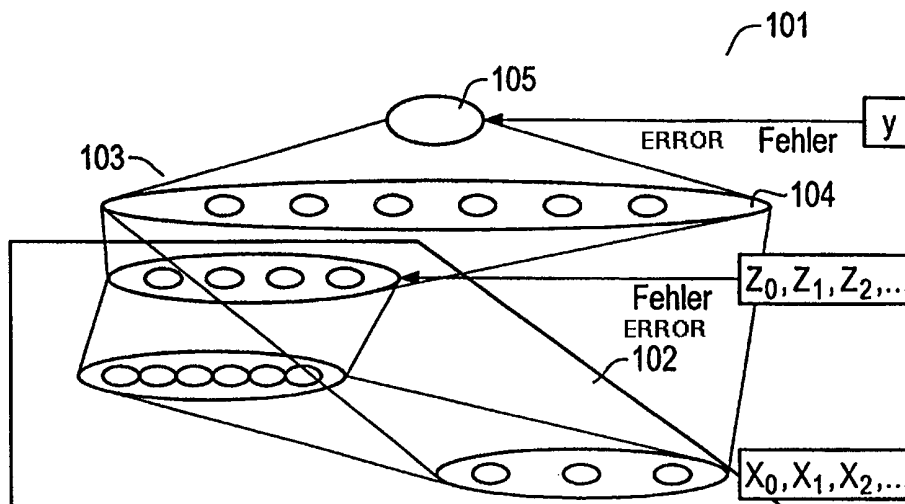


<p>(51) Internationale Patentklassifikation<sup>6</sup> : <b>G06N 3/08</b></p>	<b>A2</b>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/03355</b></p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 20. Januar 2000 (20.01.00)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/01952</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 1. Juli 1999 (01.07.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 30 539.7      8. Juli 1998 (08.07.98)      DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STERZING, Volkmar [DE/DE]; Zillestrasse 38, D-85579 Neubiberg (DE).</p> <p>(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i></p>	

(54) Title: NEURAL NET, AND A METHOD AND DEVICE FOR TRAINING A NEURAL NET

(54) Bezeichnung: NEURONALES NETZ UND VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM TRAINIEREN EINES NEURONALEN NETZES



(57) Abstract

In a first training phase, a first neural net (102) is trained using a first training data set. The first neural net and a second neural net (103) are trained in a second training phase using a second training data set, whereby net parameters of the first neural net remain unchanged in the second training phase.

**(57) Zusammenfassung**

In einer ersten Trainingsphase wird ein erstes neuronales Netz (102) mit einem ersten Trainingsdatensatz trainiert. Das erste neuronale Netz und ein zweites neuronales Netz (103) werden in einer zweiten Trainingsphase mit einem zweiten Trainingsdatensatz trainiert, wobei Netzparameter des ersten neuronalen Netzes in der zweiten Trainingsphase unverändert bleiben.

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbajdschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

Neuronales Netz und Verfahren und Anordnung zum Trainieren eines neuronalen Netzes

5

Die Erfindung betrifft das Trainieren eines neuronalen Netzes.

Ein solches Trainingsverfahren ist aus [1] bekannt.

10

Bei dem bekannten Trainingsverfahren werden Werte, die ein technisches System beschreiben, gemessen.

Unter einem technischen System ist in diesem Zusammenhang eine technische Anlage, beispielsweise ein chemischer Reaktor oder eine Kläranlage, ein zu modellierender Prozeß, allgemein jedes technische System, welches unter Verwendung gemessener physikalischer Werte oder auch aufgenommener, d.h. aufgezeichneter Werte, beispielsweise bei der Bildverarbeitung, modellierbar ist, zu verstehen.

20

Als Basis für das Trainingsverfahren werden Werte, die das technische System beschreiben, gemessen. Die physikalischen Meßwerte werden digitalisiert und einer Vorverarbeitung unterzogen, so daß sie mit einem Rechner verarbeitbar sind.

25

Anhand der gemessenen Trainingsdaten wird ein Neuronales Netz trainiert.

Ein Trainingsdatum weist mindestens eine Eingangsgröße und mindestens eine der Eingangsgröße zugeordneten Ausgangsgröße, den Zielwert, auf.

30

Als Trainingsverfahren kann ein Gradientenabstiegsverfahren, beispielsweise das Backpropagation-Verfahren eingesetzt werden. Ebenso können globale Optimierungsverfahren, wie z.B.

35

das BFGS-Verfahren oder auch genetische Algorithmen eingesetzt werden.

