# Effizientere Maschinenüberwachung

Autor(en): **Tanner, Rudolf**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **107 (2016)**

Heft 4

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857123

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Effizientere Maschinenüberwachung

## Neue Technologien ermöglichen hohen Automatisierungsgrad

Seit den 1990er-Jahren hat die Computerisierung die Effizienz von Tätigkeiten gesteigert. Die Automatisierung lässt sich aber noch weiterführen, wodurch zusätzliche Kosten gespart werden. Dabei steht der Einsatz mehrerer neuer Technologien bei der Maschinenüberwachung im Fokus, welche die Prozesse durch den Informationsinhalt von erfassten Daten steuern. Typische Anwendungsgebiete sind Anlagen in abgelegenen Gebieten wie Windkraftanlagen auf See, Minen oder verteilte Kraftwerke in den Bergen.

**Rudolf Tanner**

Seit 40 Jahren werden beispielsweise Lager an Rotationsmaschinen mittels Fourieranalysen auf Defekte überprüft, wobei die vor Ort gesammelten Daten visuell im Büro ausgewertet werden. Die Qualität gemachter Aussagen hängt dabei stark von der durchführenden Fachkraft ab. Heute steht aber einer Automatisierung dieses Vorgangs nichts mehr im Wege.

Weist beispielsweise ein Wälzlager eine Schadstelle in der Aussenlagerschale auf, lässt sich dies durch eine Messung der Lagervibration feststellen. Pro Wellenumdrehung gibt es regelmässige Stossimpulse. Wenn man die Vibrationsfrequenzen eines Lagers mittels Fourieranalyse bestimmt, kann man aus dem Spektrum Rückschlüsse auf einen möglichen Schaden ziehen. Solche Analysen werden nach wie vor visuell von Experten gemacht. **Bild 1** zeigt exemplarisch eine solche Analyse. Die vom Lagerhersteller bestimmten Fehlerfrequenzen sind durch rote Linien dargestellt.

Die visuelle Inspektion des Spektrums ist teuer. Ein Offshoring reduziert zwar diese Kosten, erhöht aber potenziell die Fehlalarme, weil manchmal Fachkräfte eingesetzt werden, die unerfahren sind. Eine Teilautomatisierung kann man durch das Setzen von Schwellwerten erreichen. Dann müssen nicht alle Analysen von Experten begutachtet werden. Das ist aber immer noch unbefriedigend. Eine umfangreiche Literatur zeugt von Versuchen, hier Fortschritte zu erzielen. In der Praxis hat sich noch kein Verfahren generell durchgesetzt. Die Anbieter haben sich spezialisiert und nutzen die Verfahren, mit denen sie die besten Erfahrungen gemacht haben bzw. für die sie ein Patent besitzen.

### Zeit für disruptive Innovation

Heute haben verschiedene Technologien eine hohe Reife erlangt. Rechenleistung ist preisgünstig, Funknetzwerke sind allgegenwärtig und Funkchips im Zusammenhang mit dem Internet of Things miniaturisiert, Datenspeicher werden grösser und billiger (Cloud), es gibt Algorithmen, welche bis dato unlösbare Probleme lösen können (Big Data), und der Zugang auf massiv parallele und skalierbare Rechenzentren (Cloud Computing) ist erschwinglich. Kombiniert man diese Technologien, werden neue Applikationen und Geschäftsmodelle ermöglicht, wie z.B. in der Maschinenüberwachung. Dank Einsparungen durch eine vollautomatische Maschinenüberwachung eröffnen sich neue Märkte, weil sich der Einsatz dann auch bei kleinen Maschinen lohnt.

