

# Einsatz von neuronalen Netzen zur automatischen Überwachung einer Fertigungsanlage im Online-Modus

## Use of Neural Networks to Supervise a Manufacturing Plant Automatically in Online Mode

Prof. Dr.-Ing. Matthias Reuter, Dipl.-Päd. Sabine Bohlmann, IngB RT&S GmbH, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland, matthias.reuter@ingb-rts.de

### Kurzfassung

In diesem Beitrag stellen die Autoren eine neuartige effiziente Verarbeitung von heterogenen Messdaten vor, welche eine bei Smart Cities geforderte Flexibilität und Effizienz bei Produkten, Produktionsverfahren und Dienstleistungen gewährleistet und so zur Energie- und Ressourcenschonung beiträgt. Ziel des Vorhabens war die Auswertung von hochdimensionalen Daten unterschiedlichster Sensoren eines deutschen Stahlkonzerns im laufenden Produktionsbetrieb zur Online-Überwachung einer Produktionsanlage. Um diese Zielsetzung zu gewährleisten wurden auf Basis von Differenz-Leistungsspektren (DLS) spezielle Vorverarbeitungsstrategien und hybride neuronale Netzstrukturen verwendet. So gelang es, auftretende Störungen im Online-Modus frühzeitig zu erkennen und Handlungsunterstützungen für den Maschinentreiber zur Meldung zubringen. Dadurch konnten Fehler an einzelnen Maschinenteilen rechtzeitig erkannt und behoben werden, Maintenance-Zeiten ressourcenschonend definiert und unnötige Standzeiten der Maschine minimiert werden.

Zur aufgabenspezifischen Merkmalsextraktion wurden im ersten Verarbeitungsschritt die Sensorwerte mittels der DLS-Verfahren von Störeinflüssen (z.B. Vibration der Anlage, Einflüsse benachbarter Maschinen) bereinigt, um nur die relevanten Informationsanteile der Sensorik der weiteren Datenverarbeitung zuzuführen. Diese wurde durch eine Kombination unterschiedlicher neuronaler Netzwerkstrukturen vollzogen, die eine prädiktive Aussage über das zukünftige Verhalten der Anlage ermöglichten. Speziell leistete eine modifizierte SOM (Self Organising Maps)- Struktur eine Identifikation/Klassifikation der unterschiedlichen Fehlerarten und eine Backpropagation-basierte Struktur eine Zusammenführung der Einzelzustände eine globale Zustandsanalyse der Anlage. Der wesentliche Vorteil des gewählten Ansatzes besteht in der hohen Flexibilität hinsichtlich unterschiedlichster Signalstrukturen, was eine deutliche Reduktion von Fehlalarmen sowie der Möglichkeit auch bis dato unbekannte Szenarien nachzulernen, beinhaltet.

### Abstract

In this article the authors describe a new and efficient method of processing heterogeneous measurement data ensuring the postulated flexibility and efficiency of products, production processes and services in the context of smart cities as a useful contribution to energy and resource management. Aim of this project was to analyze high dimensional sensor data of a manufacturing plant in a German steel factory during the production process to supervise it in online mode. To achieve this target the authors decided to use special preprocessing strategies on basis of DLS-spectra and hybrid neural nets structures. Therefore it was possible to identify arising disturbances in online mode early to give treatment support to the machine operator. As a result disturbances of single machine parts could be detected and eliminated in time, defining maintenance intervals accurately in a resource-efficient way, as well as minimizing needless downtime.

To extract the specific characteristics of the machine the first processing step was to eliminate the sensor data from interferences as vibrations of the machine, influences of other machines with the method of DLS spectra to analyze only the relevant information in the next processing step. The further analysis was done by a combination of different neural net structures which enables a prediction of the prospective behavior of the machine. In detail a modified SOM (Self Organizing Maps) structure achieves an identification/classification of the different types of error and a back propagation-based structure merge the single states of the machine to a global analysis. The main benefit of the chosen approach is the high flexibility regarding to very different signal structures reducing false alarms evidently, as well as the possibility to relearn so far unknown scenarios.

# 1 Überwachung und Analyse technischer Prozesse

Die Überwachung und Analyse technischer Prozesse ist in den letzten Jahren im Bereich der produzierenden Industrie zu einem wichtigen Forschungsthema geworden. Der avisierte Technologievorsprung soll dadurch erreicht werden, dass zukünftig:

- Gesamtsystem statt einzelner Aggregate betrachtet werden sollen.
- ein ganzheitlicher Lösungsansatz (Zusammenspiel von Prozess und Steuerung) für hybride Produktionsprozesse statt eine Unterteilung in diskrete und kontinuierliche System gewählt werden soll.
- der Mensch als wichtiger unterstützender Anteil in die Automatisierung integriert wird [1].