5 Ferner ist es aus [2] bekannt, unter Verwendung eines Netzoptimierungsverfahrens die Struktur eines neuronalen Netzes im Rahmen des Trainings zu optimieren, indem die Anzahl der Netzparameter (Gewichte und Verbindungen zwischen den Neuronen des neuronalen Netzes) hinsichtlich des Trainingsdatensatzes optimiert wird.

10

Unter einem Trainingsdatensatz ist im weiteren eine Menge mit einer beliebigen Anzahl von Trainingsdaten zu verstehen.

15

Ein übliches Netzoptimierungsverfahren ist das Gewichts-Pruning.

Aus [3] ist die rechnergestützte Generierung künstlicher Trainingsdaten bekannt.

20

Bei der Bildung eines Modells für ein technisches System unter Verwendung eines neuronalen Netzes tritt häufig das Problem auf, daß man unter einer Vielzahl von Meßwerten, die unterschiedliche Parameter beschreiben, noch nicht diejenigen Parameter kennt, die zur Beschreibung des technischen Systems wesentlich sind, im Gegensatz zu denen, welche keine große  
25 Bedeutung aufweisen.

25

Bei dieser Problemstellung ist es üblich, in einer ersten Meßphase Werte eines technischen Systems zu messen und diese  
30 Werte als ersten Trainingsdatensatz zum Trainieren des neuronalen Netzes zu verwenden. Nach Abschluß dieser ersten Trainingsphase werden die Eingangsgrößen, die gemäß der ersten Trainingsphase eine geringere Bedeutung im Rahmen der Modellbeschreibung des technischen Systems innerhalb des neuronalen  
35 Netzes aufweisen, nicht mehr weiter verwendet.

35

Es werden in einer zweiten Meßphase nur noch die Eingangsgrößen als Meßwerte des technischen Systems gemessen, deren Bedeutung hinsichtlich der Modellierung des technischen Systems, wie in der ersten Trainingsphase ermittelt, relativ hoch ist.

Das neuronale Netz wird mit den in der zweiten Meßphase ermittelten Werten, die einen zweiten Trainingsdatensatz bilden, in einer zweiten Trainingsphase trainiert.

In der zweiten Trainingsphase werden die Werte der ersten Trainingsphase, die in der zweiten Meßphase nicht mehr gemessen werden, nicht mehr in der zweiten Trainingsphase berücksichtigt.

In [4] ist ein Neuronales Netz mit einer Vielzahl, parallel geschalteter Neuronaler Teilnetze beschrieben, die mit einem gemeinsamen Trainingsdatensatz trainiert werden, wobei die einzelnen Teilnetze sukzessive nacheinander trainiert werden.

Aus [5] sind zwei Neuronale Netze bekannt, die derart miteinander verbunden sind, daß Ausgangswerte eines ersten Neuronalen Netzes Eingangswerte eines zweiten Neuronalen Netzes sind. Für beide Neuronale Netze werden die gleichen Eingangsdaten verwendet.

In [6] ist ein Lernverfahren für ein Neuronales Netz beschrieben, bei dem das Neuronale Netz derart trainiert wird, daß es ein Abbild eines aktuellen Prozesses bildet. Ferner ist ein Hindergrundnetz vorgesehen, das während des Betriebes mit repräsentativen Prozeßdaten derart trainiert wird, daß es ein Abbild des Prozesses über einen längeren Zeitraum gemittelt bildet.

Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein neuronales Netz, sowie ein Verfahren als auch eine Anordnung zum Trainieren eines neuronalen Netzes anzugeben, bei dem in ei-

ner zweiten Trainingsphase nicht mehr benötigte Trainingsdaten aus einer ersten Trainingsphase im Rahmen des Trainings berücksichtigt werden können.

- 5 Das Problem wird durch das Verfahren gemäß Patentanspruch 1, das neuronale Netz gemäß Patentanspruch 11 sowie durch die Anordnung gemäß Patentanspruch 15 gelöst.

Bei dem Verfahren zum rechnergestützten Trainieren eines neuronalen Netzes, welches ein erstes neuronales Netz und ein  
10 zweites neuronales Netz umfaßt, wird das erste neuronale Netz in einer ersten Trainingsphase mit einem ersten Trainingsdatensatz trainiert. Das erste neuronale Netz und das zweite neuronale Netz werden in einer zweiten Trainingsphase mit ei-  
15 nem zweiten Trainingsdatensatz trainiert, wobei Netzparameter des ersten neuronalen Netzes in der zweiten Trainingsphase unverändert bleiben.

