

Entwicklung eines Assistenzsystems zur Gefährdungsbeurteilung unter Verwendung von Internet-of-Things-Technologien und Algorithmik aus dem Bereich des maschinellen Lernens und der Data Science.

Arn BAUDZUS

*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA),
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund*

Kurzfassung: Die Gefährdungsbeurteilung ist eines der zentralen Instrumente des Arbeitsschutzes. Erfahrungsgemäß werden Gefährdungsbeurteilungen nur unregelmäßig durchgeführt, oft werden die Arbeitsstätten nur kurz besichtigt, sodass seltene Gefährdungssituationen, die im Arbeitsalltag auftreten können, unter Umständen übersehen werden. In dem hier präsentierten Projekt geht es darum, ein Assistenzwerkzeug zu entwickeln. Bei dem Werkzeug handelt es sich um ein Netzwerk von Sensoren, das über einen längeren Zeitraum Umweltparameter in einem Betrieb aufzeichnet. Die in diesen Umweltparametern enthaltenen Informationen sollen mit Algorithmik aus dem Bereich der Data Science so aufbereitet werden, dass sie bei der Gefährdungsbeurteilung genutzt werden können.

Schlüsselwörter: Gefährdungsbeurteilung, Maschinelles Lernen, Data Science, Sensor Netzwerk, Assistenzsystem

1. Ausgangssituation und Projektziel

1.1 Daten als Entscheidungshilfe

Mit der Verbreitung des Internets, leistungsfähigen Computern und günstiger, gut arbeitender Sensorik ist es möglich, eine große Menge von Daten über alltägliche Vorgänge zu sammeln. Diese Datenlage ermöglicht es datengetriebene Entscheidungen zu treffen.

Moderne Navigationssysteme planen Routen, die dynamisch auf das lokale Verkehrsaufkommen reagieren. Öffentlich zugängliche Profile der Auslastung von Geschäften und öffentlicher Infrastruktur ermöglichen es, Tagesgeschäfte wie z. B. Einkäufe oder Arztbesuche effizienter zu gestalten. Fitnesstracker sind in der Lage, die Aktivitäten einer Person lückenlos nachzuverfolgen. Mit diesen Daten können Empfehlungen für einen gesünderen Lebensstil generiert werden. Das sind nur einige Beispiele dafür, wie gesammelte Daten genutzt werden können, um die Ausführung von alltäglichen Aufgaben zu erleichtern. Was jedoch all diese Beispiele gemeinsam haben, ist, dass die Daten in einer Weise aufbereitet werden müssen, dass die mit ihnen verbundenen Informationen nutzbar werden.

1.2 Problematik

Das Anwendungsfeld für das System, welches im hier vorgestellten Projekt entwickelt wird, ist die Gefährdungsbeurteilung. Klassischerweise geht mit der Gefährdungsbeurteilung eine Besichtigung der Arbeitsstätte einher, um u. a. Gefahrenquellen, Regelverstöße oder suboptimal gestaltete Arbeitsplätze zu identifizieren.

Fachleute, insbesondere Sicherheitsfachkräfte, die Gefährdungsbeurteilungen durchführen, sind oft stark gefragt, sodass in den meisten Fällen nur wenig Zeit bleibt, eine Arbeitsstätte zu evaluieren. In diesem Projekt geht es darum, ein Assistenzwerkzeugsystem zu entwickeln, welches der Fachkraft, die die Gefährdungsbeurteilung durchführt, hilft zu priorisieren und die Zeit vor Ort effizienter zu nutzen. Realisiert werden soll diese Funktionalität durch ein Netzwerk von Sensoren. Das Sensornetzwerk nimmt verschiedene Umweltparameter in der Arbeitsstätte auf, z. B. Temperatur, Feinstaubkonzentration, CO₂-Konzentration und Schallpegel. Diese Daten sollen genutzt werden, um einen Überblick über die Arbeitsstätte im Vorfeld der Gefährdungsbeurteilung zu geben, sodass die Beurteilung in der gleichen Zeit effizienter und besser gestaltet werden kann.

2. Aktueller Stand

Bis jetzt wurde sich der Entwicklung des Systems von zwei Seiten genähert. Mit dem hier vorgestellten Projekt ist eine Promotion in der Informatik verbunden, daher liegt der Fokus der Arbeit auf der Entwicklung von Algorithmik. Von speziellem Interesse ist hier das Gebiet der Zeitreihenanalyse. Parallel dazu wurde ein Prototyp des Sensornetzes entwickelt, der in der Lage ist, Umweltparameter aufzuzeichnen. Der nächste Schritt wäre es, die bereits entwickelten Algorithmen auf den vom Prototyp gesammelten Daten zu testen.