Um diese Ansprüche zu erfüllen, müssen die meist heterogenen Daten unterschiedlichster Sensoren einer Fertigungsanlage intelligent ausgewertet und für den Maschinenehrer vor Ort klientelgerecht aufbereitet werden, so dass Fehler im Produktionsbetrieb rechtzeitig erkannt und lange Standzeiten aufgrund von Wartungsarbeiten minimiert werden.

Im hier vorgestellten Vorhaben zur automatischen Überwachung einer Fertigungsanlage wurden die Daten zunächst mittels DLS-basierter Algorithmen vorverarbeitet, um die Störanteile herauszufiltern zur Analyse der einzelnen Sensoren mit ihren unterschiedlichen Datenformaten in Abhängigkeit von allen prozessabhängigen Parameter (Art und Dicke des Stahls, Rohrdurchmesser). In einem zweiten Schritt wurden die so vorverarbeiteten Daten von neuronalen Netze -speziell topologisch geschlossene SOMs- dahingehend analysiert, dass unterschiedliche aktuelle Betriebszustände und daraus abgeleitet Vorhersagen über das zukünftige Anlageverhalten ausgegeben werden können.

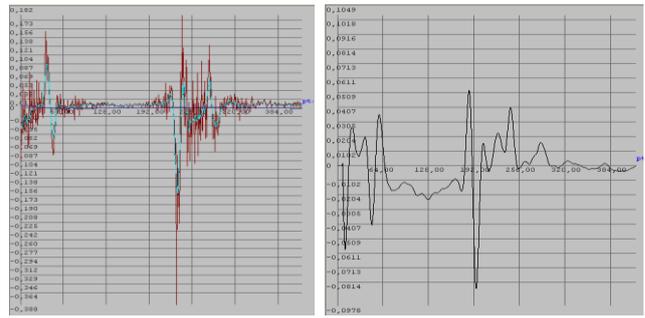
Um nicht für alle denkbaren Prozessparameter und Produktionslinien neuronale Netze trainieren zu müssen, werden neuronale Netze zur Klassifikation/Identifikation und neue Arten von neuronalen Netze als generalisierte Analysatoren eingesetzt. Mittels dieser Netze können ähnliche Produktionslinien oder Materialien ohne neues Trainieren der neuronalen Netze analysiert werden.

## 1.1 DLS-bezogene Mittelwertverfahren zur Analyse von Sensordaten

Um aufgenommene Signale dahingehend zu demodulieren, dass anlagenbedingte kleinste Veränderungen aus den vorhandenen Sensorsignalen der Anlage detektiert werden können, wurden spezielle mathematische Verfahren (DLS-Operationen) verwendet, deren Grundstruktur bereits in den 90-er Jahren speziell zur Detektion kleinster Schwingungsanteile in akustischen Signaturen entwickelt wurden [2].

Dieses Verfahren basiert auf einer mehrstufigen adaptiven Mittelwertbildung zu analysierender Spektren, mittels derer es gelingt, aus beliebig komplexen Szenarien einzelne Signalquellenanteile herauszufiltern, um eine gesonderte Identifikation der sie erzeugenden Erregerpro-

zesse zu ermöglichen. Die Extraktion eines Nutzsignals aus einer stark gestörten Szenerie ist beispielhaft in **Abbildung 1** gezeigt.



**Abbildung 1:** Extraktion eines Nutzsignals aus stark verrauschten Daten mittels einer DLS-Operation

Generell können mit diesen sog. Preprocessing-Verfahren folgende Aufgaben erfasst werden:

- Adaptive Rauscheliminierung
- Extraktion von minimalen Schwingungsanteilen
- Trenddetektion
- Frequenzselektion
- Ursprungsdetektion

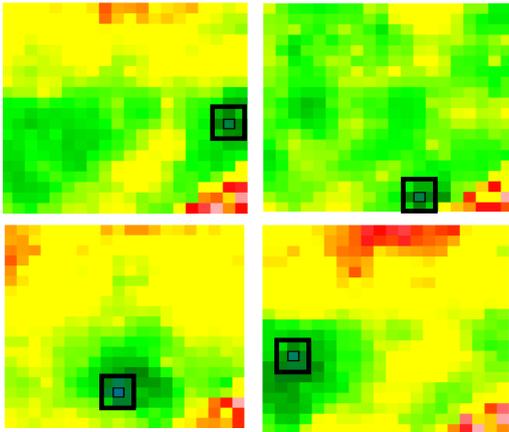
In der hier beschriebenen Anwendung wurde dieses Verfahren dazu genutzt, kleinste bzw. stark maskierte Modifikationen in den aufgezeichneten Sensormesswerten zu detektieren, um so Rückschlüsse auf Materialveränderungen einzelner Maschinenteile zu erhalten, welche Grund für einen bevorstehenden Maschinenausfall sein könnten.