Die Anordnung zum Trainieren eines neuronalen Netzes, welches  
20 ein erstes neuronales Netz und ein zweites neuronales Netz umfaßt, weist einen Prozessor auf, der derart eingerichtet ist, daß folgende Schritte durchführbar sind:

- das erste neuronale Netz wird in einer ersten Trainingsphase mit einem ersten Trainingsdatensatz trainiert,
- 25 - das erste neuronale Netz und das zweite neuronale Netz werden in einer zweiten Trainingsphase mit einem zweiten Trainingsdatensatz trainiert, und
- Netzparameter des ersten neuronalen Netzes bleiben in der zweiten Trainingsphase unverändert.

30 Das neuronale Netz weist ein erstes neuronales Netz und ein zweites neuronales Netz auf,  
- bei dem das erste neuronale Netz in einer ersten Trainingsphase mit einem ersten Trainingsdatensatz trainierbar ist,  
35 - bei dem das zweite neuronale Netz in einer zweiten Trainingsphase mit einem zweiten Trainingsdatensatz trainierbar ist,

- bei dem Netzparameter des ersten neuronalen Netzes in der zweiten Trainingsphase unveränderbar sind.

Durch die Erfindung wird die Generalisierungsleistung des  
5 trainierten neuronalen Netzes erheblich gesteigert. Gleich-  
zeitig wird die Stabilität des durch das neuronale Netz ge-  
bildeten Modells für das technische System dadurch erhöht,  
daß auch unvollständige Trainingsdaten, welche die zu model-  
lierenden Größen nicht enthalten, für die Modellierung ge-  
10 nutzt werden können.

Anschaulich ist die Erfindung darin zu sehen, daß Trainings-  
daten, deren Eingangsgrößen zum Teil nicht in einer zweiten  
Trainingsphase gemessen und/oder verwendet werden, für die  
15 Modellierung des technischen Systems, d.h. für das Training  
des neuronalen Netzes, welches als Modell für das technische  
System verwendet wird, genutzt werden.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus  
20 den abhängigen Ansprüchen.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorteilhaft, daß  
mindestens eine Eingangsgröße des ersten neuronalen Netzes  
als Eingangsgröße des zweiten neuronalen Netzes verwendet  
25 wird. Durch diese Weiterbildung wird die Qualität des trai-  
nierten neuronalen Netzes hinsichtlich des zu modellierenden  
technischen Systems weiter verbessert.

Zur weiteren Verbesserung des neuronalen Netzes hinsichtlich  
30 der Modellierung des technischen Systems ist es in einer wei-  
teren Ausgestaltung vorteilhaft, in der ersten Trainingsphase  
auf das erste neuronale Netz ein Netzoptimierungsverfahren  
anzuwenden, insbesondere da in der ersten Trainingsphase üb-  
licherweise relativ wenige Trainingsdaten zur Verfügung ste-  
35 hen, und somit die Zahl der Netzparameter des ersten neurona-  
len Netzes möglichst gering sein sollte.

Die Erfindung kann in jedem neuronalen Netz zur Modellierung eines technischen Systems vorteilhaft eingesetzt werden, insbesondere in einem System, bei dem zu Beginn des Trainings noch nicht bekannt sind, welche gemessenen Werte tatsächlich einen erheblichen Einfluß auf das technische System haben.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im weiteren näher dargestellt.

Es zeigen  
Figur 1 eine Skizze eines neuronalen Netzes, die ein Ausführungsbeispiel der Erfindung darstellt;  
Figuren 2a bis 2c eine Skizze einer Kläranlage mit einer Meßanordnung (Figur 2a), ein neuronales Netz, welches mit den Trainingsdaten einer ersten Meßphase trainiert wird (Figur 2b) und das trainierte erste neuronale Netz nach der ersten Trainingsphase (Figur 2c);  
Figur 3 die Kläranlage mit einer Meßanordnung, in der in einer zweiten Meßphase ein zweiter Trainingsdatensatz ermittelt wird.

**Fig.2a** zeigt eine Kläranlage 201. Unter vorgegebenen Systemparametern 202 werden in einer ersten Trainingsphase Werte 203 der Kläranlage 201 von mindestens einem Meßgerät 204 gemessen.

In einer ersten Trainingsphase sind folgende Systemparameter 202 vorgesehen:

- Uhrzeit der Messung,
- Wochentag der Messung,
- Leitfähigkeit am Zufluß der Kläranlage,
- pH-Wert am Zufluß der Kläranlage,
- Zuflußmenge,
- Temperatur,
- gesamter Stickstoffgehalt.

Von dem Meßgerät 204 werden an verschiedenen Stellen der Kläranlage 201 folgende Werte gemessen:

- Konzentration von Ammonium  $C(\text{NH}_4^+)$ ,
- gesamter Stickstoffgehalt,
- 5 - gesamter Phosphorgehalt,
- Konzentration von Phosphat  $C(\text{PO}_3^{2-})$ ,
- Chemischer Summenstoffbedarf (CSB),
- gelöster Organischer Kohlenstoff (DOC),
- pH-Werte  $-\log C(\text{H}_3\text{O}^+)$  der Flüssigkeiten in der Kläranlage
- 10 201 an verschiedenen Stellen,
- Konzentration abfiltrierbarer Stoffe,
- Konzentration absetzbarer Stoffe.