Eine Maschinenüberwachung besteht aus Sensoren auf der Maschine, die z.B. Beschleunigungen, Drücke, Temperaturen, Strom, Leistung oder Durchfluss erfassen. Eine Signalaufbereitung erfolgt

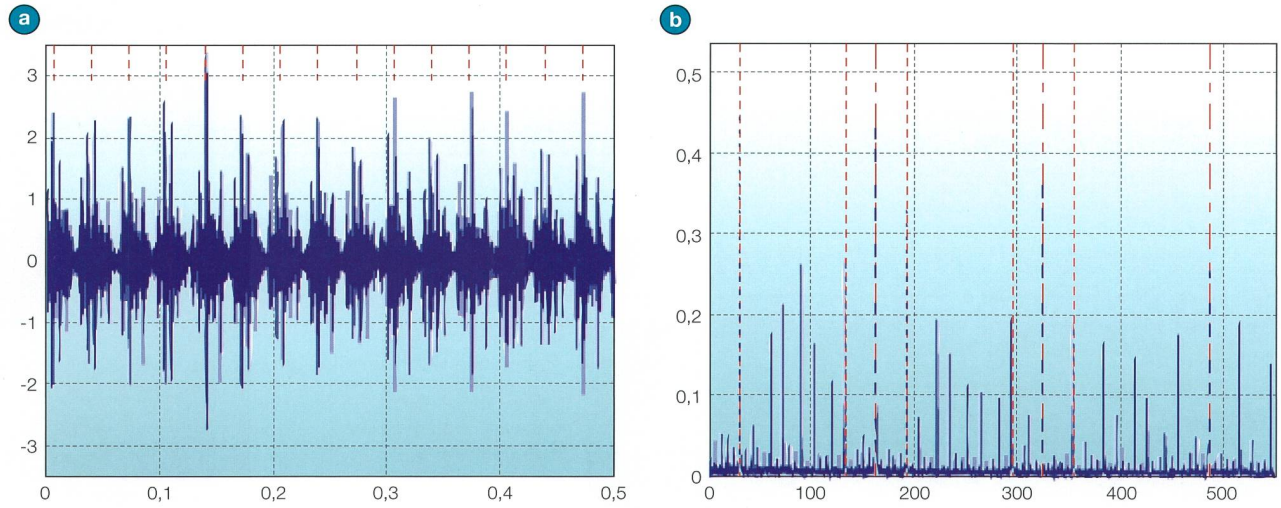


**Bild 1** a) Vibrationssignal im Zeitbereich 0 – 500 ms, b) FFT der Hüllkurve von (a) im Frequenzbereich 0 – 550 Hz.

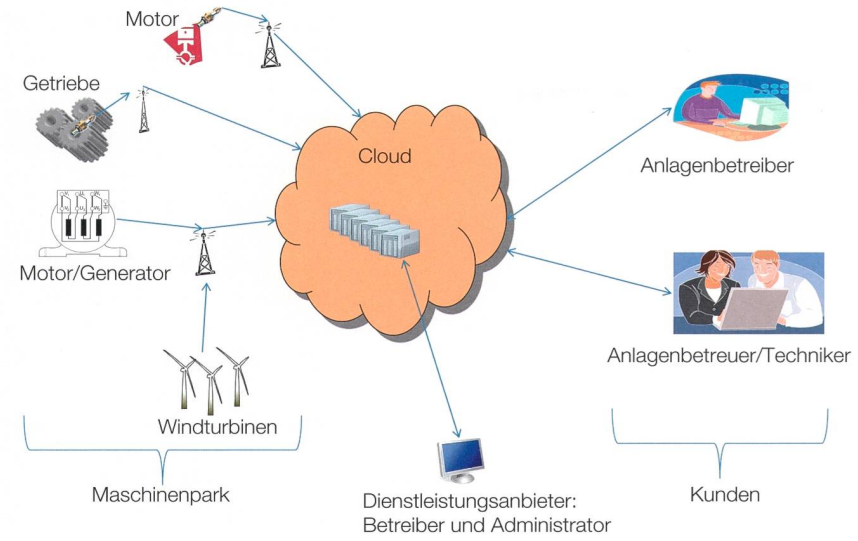


**Bild 2** Eine cloud-basierte automatische Maschinenüberwachung im Überblick.

bereits beim Sensor. Typischerweise ist dies eine Digitalisierung des Signals mit Filterung und optional noch mit einer ersten Voranalyse. Die Daten werden via Kabel oder Funk zur Weiterverarbeitung an den Rechner geschickt. Der Rechner kann lokal in der gleichen Fabrik stehen oder fernab in der Cloud seine Dienste versehen. Er analysiert das Signal und liefert die gewünschten Resultate direkt dem Verantwortlichen beim Kunden oder einem Mitarbeiter des Anbieters.