## 1.2 Neuronale Netze zur Klassifikation/Identifikation

Um die unterschiedlichen Sensorarten und ihre stark variierenden Sensorverläufe sowie die prozessabhängigen Parameter (Art und Dicke des Stahls, Rohrdurchmesser) für den zu beschreibenden Prozess in der Analyse der Daten berücksichtigen zu können, bietet sich der Einsatz von hybriden -heißt aus SOM- und Backpropagationnetzen bestehende- neuronal-basierte Verfahren an [3], welche zudem eine ganzheitliche, prädiktive Vorhersage hinsichtlich eines Maschinenausfalls ermöglichen.

Die im hybriden Ansatz als erste Verarbeitungsstufe verwendeten SOMs werden u.a. im Kontext der Systemanalyse und -vorhersage sowie der Bildauswertung untersucht und getestet. Aufbauend auf eigenen Forschungsergebnissen der Autoren wurden diese dahingehend modifiziert, dass eine Kodierung von Information mittels ihrer Aktivitätsmuster („Computing with Activities, CWA“) [4] die Speicherung von umfangreichsten Daten und Abläufen ermöglicht. Ausgangspunkt dieses Ansatzes ist, dass in dem aktivitätsbezogenen Gesamterregungsbild einer geschlossenen SOM auch bei einer geringen Neuronenanzahl alle situationsrelevanten Aspekte einer Szenerie gespeichert werden können und diese aus der Aktivitätsstruktur mittels eines nachgelagerten Feed-Forward-Netzes wieder auslesbar sind. Dies ermöglicht sowohl eine Identifikation/Kategorisierung von Prozessen als auch eine prädiktive Trendanalyse.

In **Abbildung 2** ist beispielhaft die aktivitätsbezogene Kodierung eines hochdimensionalen Parameterraums zu vier verschiedenen aber ähnlichen Prozesszuständen gezeigt.



**Abbildung 2:** Veränderung einer SOM-Aktivitätsstruktur bei verschiedenen Betriebszuständen

Wie man deutlich erkennt, wirkt sich die Veränderung der Prozesszustände nicht nur auf das Gewinnerneuron (schwarzes Quadrat) aus, sondern die gesamte Aktivitätsstruktur verändert sich, was wiederum bedeutet, dass auch jedes Neuron einen dekodierbaren Informationsgehalt hat. Mittels der Verwendung der CWA-Methode wird also sichergestellt, dass ähnliche generelle Sensorverläufe, ohne Beachtung der Amplitude, Feinstruktur oder einzelnen Datenausreißer, zum gleichen Klassifikationsergebnis führen, wie in **Abbildung 3** beispielhaft gezeigt.



**Abbildung 3:** Drei Chartverläufe desselben Maschinenteils mit variierenden Amplituden bei unterschiedlichen Materialien

Mittels des gewählten Ansatzes konnten folgende Innovationsmerkmale realisiert werden:

- DLS-basierte Vorverarbeitungsmethoden führen dazu, dass nicht relevante Informationsanteile aus den Daten herausgefiltert werden, so dass nur das eigentliche Nutzsinal in der weiteren Verarbeitungskette verwendet wird (problem-/aufgabenrelevante Informationsextraktion, Datenbereinigung).

- SOMs und hier speziell die CWA-Methode ermöglichen es, aus umfangreichen und komplexen Sensordaten gewünschte bzw. nicht gewünschte Prozesszustände zu identifizieren/kategorisieren (Zustandskategorisierung).
- Backpropagationbasierte ganzheitliche Prozessdarstellungen ermöglichen das Aufspüren möglicher Defekte oder Verschleiß von Maschinenteilen sowie eine prädiktive Aussage über das Gesamtanlageverhalten von Anlagen (Trendanalyse, Ausfallsprädiktion).

## 2 Softwaretool zur Überwachung der Fertigungsanlage

### 2.1 Bedienoberfläche

Die Bedienoberfläche des entwickelten Software-Tools ist so aufgebaut, dass linksseitig eine Übersicht über den Maschinen- und TCP/IP-Verbindungsstatus (Anlage an/aus, Datenempfang) und die aufgetretenen Fehler gegeben wird. Zudem können auf dieser Oberfläche Arbeits- und Speichermodus gewählt werden (**Abbildung 4 A**).