Die erste Meßphase ist dadurch gekennzeichnet, daß eine gegenüber einer im weiteren beschriebenen zweiten Meßphase erheblich größere Anzahl unterschiedlicher Werte 203 gemessen wird, jedoch oft nur über einen relativ kurzen Zeitraum.

Die Systemparameter und die gemessenen Werte 203 zu den jeweiligen Systemparametern 202 werden jeweils als Tupel gespeichert und alle ermittelten Tupel in der ersten Meßphase bilden einen ersten Trainingsdatensatz 205.

Mit dem ersten Trainingsdatensatz wird ein erstes neuronales Netz 210 (vgl. **Fig.2b**) trainiert. Das erste neuronale Netz 210 weist eine Eingangsschicht 211 mit Eingangsneuronen 214, eine verdeckte Schicht 212 mit verdeckten Neuronen 215 und eine Ausgangsschicht mit Ausgangsneuronen 216 auf.

30 In einer ersten Trainingsphase wird das erste neuronale Netz 210 mit dem ersten Trainingsdatensatz 205 trainiert. Im Rahmen dieses Trainings werden Netzparameter (Gewichte von Kopplungen zwischen Neuronen sowie Kopplungen zwischen Neuronen) gemäß einem bekannten Trainingsverfahren, dem Backpropagation-Verfahren trainiert.

35

Dabei werden die Systemparameter 202 an die Eingangsschicht 211 angelegt und es werden Ausgangsgrößen des ersten neuronalen Netzes 210 ermittelt.

5

Ausgangsgrößen werden mit den jeweiligen, den Systemparametern 202 zugeordneten Werten 203 derart verglichen, daß ein Trainingsfehler ermittelt wird.

10 Mit dem Trainingsfehler wird das erste neuronale Netz 210 trainiert.

Nach Anwendung eines aus [2] bekannten Netzoptimierungsverfahren ergibt sich ein in Fig.2c dargestelltes trainiertes  
15 erstes neuronales Netz 220. Das trainierte erste neuronale Netz 220 weist wiederum eine Eingangsschicht 221 mit Eingang-neuronen 224, eine verdeckte Schicht 222 mit verdeckten Neuronen 225 sowie eine Ausgangsschicht 223 mit Ausgangsneuronen 226 auf.

20

Jedoch sind die Netzparameter des trainierten ersten neuronalen Netzes 220 gegenüber den Netzparametern des untrainierten ersten neuronalen Netzes 210 verschieden.

25 So sind sowohl weniger verdeckte Neuronen 225 als auch weniger Kopplungen zwischen den Neuronen der Eingangsschicht 221 und der verdeckten Schicht 222 sowie den Neuronen der Ausgangsschicht 223 und den Neuronen der verdeckten Schicht 222 enthalten.

30

Die erste Trainingsphase erfolgt off-line, d.h. während der ersten Trainingsphase werden keine neuen Trainingsdaten für den ersten Trainingsdatensatz innerhalb der Kläranlage 201 ermittelt.

35

Die Kläranlage ist in Fig.3 mit 301 bezeichnet.

In einer zweiten Trainingsphase werden nur ein Teil der Werte 203 der ersten Trainingsphase von mindestens einem Meßgerät 304 gemessen mit unterschiedlichen Systemparametern 302.

- 5 Die zweite Trainingsphase ist dadurch charakterisiert, daß eine geringere Anzahl von Werten 203 gemessen werden, in diesem Fall nur der chemische Summenstoffbedarf CSB sowie die Konzentration des Ammoniums  $C(\text{NH}_4^+)$ .
- 10 Dafür wird die zweite Meßphase über einen gegenüber der ersten Meßphase längeren Zeitraum durchgeführt. Die zweite Trainingsphase kann dadurch charakterisiert sein, daß sie online erfolgt, d.h. während der zweiten Trainingsphase können noch Werte 303 in der zweiten Meßphase an der Kläranlage 301
- 15 gemessen und als Trainingsdaten einem zweiten Trainingsdatensatz 305 zugeführt werden.

**Fig.1** zeigt ein neuronales Netz 101, welches das erste neuronale Netz 102, das in der ersten Trainingsphase trainiert wurde, sowie ein zweites neuronales Netz 103 umfaßt.

