, in dem die einzelnen Verfahrensschritte eines Ausführungsbeispiels der Erfindung dargestellt sind;

5 Figur 2 eine Skizze, in der die Aufnahme von Elektrokardiogramm-Signalen und deren Weiterverarbeitung hin zur Klassifikation der Elektrokardiogramm-Signale dargestellt ist;

10 Figuren 3a und 3b eine Skizze einer üblichen Periode eines Elektrokardiogramm-Signals (Figur 3a) sowie eine Folge solcher Perioden (Figur 3b);

15 Figur 4 eine Skizze eines Rekurrenten Neuronalen Netzes, welches gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet wird;

Figuren 5a und 5b ein Diagramm einer Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern und einer Folge von Vorwärts-Trainingsfehlern für Zeitreihen-Werte, die Elektrokardiogramm-Signale beschreiben eines gesunden Patienten (Figur 5a) sowie ein Diagramm mit einer Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern und einer Folge von Vorwärts-Trainingsfehlern für Zeitreihen-Werte, die Elektrokardiogramm-Signale eines ischämischen Patienten beschreiben (Figur 5b);

20

25

Fig.2 zeigt einen Patienten 200, dem Elektroden 201 gemäß einer sogenannten Extremitäten-Ableitung nach Einthoven, wie sie in [2] beschrieben ist, befestigt sind. Ein Kabel 202 ist mit den Elektroden 201 verbunden. Elektrokardiogramm-Signale 203 werden über die Elektroden 201 und das Kabel 202 einem Elektrokardiogramm-Gerät 204 zugeführt.

30

35 Das Elektrokardiogramm-Gerät 204 weist folgende Komponenten auf:

- Eine Vorverarbeitungseinheit 205,

- einen Speicher 206,
- einen Prozessor 207,
- einen Signalgenerator 219,

5 die jeweils über einen Computerbus 208 miteinander gekoppelt sind.

Weiterhin weist das Elektrokardiogramm-Gerät 204 eine Anzeigeeinheit 220 auf, auf dem die Elektrokardiogramm-Signale 203 und/oder ein im weiteren erläutertes Alarmsignal 10 224 dargestellt werden.

Das Elektrokardiogramm-Signal 203 wird in dem Elektrokardiogramm-Gerät 204 der Vorverarbeitungseinheit 205 15 zugeführt. In der Vorverarbeitungseinheit 205 wird das Elektrokardiogramm-Signal 203 einer Analog/Digital-Wandlung sowie einer Rauschfilterung unterzogen.

Das auf diese Weise generierte abgetastete Signal weist eine Vielzahl von Zeitreihen-Werten auf, die in dem Speicher 206 20 gespeichert werden.

Symbolisch sind logische Komponenten im weiteren in dem Prozessor 207 dargestellt. Dies ist in der Weise zu verstehen, dass durch den Prozessor 207 die logischen 25 Komponenten realisiert werden mittels eines Computerprogramms, das in dem Speicher 206 gespeichert ist.

Die Zeitreihen-Werte werden aus dem Speicher 206 ausgelesen und einem Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz 209 30 zugeführt.

Ferner werden die Zeitreihen-Werte 211 einem vorwärtsgerichteten künstlichen neuronalen Netz 210 35 zugeführt.

Von dem Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz 209 werden Rekurrenz-Ausgangswerte 212 gebildet, welche einer Einheit

zum Bilden von Rekurrenz-Trainingsfehlern 213 zugeführt werden.

Von dem vorwärtsgerichteten neuronalen Netz 210 werden
5 Vorwärts-Ausgangswerte 215 erzeugt, die einer Einheit zum
Bilden von Vorwärts-Trainingsfehlern 216 zugeführt werden.
Von der Einheit zum Bilden von Vorwärts-Trainingsfehlern 216
werden Vorwärts-Trainingsfehler 217 gebildet. Die Vorwärts-
Trainingsfehler 217 und die Rekurrenz-Trainingsfehler 214
10 werden einem Subtrahierer 218 zugeführt. Ein von dem
Subtrahierer 218 gebildetes Differenzsignal 221 wird einem
Klassifikator 222 zugeführt.

Ist das Differenzsignal 221 größer als ein vorgegebener Wert,
15 so wird von dem Klassifikator 222 ein Alarmgenerierungssignal
223 erzeugt und einem Signalgenerator 219 zugeführt. Von dem
Signalgenerator 219 wird ein Alarmsignal 224 gebildet und auf
dem Bildschirm 220 einem Arzt, das heißt allgemein einem
Benutzer des Elektrokardiogramm-Geräts 204 dargestellt.

20 Die im Rahmen des Ausführungsbeispiels erforderlichen
Verfahrensschritte werden im weiteren im Zusammenhang mit der
Beschreibung des Ablaufdiagramms aus **Fig.1a** und **Fig.1b** noch
detailliert erläutert.

25 **Fig.3a** zeigt eine üblichen Periode 300 eines
Elektrokardiogramm-Signals 203.

Die Periode 300 des Elektrokardiogramm-Signals 203 weist im
30 wesentlichen fünf sogenannte Zacken auf:

- Eine P-Zacke 301, welche der elektrischen Depolarisation des Vorhofs des Herzens entspricht,
- eine Q-Zacke 302, welche dem Beginn der Kammererregung des Herzens entspricht;
- 35 • eine R-Zacke 303, welche der maximalen Kammererregung des Herzens entspricht;

- eine S-Zacke 304, welche der Erregung der basalen Teile der Ventrikel des Herzens entspricht;
- eine T-Zacke 305, welche der Depolarisation der Herzkammern des Herzens entspricht.

5

Eine Folge 310 von Perioden 300 des Elektrokardiogramm-Signals 203 ergeben das Elektrokardiogramm-Signal 203. Eine solche Folge 310 von Perioden 300 eines EKG-Signals 203 sind in **Fig.3b** dargestellt.