Eine Datenübertragung mittels Kabel bedingt, dass die Daten durch das IT-Netz des Kunden gehen können. Dies ist bei einer Funkanbindung nicht nötig, aber die Bandbreite bzw. die Funkdistanz sind limitierende Faktoren. Die übertragenen Daten werden im Rechner verarbeitet. Hierzu bieten sich zahlreiche Methoden und deren Kombinationen aus den Gebieten der künstlichen Intelligenz, der Statistik, der linearen Algebra oder der Signalverarbeitung wie Neuronalen Netzen (NN), Support Vektor Maschinen (SVM), Wavelets, Hidden-Markov-Modells (HMM), Principal Component Analysis (PCA), Deep NN etc. an.

Man kann die Suche nach einer geeigneten Methode empirisch angehen, d.h. Verfahren ausprobieren, bis das Resultat «passt» – ein gängiger Ansatz, wie diverse akademische Arbeiten attestieren. Viele Arbeiten nutzen Verfahren der Mustererkennung. Repräsentative Signale, z.B. solche einer neuen Maschine und solche, die einen Maschinendefekt charakterisieren, werden zum Trainieren eines NN verwendet. Beim Signal einer Vibration kann es sich z.B. um das wöchentliche Resultat einer Fast Fourier Transformation, FFT, mit 1024 Spektrallinien handeln. Ein solches hochdimensionales Signal kann man sich wie einen Stern im Universum vorstellen, aber nicht in 3D, sondern im mehrdimensionalen (1024D) Raum. Die Daten einer neuen Maschine, z.B. die Vibrationsdaten eines Lagers, werden sich dann in diesem multidimensionalen Raum in einem räumlich begrenzten Bereich ansammeln, d.h. ein Cluster bilden. Eine Hypothese besagt, dass das Signal eines defekten Lagers an einem (entfernten) anderen Ort zu liegen kommt. Die Mustererkennung kann diese Signale unterscheiden und idealerweise auch noch Auskunft darüber geben, um was für ein Schadsignal es sich handelt. Hierzu benötigt das Verfahren viele Trainingsdaten.

Die Aussagekraft eines solchen Verfahrens hängt von der Diversität und Menge der zur Verfügung stehenden Trainingssignale ab. Wenn der Algorithmus alle möglichen Defekte erlernen kann, dann wird er einen auftretenden Defekt detektieren und klassifizieren können. Die Performanz des Verfahrens hängt von der Qualität der Daten ab, zum einen vom Rauschanteil in den Daten, zum anderen von Maschinenfehlern in den Trainingsdaten. Es ist eine grosse Herausforderung, ein Verfahren, wie es hier angesprochen wird, robust und fit für den Einsatz in der Industrie zu machen. Eine hohe Rate von Fehlalarmen wird vom Kunden nicht toleriert, weil es den Betrieb seiner Anlage unnötig stört. Eine Dienstleistung wie eine vollautomatische Analyse von Maschinendaten, z.B. Lagervibrationen, kann nur erfolgreich angeboten werden, wenn genügend Trainingsdaten vorhanden sind. Neben der Menge spielt natürlich auch die Qualität der Daten eine wichtige Rolle. Um beides zu gewährleisten, muss man die Daten selber akquirieren, weil die öffentlich zugänglichen Daten nicht genügen. Beispielsweise sollen in einer 18-monatigen Messkampagne solche Daten von 50 Anlagen gesammelt werden.

## Maschinenüberwachung von morgen

**Bild 2** zeigt, wie eine Maschinenüberwachung aussehen kann, von der Datenquelle links zum Nutzer der Ergebnisse rechts, am Beispiel einer funkbasierten Sensorenanbindung. Durch das Aggregieren von Daten von vielen unterschiedlichen Anlagen lassen sich zusätzliche Informationen gewinnen.