Die Ausgänge des ersten neuronalen Netzes 102 sind mit Eingängen des zweiten neuronalen Netzes 103 verbunden. Weitere Eingänge des zweiten neuronalen Netzes 103 sind vorgesehen

25 zur Aufnahme von den Systemparametern, die in der zweiten Meßphase zur Messung der Werte 303 in der zweiten Meßphase verwendet wurden.

Die Systemparameter 302 der zweiten Meßphase werden als Eingangsgroßen sowohl an das trainierte erste neuronale Netz 102

30 als auch an das zweite neuronale Netz 103 angelegt.

In dem trainierten ersten neuronalen Netz 102 werden zu den angelegten Eingangsgroßen Ausgangsgroßen gebildet, die an

35 weitere Eingänge des zweiten neuronalen Netzes 103 angelegt werden.

In einer verdeckten Schicht 104 des zweiten neuronalen Netzes 103 werden diese Eingangsgrößen weiter verarbeitet und einer Ausgangsschicht 105 des zweiten neuronalen Netzes 105 zugeführt. Die Ausgangsschicht 105 des neuronalen Netzes bildet  
5 ebenso die Ausgangsschicht des neuronalen Netzes 101. In der Ausgangsschicht 105 wird mindestens eine Ausgangsgröße gebildet. Die Ausgangsgröße wird mit den gemessenen Werten 303 der zweiten Meßphase verglichen, wobei die Abweichung der Ausgangsgröße mit dem jeweiligen gemessenen Wert 303 ermittelt  
10 wird und mit dem daraus ermittelten Fehler das neuronale Netz 101 trainiert wird, derart, daß folgende Netzparameter des ersten neuronalen Netzes 102 nicht verändert werden.

Nicht verändert werden die Kopplungen und die Gewichte der  
15 Kopplungen zwischen der Eingangsschicht 221 und der verdeckten Schicht 222 sowie zwischen der verdeckten Schicht 222 und der Ausgangsschicht 223.

Es ist jedoch im Rahmen des Trainings des neuronalen Netzes  
20 101 möglich, die Gewichte zwischen den Neuronen 226 der Ausgangsschicht 223 des trainierten ersten neuronalen Netzes 102 und Neuronen der verdeckten Schicht 104 des zweiten neuronalen Netzes 103 zu verändern und möglicherweise zu entfernen (Pruning), abhängig von dem zweiten Trainingsdatensatz 305.

25  
Anschaulich wird also das neuronale Netz 101 mit dem zweiten Trainingsdatensatz 305 mit einem Lernverfahren trainiert, wobei Netzparameter des ersten neuronalen Netzes 102 nicht verändert werden.

30  
Im folgenden wird allgemein die Erfindung noch einmal erläutert.

Es gebe einen Zusammenhang zwischen on-line gemessenen Größen  
35  $x_0, x_1, x_2, \dots$  und off-line durch Analyse ermittelte Größen  $z_0, z_1, z_2 \dots$

Wegen eines üblicherweise bestehenden, nicht bekannten Zusammenhangs der on-line gemessenen Größen und off-line gemessenen Größen untereinander läßt sich eine Ausgangsgröße  $y = z_0$  besser modellieren, wenn als Eingangsgrößen eines neuronalen Netzes sowohl die on-line gemessene Größen als auch die off-line gemessenen Größen zur Verfügung stehen, also die Ausgangsgröße gemäß folgender Vorschrift gebildet wird:

$$y = z_0 = f(x_0, x_1, x_2, \dots, z_1, z_2, \dots), \quad (1)$$

10

wobei mit  $f(\cdot)$  eine nichtlineare Abbildung bezeichnet wird.

In einem ersten Schritt wird das erste neuronale Netz NN1 für alle off-line gemessenen Größen  $z_0, z_1, z_2, \dots$  ermittelt gemäß folgender Vorschrift:

15

$$\tilde{z} = \text{NN1}(x_0, x_1, x_2, \dots), \quad (2)$$

wobei mit  $\text{NN1}(\cdot)$  eine nichtlineare Abbildung, die durch das erste Neuronale Netz realisiert wird, bezeichnet wird.

20

Für das gesamte neuronale Netz ergibt sich folgende Abbildungsvorschrift:

$$y = \text{NN2}(x_0, x_1, x_2, \dots, \text{NN1}(x_0, x_1, x_2, \dots)), \quad (3)$$

25

wobei mit  $\text{NN2}(\cdot)$  eine nichtlineare Abbildung, die durch das Neuronale Netz realisiert wird, bezeichnet wird.

Auf diese Weise ist es erstmals möglich, Trainingsdaten, deren gemessene Werte 203 in einer ersten Trainingsphase verwendet, aber in der zweiten Meßphase nicht mehr gemessen und nicht mehr verwendet werden, trotzdem für die Modellierung des technischen Systems insgesamt zu nutzen.