10

Jeweils ein Abstand zwischen zwei R-Zacken 303 wird als Zackenabstand T_i ($i = 1, \dots, n$) bezeichnet. Dies bedeutet, es ergeben sich bei $n + 1$ Perioden 300 eines Elektrokardiogramm-Signals 203 n Abstände T_i zwischen den R-Zacken 303. Es ergibt sich somit eine Folge von Abstandswerten ($T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n$).

15

Ein Abstand T_i wird im folgenden als Zeitreihen-Wert 211 bezeichnet, so dass die Folge von Abständen ($T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n$) als Folge von Zeitreihen-Werten bezeichnet wird. Die Zeitreihen-Werte 211 werden in dem Speicher 206 gespeichert.

20

Das Verfahren wird in seinen einzelnen Verfahrensschritten im Zusammenhang mit dem in **Fig.1a** und **Fig.1b** dargestellten Ablaufdiagramm näher erläutert.

25

In einem ersten Schritt (Schritt 100) wird das Elektrokardiogramm-Signals 203 erfasst.

30

In einem weiteren Schritt (Schritt 101) werden, wie oben dargestellt, die Zeitreihen-Werte 211 (T_i) ermittelt.

Die ermittelten Zeitreihen-Werte 211 werden in einem weiteren Schritt (Schritt 102) in dem Speicher 206 gespeichert.

35

Die gespeicherten Zeitreihen-Werte werden ausgelesen (Schritt 103) und einem in **Fig.4** gezeigten Rekurrenten Neuronalen Netz 400 zugeführt (Schritt 104).

- 5 Mit $x(t)$ wird im weiteren jeweils ein Zeitreihen-Wert 211 zu einem Zeitpunkt t bezeichnet. Mit $x(t-s)$ ($s = 1, \dots, d$) werden zeitlich vorangegangene Zeitreihen-Werte 211 bezeichnet.
- 10 Das Rekurrente künstliche Neuronale Netz 400 weist d Eingangsneuronen 401 auf.

Ausgänge der Eingangsneuronen 401 sind über gewichtete Verbindungen 402 mit Eingängen von versteckten Neuronen 403
15 verbunden.

Ausgänge der versteckten Neuronen 403 sind über gewichtete Verbindungen 404 mit einem Ausgangsneuron 405 verbunden. Ein Ausgang des Ausgangsneurons 405 ist über eine Rückkopplung
20 406 mit einem Eingangsneuron 401 verbunden.

Aufgrund des Zuführens der Zeitreihen-Werte 211 an das Rekurrente künstliche Neuronale Netz 400 werden Rekurrenz-Ausgangswerte gebildet (Schritt 105), welche wiederum über
25 die Rückkopplung 406 dem Eingangsneuron des Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz 400 zugeführt werden. Der gebildete Rekurrenz-Ausgangswert 212 wird weiterhin der Einheit zum Bilden von Rekurrenz-Trainingsfehlern 213 zugeführt (Schritt 106).

30 Anschaulich bedeutet dies, dass die Rekurrenz-Ausgangswerte zum einen an das jeweilige Eingangsneuron 401 zugeführt werden wie auch "ausgekoppelt" werden und zum Bilden eines Rekurrenz-Trainingsfehlers der Einheit zum Bilden von
35 Rekurrenz-Trainingsfehlern zugeführt werden.

Pro Zeitschritt, das heißt für jeden Abstandswert t_i wird jeweils ein Rekurrenz-Ausgangswert 212 und somit auch ein Rekurrenz-Trainingsfehler 214 in einem weiteren Schritt gebildet (Schritt 107).

5

Im Rahmen des Trainingsverfahrens wird gemäß der in [3] beschriebenen Variante des BTT-Verfahrens eine Aktualisierung der einzelnen Gewichte des Rekurrenten künstlichen neuronalen Netzes gemäß folgenden Vorschriften durchgeführt:

10

$$\hat{x}(t) = \sum_i W_{i1} \cdot g \left[\sum_{k=1}^d \omega_{ik} \cdot \hat{x}(t-k) + \omega_{i0} \right] + W_0 \quad (1)$$

mit

$$15 \quad \hat{x}(t-k) = \hat{x}(t-k-1), \quad k > 0, \quad (2)$$

$$\Delta W_{ji} = 2 \cdot \eta \cdot \sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta} g \left[\sum_{k=1}^d \omega_{ik} \cdot x(t-k) \right] \cdot \delta_j(t), \quad (3)$$

$$\Delta W_{j0} = 2 \cdot \eta \cdot \sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta} \delta_j(t), \quad (4)$$

20

$$\Delta w_{jk} = 2 \cdot \eta \cdot \sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta} x(t-k) \cdot \delta_j(t), \quad (5)$$

$$\Delta w_{j0} = 2 \cdot \eta \cdot \sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta} \delta_j(t), \quad (6)$$

25 mit

$$\delta_j(t) = \sigma'_j(t-1) \left[E_j(t) \cdot e^{\lambda_m(t_i-t)} + \sum_k \omega_{kj} \cdot \delta_k(t+1) \right], \quad (7)$$

$$t = t_i + \Delta, \dots, t_i, \quad (8)$$

$$\delta_j(t_i + 1 + \Delta) = 0, \quad (9)$$

5

wobei mit

- W_{ji} die Gewichte der gewichteten Verbindungen 404 zwischen den versteckten Neuronen 403 und den Ausgangsneuronen 405 bezeichnet werden,
- mit w_{jk} die Gewichte der gewichteten Verbindungen 402 zwischen den Eingangsneuronen 401 und den versteckten Neuronen 403 bezeichnet werden,
- mit g ein vorgegebener Gewichtungswert bezeichnet wird,
- 15 • mit λ_m ein Parameter bezeichnet wird, mit dem die exponentielle Gewichtung der Bewertungsfunktion beschrieben wird,
- mit Δ die jeweilige Änderung eines Gewichts W_{ji} bzw. w_{jk} bezeichnet wird, und
- 20 • mit $E_j(t)$ das Fehlersignal, d.h. der Fehler der Ausgangsneuronen bezeichnet wird.