Die Wahl des Funkstandards hängt vom Link-Budget ab. Eingesetzte Systeme verwenden oft ein Gateway, aggregieren Dutzende von Kleinstsensoren und schicken die Daten dann via Ethernet, d.h. Kabel, zum Rechner. Energy Harvesting bei den Sensoren, durch Ausnutzung der Motorabwärme oder dessen Vibrationen, kommt auch zum Einsatz. Solche Systeme sind in der Reichweite sehr begrenzt und können nur Alarme und keine Rohdaten übermitteln. Eine automatisierte und intelligente Maschinenüberwachung mittels Data Mining / Big Data benötigt jedoch Zugriff zu Rohdaten. Da diese Algorithmen komplex sind, benötigen

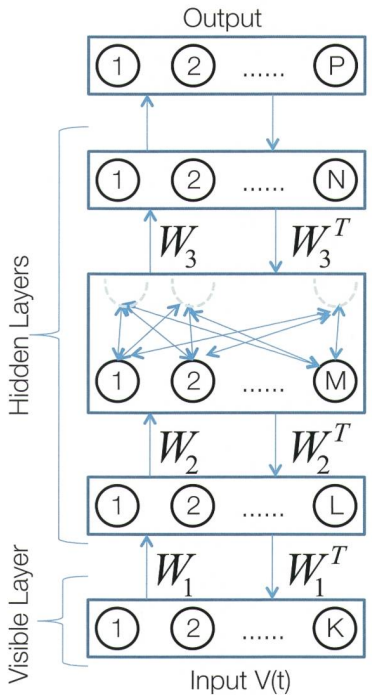


**Bild 3** Vereinfachte Darstellung eines Deep Neuronalen Netzwerkes nach [3].

Bilder: Rudolf Tanner

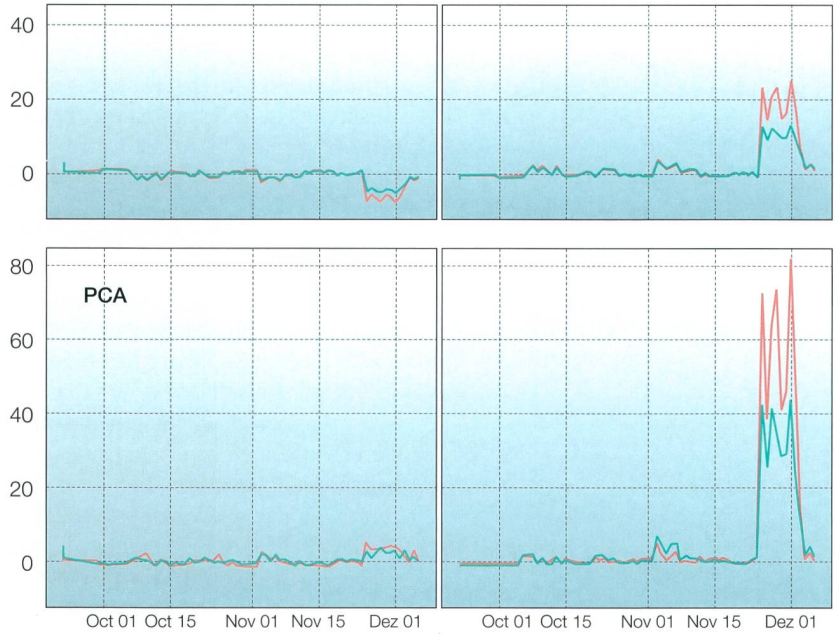


**Bild 4** Ausgabe von 3 verschiedenen Deep Neuronalen Netzwerk-Verfahren und einer Principal Component Analyse (PCA).

sie viel Rechenleistung und befinden sich darum im Cloudserver.

Als 2006 die Deep Belief Networks (DBN) und deren neues Trainingsverfahren (greedy-wise pre-training) vorgestellt wurden, erhielten die neuronalen Netzwerke eine Renaissance und Big Data konnte sich etablieren.[1] Vorher lieferten die neuronalen Netzwerke mit steigender Anzahl von Hidden Layers keine besseren Resultate. **Bild 3** zeigt eine Deep NN, eine Restricted Boltzmann Maschine (RBM) mit drei Hidden Layers.[2,3] Eine RBM hat keine internen Verbindungen zwischen den Neuronen.[3] Die Verbindungen zwischen den Neuronen der Layers gewichten den Signaltransport mittels einer Weight Matrix $W_i$. Ein Neuron modelliert man anhand der ungefähren Funktionsweise einer Hirnzelle.[2] Der nach aussen sichtbare Visible Layer wird mit den Daten gefüttert. Die darauffolgenden Layer können unterschiedlich viele Neuronen haben. Wenn die Daten eine Zeitabhängigkeit haben, kann man zeitlich versetzte Module V(t-k) hinzufügen und erhält eine Conditional RBM.[3]

Beim neuen Ansatz wird das Modell über zwei Stufen trainiert. Die Gewichte der Neuronen werden zuerst ungeführt (unsupervised) und dann geführt (supervised) adaptiv angepasst, wobei die 2. Stufe eine Feinabstimmung für die spezifische Anwendung darstellt. Weitere Typen von Deep NN nennt man Auto-Encoder, K-means, Deep Boltzmann, Conditional RBM oder Sparse Coding.