35

Dieser zusätzliche Informationsgewinn führt zu einer verbesserten Modellierung des technischen Systems durch ein neuronales Netz.

- 5 Mit der Erfindung wird eine effektive Nutzung der Trainingsdaten des ersten Trainingsdatensatzes 205 sowohl als Zielgröße als auch als Eingangsgröße des neuronalen Netzes 210 ermöglicht, ohne daß sich daraus Einschränkungen für den Einsatz des neuronalen Netzes 101 ergeben.

10

Im weiteren werden einige Alternativen und Verallgemeinerungsmöglichkeiten des oben beschriebenen Ausführungsbeispiels dargestellt:

- 15 Die Erfindung ist auf keine spezifische Struktur eines neuronalen Netzes beschränkt.

Sowohl die Anzahl der Neuronen als auch die Anzahl der Schichten in dem neuronalen Netz sind beliebig vorgebar.

20

Die Erfindung kann in verschiedensten Bereichen eingesetzt werden, beispielsweise im Rahmen einer:

- Prozeßmodellierung,
- 25
- Erstellung von Qualitätsmodellen, z.B. zur Modellierung von Produkteigenschaften, deren Bedeutung zwischen unterschiedlichen Trainingsphasen variiert,
- 30
- Finanzdatenmodellierung beispielsweise zur Berücksichtigung stärkerer Änderungen, die in einem Finanzmarkt auftreten, z.B. bei der Einführung des Euro.

Zu den Eigenschaften des trainierten ersten neuronalen Netzes 35 220 ist zu bemerken, daß es nicht übertrainiert sein sollte, d.h. kein Overfitting auftreten sollte.

Es ist in diesem Fall besser, eine etwas geringere Approximationsqualität des trainierten ersten neuronalen Netzes 220 in Kauf zu nehmen, um ein stabiles trainiertes erstes neuronales Netz 220 zu erreichen.

Im Rahmen dieses Dokuments wurden folgende Veröffentlichungen zitiert:

- 5 [1] A. Zell, Simulation Neuronaler Netze, Addison Wesley  
Publishing, 1. Auflage, ISBN 3-89319-554-8, S. 97 - 114  
und 555 - 574, 1994
- [2] DE 196 11 732 C1
- 10 [3] WO 98/10352
- [4] US 5 095 443
- [5] DE 43 30 847 A1
- 15 [6] DE 196 24 301 A1

## Patentansprüche

1. Verfahren zum rechnergestützten Trainieren eines Neuronalen Netzes, welches ein erstes Neuronales Netz und ein zweites Neuronales Netz umfaßt,  
5  
- bei dem das erste Neuronale Netz in einer ersten Trainingsphase mit einem ersten Trainingsdatensatz trainiert wird,  
- bei dem das erste Neuronale Netz und das zweite Neuronale Netz einer zweiten Trainingsphase mit einem zweiten Trainingsdatensatz trainiert werden, und  
10  
- bei dem Netzparameter des ersten Neuronalen Netzes in der zweiten Trainingsphase unverändert bleiben.
  
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
15  
bei dem Trainingsdaten des ersten Trainingsdatensatzes und des zweiten Trainingsdatensatzes zumindest teilweise miteinander übereinstimmen.
  
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
20  
bei dem mindestens eine Ausgangsgröße des ersten Neuronalen Netzes in der zweiten Trainingsphase als Eingangsgröße des zweiten Neuronalen Netzes verwendet wird.
  
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
25  
bei dem in der ersten Trainingsphase mindestens ein Netzoptimierungsverfahren auf das erste Neuronale Netz angewendet wird.
  
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
30  
bei dem der erste Trainingsdatensatz weniger Trainingsdaten enthält als der zweite Trainingsdatensatz.
  
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
- bei dem Werte eines technischen Systems gemessen werden,  
35  
und

16

- bei dem als Trainingsdaten des ersten Trainingsdatensatzes und/oder des zweiten Trainingsdatensatzes die gemessenen Werte verwendet werden.

5 7. Verfahren nach Anspruch 6,  
bei dem das technische System ein chemischer Reaktor ist.

8. Verfahren nach Anspruch 6,  
bei dem das technische System eine Kläranlage ist.

10

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
bei dem zumindest ein Teil der Trainingsdaten des ersten Trainingsdatensatzes und/oder des zweiten Trainingsdatensatzes künstlich generiert werden.

15

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
- bei dem während der zweiten Trainingsphase Werte eines technischen Systems online gemessen werden, und  
- bei dem die gemessenen Werte zumindest als Teil des zweiten  
20 Trainingsdatensatzes verwendet werden.