Es ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass ω_{kj} sowohl W_{kj} oder w_{kj} bezeichnen kann, weshalb der Index k über
 25 unterschiedliche Dimensionen laufen kann. Mit dem Index k wird jeweils bei ω_{kj} dasjenige Neuron k bezeichnet, das durch die Verknüpfung, d.h. Kopplung j vorwärts gekoppelt ist.

30 Anschaulich wird gemäß diesem Ausführungsbeispiel im Rahmen des Trainingsverfahrens folgende Kostenfunktion F minimiert:

$$F = \min \left(\sum_{t=t_i}^{t_i+\Delta} \left\{ e^{\lambda_m(t_i-t)} \cdot \sum_{k=0}^d [x(t-k) - \hat{x}(t-k)]^2 \right\} \right). \quad (11)$$

Weiterhin werden in einem weiteren Schritt (Schritt 108) die Zeitreihen-Werte dem vorwärtsgerichteten künstlichen Neuronales Netz 210 zugeführt.

- 5 Gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird als das vorwärtsgerichtete künstliche Neuronales Netz 210 das Rekurrente künstliche neuronale Netz 400 mit $\Delta = 0$ verwendet, wodurch das vorwärtsgerichtete künstliche Neuronale Netz 210 ohne Rückkopplung gebildet wird.

10

Somit weist das vorwärtsgerichtete künstliche Neuronale Netz dieselbe Struktur auf, wie das Rekurrente künstliche Neuronale Netz 400, lediglich ohne die Rückkopplung 406.

- 15 Als Trainingsverfahren für das vorwärts gerichtete künstliche neuronale Netz wird das übliche Backpropagation-Trainingsverfahren oder auch das oben beschriebene Trainingsverfahren für das Rekurrente künstliche neuronale Netz 400 mit $\Delta = 0$ eingesetzt.

20

In einem weiteren Schritt (Schritt 109) werden Vorwärts-Ausgangswerte von dem vorwärtsgerichteten künstlichen neuronalen Netz 210 gebildet und die Vorwärts-Ausgangswerte werden der Einheit zum Bilden von Vorwärts-Trainingsfehlern zugeführt (Schritt 110).

25

In einem weiteren Schritt (Schritt 111) werden Rekurrenz-Trainingsfehler gebildet, die gemeinsam mit den Rekurrenz-Trainingsfehlern als jeweilige Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern bzw. Folge von Vorwärts-Trainingsfehlern dem Subtrahierer 218 zugeführt werden (Schritt 112).

30

In einem weiteren Schritt (Schritt 113) wird von dem Subtrahierer 218 eine Differenz gebildet zwischen jeweils einem Rekurrenz-Trainingsfehler der Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern und dem zeitlich entsprechenden Vorwärts-Trainingsfehler der Folge von Vorwärts-Trainingsfehlern, das

35

heißt eine Differenz der jeweiligen Trainingsfehler zu jeweils einem Zeitpunkt.

Die gebildeten Differenzwerte werden in einem weiteren
5 Schritt (Schritt 114) dem Klassifikator 222 zugeführt.

In dem Klassifikator 222 wird geprüft, ob die Differenzwerte größer sind als ein vorgegebener Wert (Schritt 115).

10 Ist nach einer vorgegebenen Zahl von Trainingsiterationen zumindest einer der Differenzwert nicht größer als ein vorgegebener Wert, so werden die Zeitreihen-Werte als Zeitreihen-Werte eines Systems klassifiziert, welches keine Dynamik aufweist (Schritt 116).

15 Werden jedoch eine vorgegebene Anzahl (mindestens ein Differenzwert) von Differenzwerten größer als der vorgegebene Wert, beispielsweise wird ein Differenzwert größer als der vorgegebene Wert, so werden die Zeitreihen-Werte als
20 Zeitreihen-Werte eines ischämischen Patienten klassifiziert, das heißt als Zeitreihen-Werte eines Systems, welches eine vorgegebene Dynamik aufweist (Schritt 117).

Werden die Zeitreihen-Werte als Zeitreihen-Werte eines
25 Systems mit vorgegebener Dynamik klassifiziert (Schritt 117), so wird von dem Klassifikator 222 ein Alarm-Generierungssignal 223 gebildet (Schritt 118) und dem Signalgenerator 219 zugeführt (Schritt 119).

30 Von dem Signalgenerator 219 wird daraufhin das Alarmsignal 224 erzeugt (Schritt 120).

Das Alarmsignal 224 kann entweder auf dem Bildschirm 220 visuell dargestellt werden oder auch als Audiosignal einem
35 Arzt zur Verfügung gestellt werden.

Die **Fig.5a** und **Fig.5b** zeigen Ergebnisdiagramme 500, 510 bei folgendem Versuch. Es wurden 24 Stunden lang ein 12-Kanal-Elektrokardiogramm-Signal von zwei unterschiedlichen Patienten erfasst. Ein erster Patient war weiblich, 65 Jahre alt und gesund. Ein zweiter Patient war 66 Jahre alt, weiblich und war myokardial-ischemisch.

Das Elektrokardiogramm-Signal wurde jeweils bei 500 Hz Abtastfrequenz abgetastet und mit 12 Bit Auflösung codiert. Um die Neuronalen Netze zu trainieren, wurden 45.000 Abstandswerte verwendet und es wurden 94.000 Abstandswerte verwendet, um das trainierte neuronale Netz in seiner Verallgemeinerungsfähigkeit zu testen.

Das Rekurrente Neuronale Netz 400 weist $d = 5$ Eingangsneuronen 401 auf und zehn versteckte Neuronen 403. Im Rahmen des Trainierens des vorwärtsgerichteten Neuronalen Netzes 210 wurde das vorwärtsgerichtete Neuronale Netz 210 mit $\Delta = 0$ trainiert und das Rekurrente künstliche Neuronale Netz 400 wurde mit $\Delta = 4$ trainiert.