## Ausblick

Um Deep Neuronale Netzwerke zur Maschinenüberwachung einzusetzen, braucht es eine enorme Anzahl von Trainingsdaten. Daher sollen in einem Pilotprojekt Daten gesammelt werden. Bis dato wurden schon viele Sensoren kostenlos in Maschinen von Projektpartnern eingebaut und liefern Rohdaten. Daten von weiteren Maschinen, Motoren, Generatoren und Getrieben sollen noch hinzukommen. **Bild 4** zeigt die Ausgangswerte von drei der vorher genannten Deep Learning Methoden und einer PCA, die als Referenzmodell dient, wenn man Vibrationsdaten (rot: Hüllkurve, blau: FFT) verarbeitet. Alle Learning-Methoden zeigen am gleichen Datum eine überdurchschnittliche Änderung an. Erste Resultate sind vielversprechend und man darf gespannt sein, wie sich die vollautomatisierte Maschinenüberwachung entwickelt.

## Referenzen

[1] Yoshua Bengio, Learning Deep Architectures for AI, 2009.
[2] Simon Haykin, Neural Networks, 2.ed., Prentice Hall, 1999.
[3] Martin Längkvist, Modelling time series with deep networks, 2014.

## Autor

Dr. **Rudolf Tanner** ist Geschäftsführer der Mechmine GmbH.
**Mechmine GmbH, 9478 Azmoos, rt@mechmine.com**

**Electrosuisse / ITG-Kommentar**

### Automatisierung durch Kombination neuer Konzepte

Internet of Things, Big Data und Cloud Services sind viel diskutierte Themen. Dieser Artikel zeigt eine praktische neue Anwendung, in der solche Konzepte im Verbund eingesetzt werden können. IoT-basierte Sensoren für die dezentrale Messung und Erfassung der Daten an der Maschine und drahtlose Übertragungstechniken, um Daten auch von abgelegenen Einsatzorten zu übertragen. Big Data in Kombination mit grossen Cloud-Rechnern sowie statistische Methoden ermöglichen dann neue und mit neuronalen Netzen trainierbare Analysemöglichkeiten. Dadurch werden verbesserte automatisierte Resultate in der proaktiven Überwachung möglich. Ein heute teilweise manueller Prozess kann so zunehmend automatisiert werden.

**Patrik Stampfli,** ITG-Vorstandsmitglied sowie Operations Director und Niederlassungsleiter Zürich bei ELCA.

**Résumé**

### Une surveillance des machines plus efficace

**De nouvelles technologies permettent d'obtenir un degré d'automatisation élevé**

Depuis les années 1990, l'informatisation a amélioré l'efficacité des tâches à accomplir. L'automatisation peut cependant être encore étendue afin de réaliser des économies supplémentaires. L'utilisation de nouvelles technologies pour la surveillance des machines permet par exemple d'utiliser les informations contenues dans les données récoltées pour commander les processus. Cette possibilité se révèle particulièrement intéressante pour les installations situées dans des zones difficilement atteignables, telles que les éoliennes en mer, les mines ou les centrales mises en œuvre dans des régions montagneuses.
Depuis plus de quarante ans, les analyses de Fourier permettent, à titre d'exemple, de vérifier les défauts présentés par les roulements à billes des machines rotatives. Au cours de cette opération, les données recueillies sur les sites sont évaluées visuellement dans un bureau. Désormais, plus aucun obstacle ne vient entraver une automatisation d'un tel processus. Cet article présente une approche qui repose sur différentes technologies et pour laquelle un grand nombre de données sont actuellement rassemblées dans le cadre d'un projet pilote. No