11. Neuronales Netz mit einem ersten Neuronalen Netz und einem zweiten Neuronalen Netz,  
- bei dem das erste Neuronale Netz in einer ersten Trainingsphase mit einem ersten Trainingsdatensatz trainierbar ist,  
25 - bei dem das zweite Neuronale Netz in einer zweiten Trainingsphase mit einem zweiten Trainingsdatensatz trainierbar ist,  
- bei dem Netzparameter des ersten Neuronalen Netzes in der  
30 zweiten Trainingsphase unveränderbar sind.

12. Neuronales Netz nach Anspruch 11,  
bei dem Trainingsdaten des ersten Trainingsdatensatzes und des zweiten Trainingsdatensatzes zumindest teilweise miteinander  
35 übereinstimmen.

13. Neuronales Netz nach Anspruch 11 oder 12,

bei dem mindestens ein Ausgang des ersten Neuronalen Netzes mit einem Eingang des zweiten Neuronalen Netzes verbunden ist.

5 14. Neuronales Netz nach einem der Ansprüche 11 bis 13, bei dem der erste Trainingsdatensatz weniger Trainingsdaten enthält als der zweite Trainingsdatensatz.

10 15. Anordnung zum Trainieren eines Neuronalen Netzes, welches ein erstes Neuronales Netz und ein zweites Neuronales Netz umfaßt,

mit einem Prozessor, der derart eingerichtet ist, daß folgende Schritte durchführbar sind:

- 15 - das erste Neuronale Netz wird in einer ersten Trainingsphase mit einem ersten Trainingsdatensatz trainiert,
- das erste Neuronale Netz und das zweite Neuronale Netz werden in einer zweiten Trainingsphase mit einem zweiten Trainingsdatensatz trainiert, und
- 20 - Netzparameter des ersten Neuronalen Netzes bleiben in der zweiten Trainingsphase unverändert.

16. Anordnung nach Anspruch 15, bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß Trainingsdaten des ersten Trainingsdatensatzes und des zweiten Trainingsdatensatzes zumindest teilweise miteinander übereinstimmen.

17. Anordnung nach Anspruch 15 oder 16, bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß mindestens 30 eine Ausgangsgröße des ersten Neuronalen Netzes in der zweiten Trainingsphase als Eingangsgröße des zweiten Neuronalen Netzes verwendet wird.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, 35 bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß in der ersten Trainingsphase mindestens ein Netzoptimierungsverfahren auf das erste Neuronale Netz angewendet wird.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 18,  
bei dem der erste Trainingsdatensatz weniger Trainingsdaten  
enthält als der zweite Trainingsdatensatz.

5

20. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 19,  
- mit einem Meßgerät zur Messung von Werten eines technischen  
Systems, welches mit dem Prozessor gekoppelt ist, und  
- bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß als  
10 Trainingsdaten des ersten Trainingsdatensatzes und/oder des  
zweiten Trainingsdatensatzes die gemessenen Werte verwendet  
werden.

21. Anordnung nach Anspruch 20,  
15 bei der das technische System ein chemischer Reaktor ist.

22. Anordnung nach Anspruch 20,  
bei der das technische System eine Kläranlage ist.

20 23. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 22,  
bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß zumindest  
ein Teil der Trainingsdaten des ersten Trainingsdatensatzes  
und/oder des zweiten Trainingsdatensatzes künstlich generiert  
werden.

25

24. Anordnung nach einem der Ansprüche 15 bis 23,  
bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß  
- während der zweiten Trainingsphase Werte eines technischen  
Systems online gemessen werden, und  
30 - die gemessenen Werte zumindest als Teil des zweiten Trai-  
ningsdatensatzes verwendet werden.