Wie **Fig.5a** zu entnehmen ist, ergibt sich für die Folge 501 von Vorwärts-Trainingsfehlern für das vorwärtsgerichtete Neuronale Netz 210 und für die Folge 502 von Rekurrenz-Trainingsfehlern des Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netzes 400 kaum ein Unterschied.

Wie jedoch **Fig.5b** zu entnehmen ist, ergibt sich bei dem ischemischen Patienten ein deutlicher Unterschied zwischen einer Folge 511 von Vorwärts-Fehlersignalen und einer Folge 512 von Rekurrenz-Fehlersignalen.

Somit ist es möglich, aufgrund der Differenz der Folge der jeweiligen Fehlersignale, in anderen Worten aufgrund des Trainingsverhaltens der beiden Neuronalen Netze, die Charakteristik des zugrundeliegenden Systems zu ermitteln. Insbesondere ist es möglich, zu klassifizieren, ob dem

entsprechenden System allgemein eine vorgegebene Dynamik zugrunde liegt.

Im weiteren werden einige Alternativen zu dem oben
5 dargelegten Ausführungsbeispiel erläutert:

Die Erfindung kann alternativ auch eingesetzt werden, um ein Simulationsmodell eines technischen Systems hinsichtlich dessen Qualität zu überprüfen. Dieser Verwendung liegt
10 folgende Erkenntnis zugrunde.

Ist ein Simulationsmodell ideal, so weisen Fehlersignale, die durch das Simulationsmodell generiert werden, keinerlei statistische Korrelationen auf, das heißt der Folge von
15 Fehlersignalen liegt keine Dynamik zugrunde.

Liegt der Folge von Fehlersignalen jedoch eine vorgegebene Dynamik zugrunde, was mittels des Trainingsverhaltens eines Rekurrenten künstlichen Neuronalen Netzes auf oben
20 beschriebene Weise ermittelt werden kann, weist die Folge von Fehlersignalen in dem Simulationsmodell noch statistische Korrelationen auf, so dass daraus geschlossen werden kann, dass das Simulationsmodell fehlerbehaftet ist.

25 Allgemein kann die Erfindung in jedem Bereich eingesetzt werden, in dem es gilt, Zeitreihen-Werte eines Systems, dem eine Dynamik zugrunde liegt, von Zeitreihen-Werten eines Systems, dem keine Dynamik zugrunde liegt, zu unterscheiden.

30 Als Vergleichskriterium muss nicht notwendigerweise ein Vergleich mit Zeitreihen-Werten, die einem vorwärtsgerichteten künstlichen neuronalen Netz zugeführt werden, eingesetzt werden. Allein schon das Trainingsverhalten des Rekurrenten Neuronalen Netzes lässt,
35 wie oben dargelegt, Rückschlüsse auf eine Dynamik, die dem durch die Zeitreihen-Werte beschriebenen System zugrunde liegt oder nicht, zu.

Anschaulich bedeutet dies, wenn sich der Rekurrenz-
Trainingsfehler aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler
stark verringert, dass dies darauf schließen lässt, dass dem
5 durch die Zeitreihen-Werte beschriebenen System eine
vorgegebene Dynamik zugrunde liegt.

In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

- 5 [1] A. Zell, Simulation neuronaler Netze, Addison-Wesley Verlag. 1. Auflage, ISBN-3-89319-554-8, S. 522 - 527, 1994
- [2] J. Eichmeier, Medizinische Elektronik, Springer-Verlag, 2. Auflage, ISBN-3-540-53387-2, S. 14 - 84, 1991
- 10 [3] G. Deco und B. Schürmann, Neural Learning of Chaotic System Behaviour, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E 77-A, No. 11, S. 1840 - 1845, November 1994
- 15 [4] A. Zell, Simulation neuronaler Netze, Addison-Wesley Verlag. 1. Auflage, ISBN-3-89319-554-8, S. 145 - 160, 1994

Patentansprüche

1. Verfahren zur Klassifikation von Zeitreihen-Werten in
Zeitreihen-Werte eines Systems eines ersten Typs oder in
5 Zeitreihen-Werte eines Systems eines zweiten Typs, wobei ein
System des ersten Typs ein System ist, welches eine
vorgegebene Dynamik aufweist, und wobei ein System des
zweiten Typs ein System ist, welches keine Dynamik aufweist,
- bei dem die Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben,
10 einem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt
werden,
 - bei dem von dem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz
aufgrund der Zeitreihen-Werte eine Folge von Rekurrenz-
Ausgangswerten erzeugt werden,
 - 15 • bei dem aus der Folge der Rekurrenz-Ausgangswerte eine
Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern ermittelt wird,
 - bei dem aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler die
Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des
ersten Typs klassifiziert werden, wenn die Folge der
20 Rekurrenz-Trainingsfehler ein vorgegebenes Kriterium
erfüllt, und
 - bei dem die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines
Systems des zweiten Typs klassifiziert werden, wenn die
Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler das vorgegebene
25 Kriterium nicht erfüllt.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
- bei dem als das Kriterium ein vorgegebener Grad der
Verringerung der Rekurrenz-Trainingsfehler aus der Folge
30 der Rekurrenz-Trainingsfehler verwendet wird, und
 - bei dem die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines
Systems des ersten Typs klassifiziert werden, wenn die
Rekurrenz-Trainingsfehler sich in größerem Maße verringern
als durch den vorgegebenen Grad angegeben ist.
- 35
3. Verfahren nach Anspruch 1,