**Abbildung 4:** Bedienoberfläche

Abbildung 4 B beinhaltet eine Übersicht über alle Sensoren der Fertigungsanlage, so dass dem Operator vor Ort jeder Zeit der Status der einzelnen Sensoren im Online-Modus visualisiert wird. Die grünen Kästchen hinter dem jeweiligen Sensor signalisieren, dass das zugehörige Maschinenteil sich bewegt und die ausgelesenen Werte im Normbereich liegen. Fällt ein Wert über oder unter diesen Normwert, verfärbt sich das Kästchen rot; hält dieser Zustand über einen längeren Zeitraum an, erscheint hinter dem Sensor ein gelbes Warndreieck und an den Operator bzw. den zuständigen Vorgesetzten wird automatisch eine warnende E-Mail oder sms abgesetzt.

Zur detaillierten Analyse der einzelnen Sensoren, kann durch einen Doppelklick auf selbige, der entsprechende Chartverlauf aufgerufen werden, wie in **Abbildung 4 C** gezeigt.

Zudem kann optional ein statistischer Gesamtüberblick aller Fehler (**Abbildung 5**) im ausgewählten Analysezeitraum eingeblendet werden.

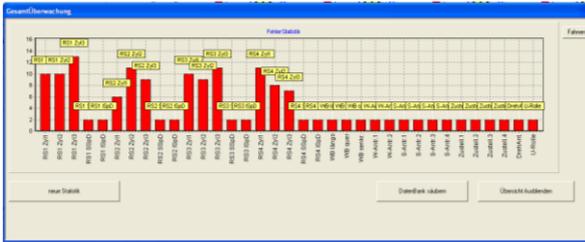


Abbildung 5: Fehlerstatistik

## 2.2 Fehlerprotokoll

Um aufgetretene Fehler oder generelle Störungen im Produktionsprozess im Nachgang exakter analysieren zu können, werden alle Störungen in einer Datenbank abgelegt, die mittels unterschiedlicher Kriterien (Datum, Störungsart) wieder ausgelesen werden können. **Abbildung 6** zeigt auf der rechten Seite eine solche Störung, die linksseitig aus einer gefilterten Liste ausgewählt werden kann. Der zuständige Maschineführer kann hier bestätigen, dass die Störung gecheckt und der zugrundeliegende Fehler ggf. behoben worden ist.

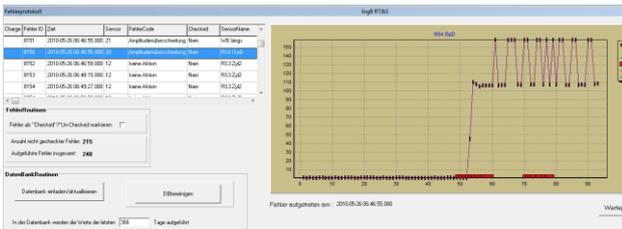


Abbildung 6: Fehlerprotokoll

## 3 Ergebnisse

Das Softwaretool wurde über mehrere Monate im laufenden Betrieb erprobt und modifiziert, so dass die neuronalen Netze auf die Maschine adaptiert werden konnten. Nun bietet die Software dem Maschinenführer vor Ort eine Handlungsunterstützung, die zu einer deutlichen Reduktion von Ausfall- und Wartungszeiten der Maschine beiträgt und größeren Ausfällen vorbeugt.

Hinsichtlich der Energie- und Ressourcenschonung in Smart Cities und der hohen Anzahl von darin ablaufenden Prozessen, mit einer unüberschaubaren Menge an aufgezeichneten Daten sehen die Autoren in dem vorgestellten Ansatz eine Möglichkeit, aus vorhandenen heterogenen Daten im Kontext des Big Data und Data-Warehouse Beiträge zu generieren, wobei mittels der verwendeten neuronale Kodierung der Daten und Prozesszustände den hohen Sicherheitsanforderung an deren Speicherung und Übertragung Rechnung getragen wird. Zudem ermöglicht die prozessunabhängige Kodierung der verwendeten neuronalen Strukturen die Adaption auf beliebige Prozesse, Produktionsverfahren und/oder Dienstleistungen (Generalisierbarkeit des Ansatzes).

## 4 Literatur

- [1] Fraunhofer IOSB: visIT [Industrie 4.0], Condition Monitoring & Diagnose, S. 14/15, 14. Jahrgang, Karlsruhe 2013.
- [2] Reuter, M.; FD- Spectra and Neural Networks, Proceedings of INNC '90 Congress Report, pp. 925-932, Paris, Frankreich, 1990.
- [3] Bishop, C.M.: Neural Networks for Pattern Classification. Clarendon Press, Oxford, 1995.
- [4] Reuter, M., Bostelmann, S.: Computing with Activities, WHU-Structures and a Quantisation Model of the Neural Nets, WSOM 2005, Paris, France, 2005.