1/2  
FIG 1

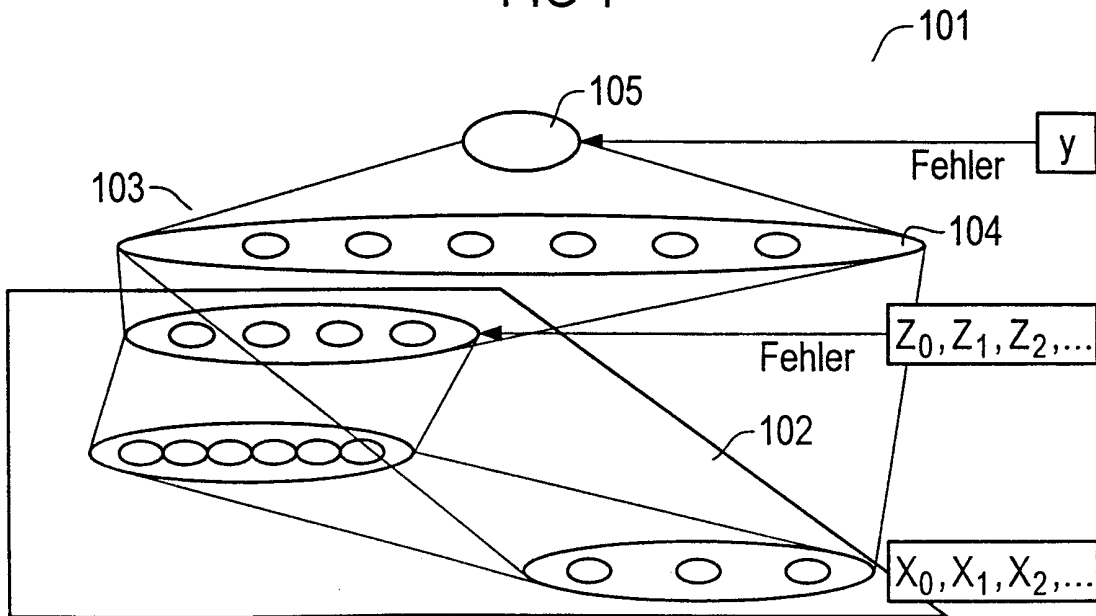
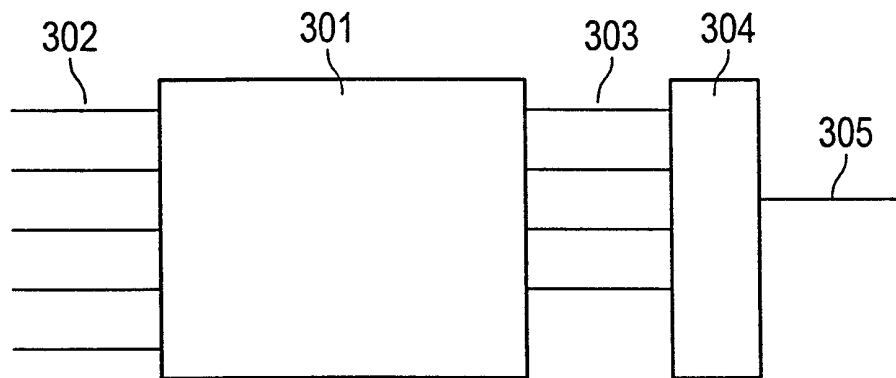


FIG 3



2/2

FIG 2A

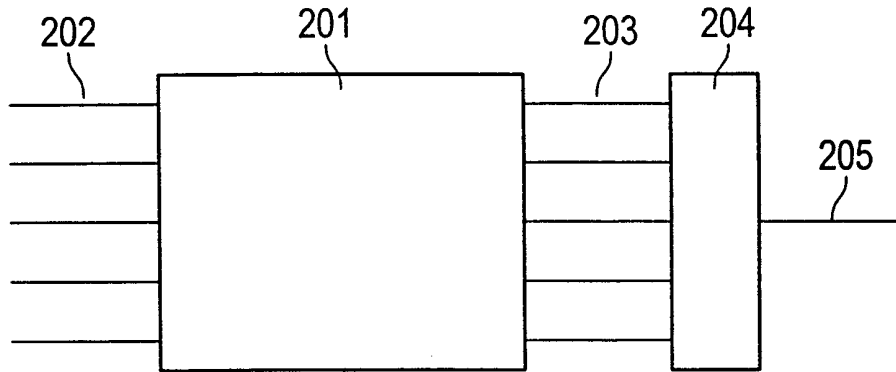


FIG 2B

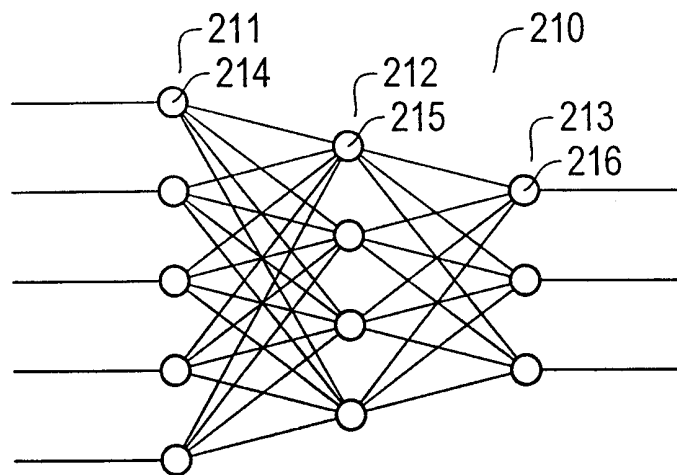


FIG 2C