- bei dem die Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, einem vorwärtsgerichteten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt werden,
- bei dem von dem vorwärtsgerichteten künstlichen Neuronalen Netz aufgrund der Zeitreihen-Werte eine Folge von Vorwärts-Ausgangswerten erzeugt werden,
- bei dem aus der Folge der Vorwärts-Ausgangswerte eine Folge von Vorwärts-Trainingsfehlern ermittelt wird,
- bei dem als das Kriterium ein Unterschied der Verringerung der Rekurrenz-Trainingsfehler aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler und der Verringerung der Vorwärts-Trainingsfehler aus der Folge der Vorwärts-Trainingsfehler verwendet wird, und
- bei dem die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert werden, wenn der Unterschied größer ist als ein vorgegebener Wert.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, System des ersten Typs ein System ist, welches mit einer deterministische Beschreibung des zukünftigen Verhaltens des Systems aufgrund der Beschreibung des Verhaltens des Systems in der Vergangenheit beschrieben wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Zeitreihen-Werte aus Abtastwerten eines physikalischen Signals gebildet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Zeitreihen-Werte aus Abtastwerte eines biomedizinischen Signals gebildet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Zeitreihen-Werte aus Abtastwerte eines Elektroenzephalogramm-Signals gebildet werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6,

bei dem die Zeitreihen-Werte aus Abtastwerte eines Elektrokardiogramm-Signals gebildet werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8,

5 bei dem das System des ersten Typs bedeutet, dass für das Elektrokardiogramm-Signal ein ischemisches Herz beschreibt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

bei dem die Zeitreihen-Werte zur Finanzmarkt-Analyse
10 eingesetzt werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

eingesetzt zum Überprüfen eines Modells eines Systems, wobei
in dem Fall, dass die Zeitreihen-Werte als Werte eines
15 Systems des ersten Typs klassifiziert werden, ein Ergebnis-Signal ausgegeben wird, mit dem angezeigt wird, dass das überprüfte Modell nicht optimal ist.

12. Vorrichtung zur Klassifikation von Zeitreihen-Werten in

20 Zeitreihen-Werte eines Systems eines ersten Typs oder in Zeitreihen-Werte eines Systems eines zweiten Typs, wobei ein System des ersten Typs ein System ist, welches eine vorgegebene Dynamik aufweist, und wobei ein System des zweiten Typs ein System ist, welches keine Dynamik aufweist,
25 mit einem Prozessor, der derart eingerichtet ist, dass folgende Verfahrensschritte durchführbar sind:

- die Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, werden einem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt,
- von dem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz werden
30 aufgrund der Zeitreihen-Werte eine Folge von Rekurrenz-Ausgangswerten erzeugt,
- aus der Folge der Rekurrenz-Ausgangswerte wird eine Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern ermittelt,
- aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler werden die
35 Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, und

- die Zeitreihen-Werte werden in Zeitreihen-Werte eines Systems des zweiten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler das vorgegebene Kriterium nicht erfüllt.

5

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,
eingesetzt in einem Elektrokardiogramm-Gerät.

14. Computerlesbares Speichermedium, in dem ein
- 10 Computerprogramm zur Klassifikation von Zeitreihen-Werten in Zeitreihen-Werte eines Systems eines ersten Typs oder in Zeitreihen-Werte eines Systems eines zweiten Typs, wobei ein System des ersten Typs ein System ist, welches eine vorgegebene Dynamik aufweist, und wobei ein System des
- 15 zweiten Typs ein System ist, welches keine Dynamik aufweist, gespeichert ist, das, wenn es von einem Prozessor ausgeführt wird, folgende Verfahrensschritte aufweist:
- die Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, werden einem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt,
 - 20 • von dem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz werden aufgrund der Zeitreihen-Werte eine Folge von Rekurrenz-Ausgangswerten erzeugt,
 - aus der Folge der Rekurrenz-Ausgangswerte wird eine Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern ermittelt,
 - 25 • aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler werden die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, und
 - die Zeitreihen-Werte werden in Zeitreihen-Werte eines
 - 30 Systems des zweiten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler das vorgegebene Kriterium nicht erfüllt.

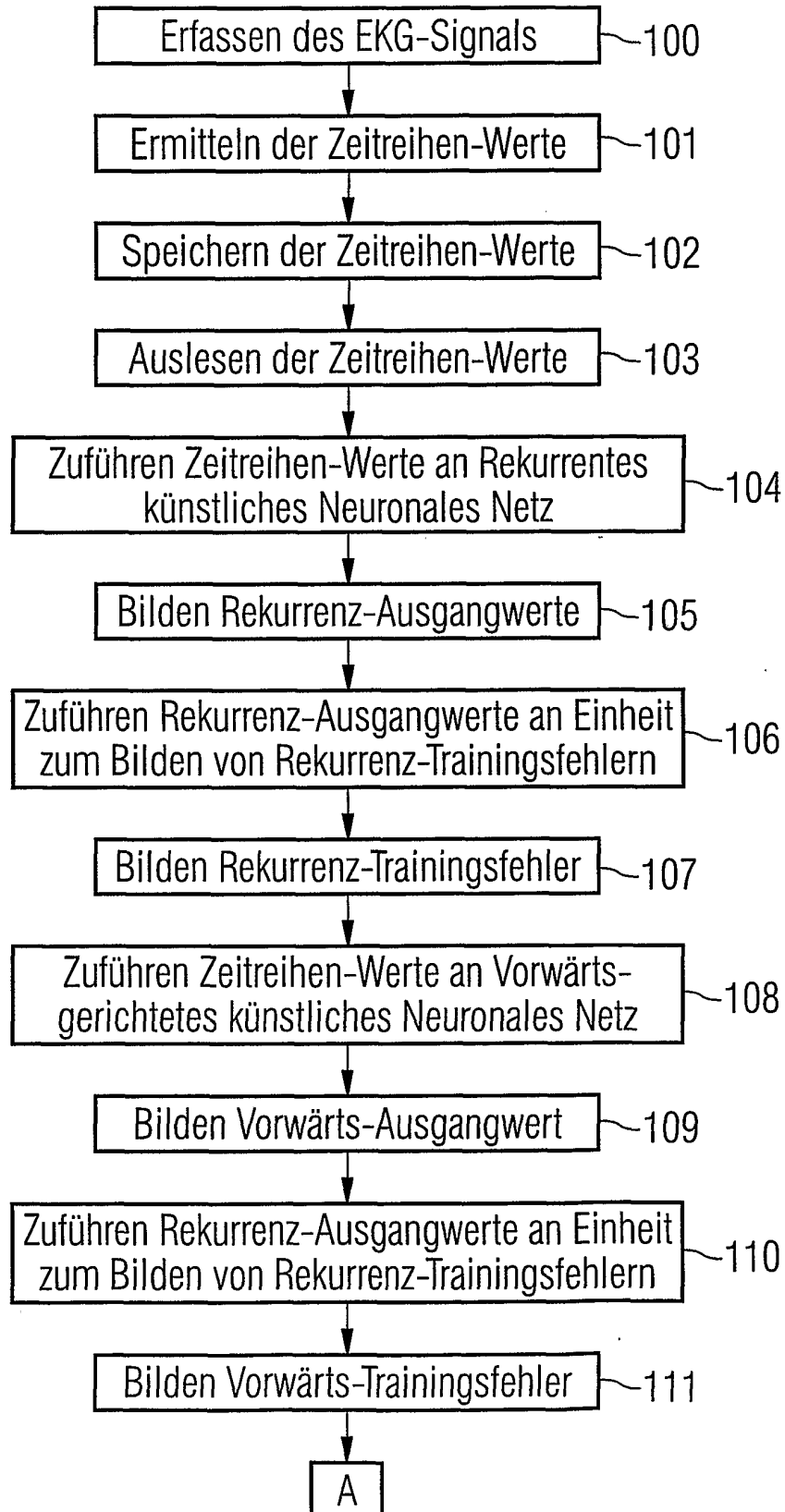
15. Computerprogramm-Element zur Klassifikation von
- 35 Zeitreihen-Werten in Zeitreihen-Werte eines Systems eines ersten Typs oder in Zeitreihen-Werte eines Systems eines zweiten Typs, wobei ein System des ersten Typs ein System

ist, welches eine vorgegebene Dynamik aufweist, und wobei ein System des zweiten Typs ein System ist, welches keine Dynamik aufweist, das, wenn es von einem Prozessor ausgeführt wird, folgende Verfahrensschritte aufweist:

- 5 • die Zeitreihen-Werte, die ein System beschreiben, werden einem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz zugeführt,
- von dem rekurrenten künstlichen Neuronalen Netz werden aufgrund der Zeitreihen-Werte eine Folge von Rekurrenz-Ausgangswerten erzeugt,
- 10 • aus der Folge der Rekurrenz-Ausgangswerte wird eine Folge von Rekurrenz-Trainingsfehlern ermittelt,
- aus der Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler werden die Zeitreihen-Werte in Zeitreihen-Werte eines Systems des ersten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, und
- 15 • die Zeitreihen-Werte werden in Zeitreihen-Werte eines Systems des zweiten Typs klassifiziert, wenn die Folge der Rekurrenz-Trainingsfehler das vorgegebene Kriterium nicht erfüllt.

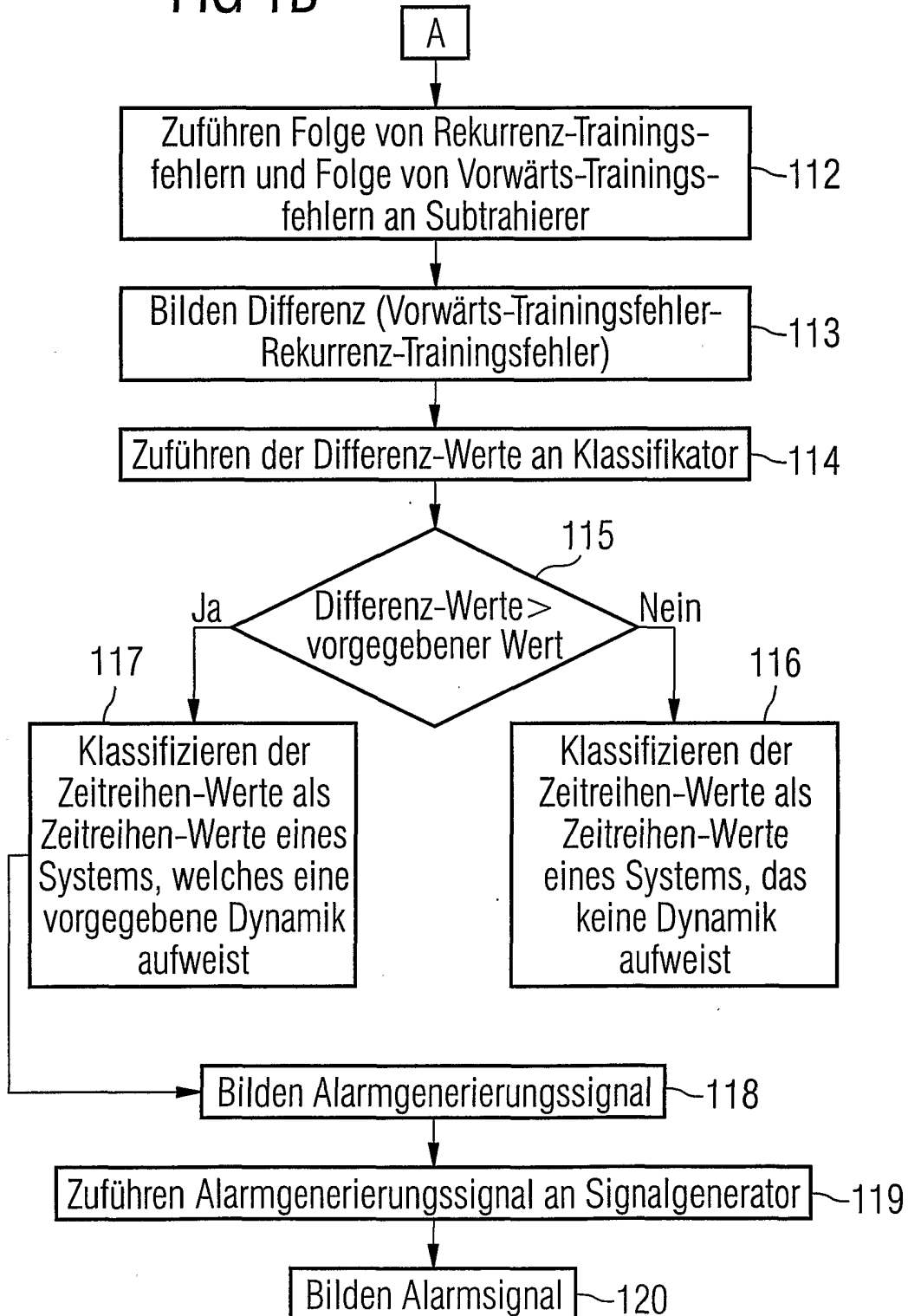
1/6

FIG 1A



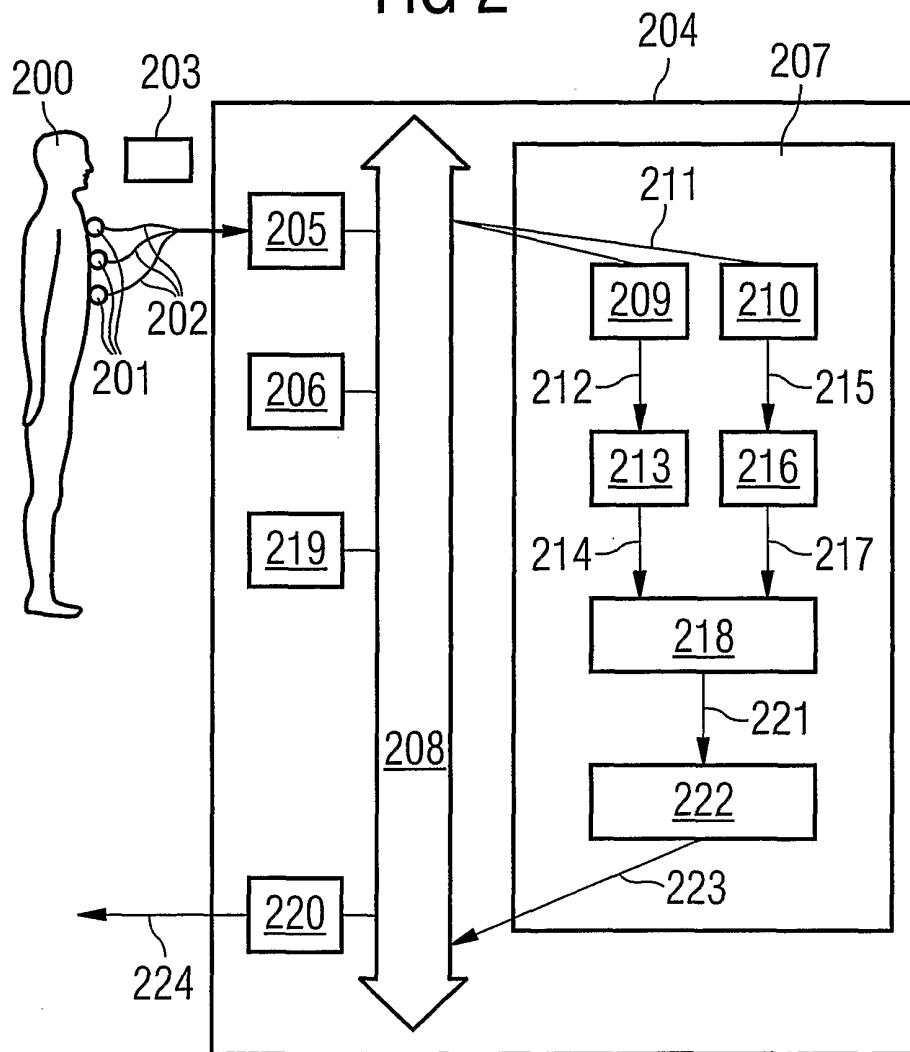
2/6

FIG 1B



3/6

FIG 2



4/6

FIG 3A

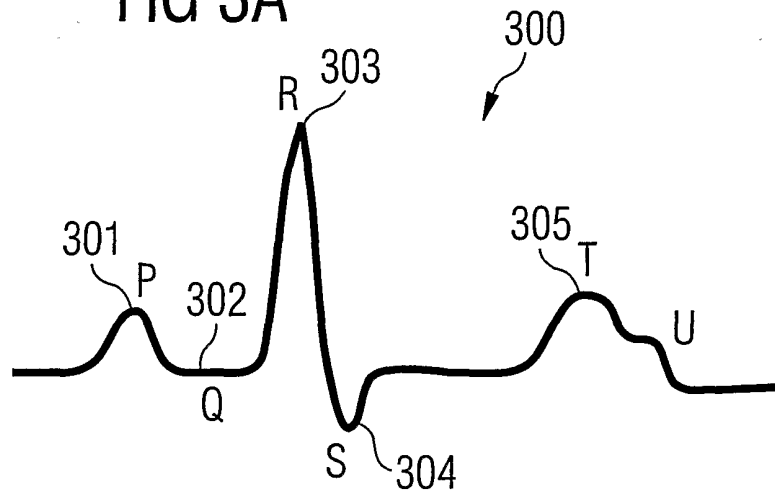
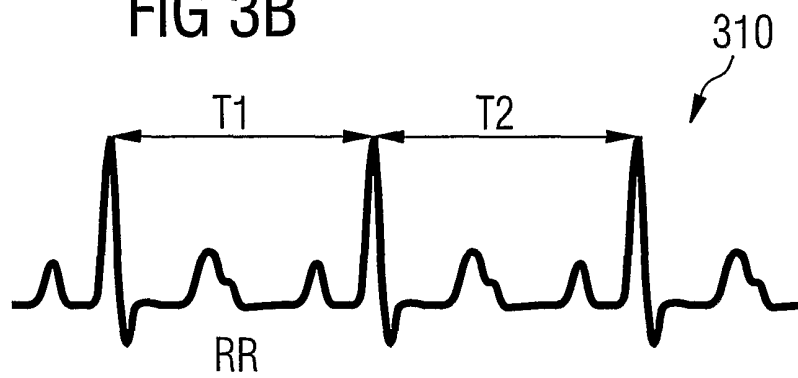
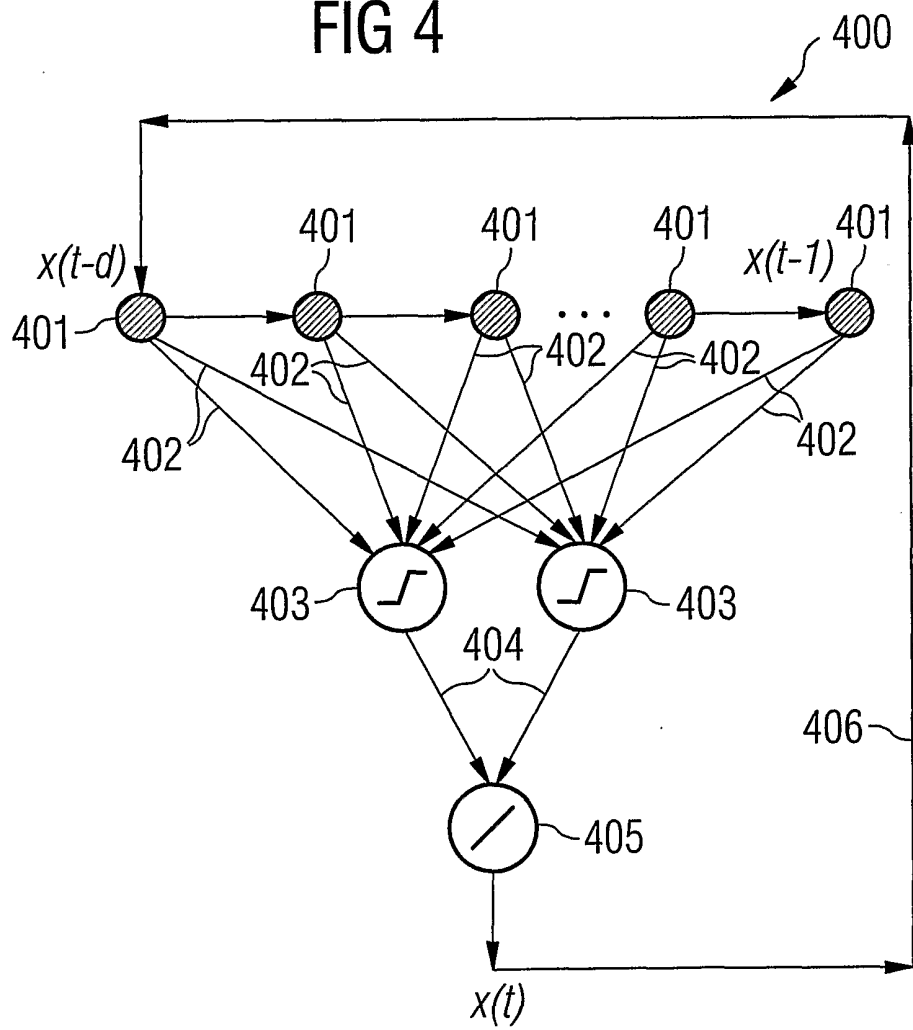


FIG 3B



5/6

FIG 4



6/6

FIG 5A

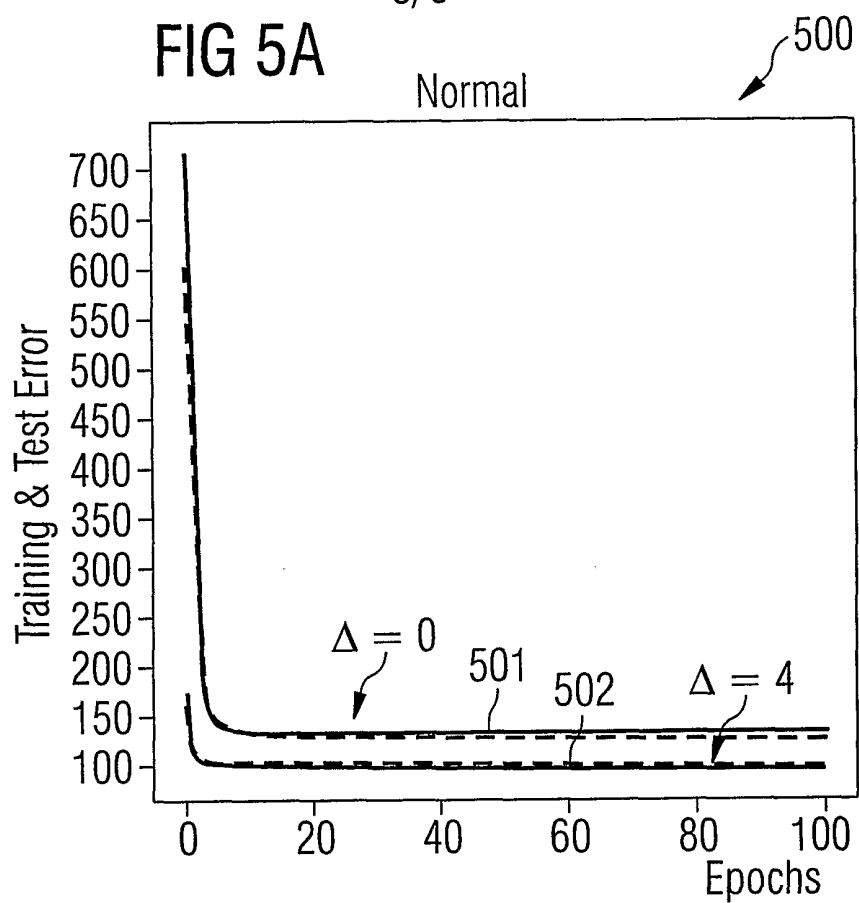


FIG 5B