2.1 Zeitreihenanalyse

Als Einstieg in die Zeitreihenanalyse mit Methoden des maschinellen Lernens lag der Fokus in diesem Projekt bisher auf der rekonstruktionsbasierten Anomaliedetektion (Schmidl et al. 2022)¹. Im Zentrum dieser Klasse von Algorithmen steht ein Modell, welches Zeitreihen als Eingabe bekommt. Das Modell ist darauf trainiert, den Normalzustand des Systems zu rekonstruieren; also die Zeitreihen, die das System, normalerweise produziert, welches observiert wird, so detailgetreu wie möglich wieder auszugeben. Dabei beinhaltet das verwendete Modell einen Informationsflaschenhals. Als Eingabe wird eine Zeitreihe präsentiert. Ziel ist es, diese zu rekonstruieren. Der Informationsflaschenhals dünnt die Informationen aus der Eingabe aus. Um die Eingabe also rekonstruieren zu können, muss im Modell, vor dem Flaschenhals, eine Filterung ablaufen, welche Informationen relevant sind, um die Eingabe zu rekonstruieren. Diese Informationen werden durch den Flaschenhals geführt. Am anderen Ende des Flaschenhalses bildet sich ein Teil des Modells, der in der Lage ist, aus diesen Informationen die Eingabe zu rekonstruieren. Durch die Forderung, die Eingabe zu rekon-

¹ In Ermangelung eines Reviews zu **rekonstruktionsbasierter** Anomaliedetektion auf Zeitreihen ist hier ein Review zu Anomaliedetektion auf Zeitreihen im Allgemeinen (und rekonstruktionsbasiert im besonderen)

struieren, werden mittels klassischen Trainingsmethoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens, unüberwacht Informationen über den Normalzustand im Modell aggregiert. Die Heuristik ist nun, dass dieses, auf dem Normalzustand trainierte Modell einen größeren Rekonstruktionsfehler erzeugt, wenn eine Anomalie rekonstruiert wird. Somit wird der Rekonstruktionsfehler des Modells ein stellvertretender Wert dafür, wie abnormal eine Eingabe ist. Ein Fließbild, welches diesen Ablauf darstellt, ist in Abbildung 1 zu sehen.

Die Motivation sich erst mit Anomaliedetektion zu beschäftigen liegt darin begründet, dass das Thema sowohl für die Gefährdungsbeurteilung als auch für die aktuelle Forschung in der Informatik von Interesse ist. Ob während einer Anomalie schlechte Arbeitsbedingungen vorliegen, lässt sich anhand der Sensordaten relativ einfach schätzen². Anomalien, die zu den schlechten Arbeitsbedingungen führen, lassen sich mit der klassischen Methodik der Gefährdungsbeurteilung nicht gut finden, weswegen die Domäne der Anomaliedetektion sowohl für die Arbeitsschutzseite des Projektes, als auch für die Promotion als relevant identifiziert wurde.

Im bisherigen Verlauf des Projektes wurde ein Framework zum Testen verschiedener Anomaliedetektionsalgorithmen implementiert³ (Baudzus et al. 2023).

Rekonstruktionsbasierte Anomaliedetektion:

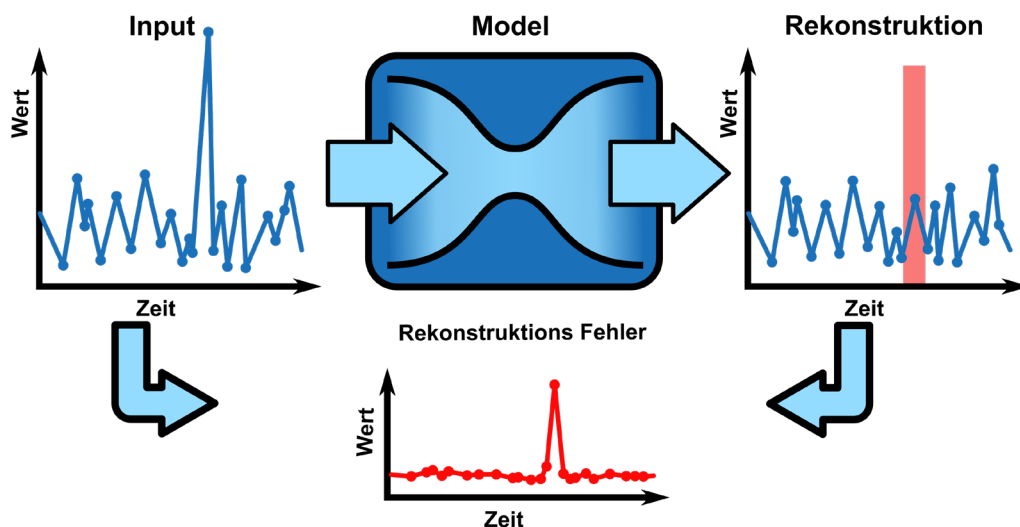


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt ein Fließbild der in Absatz 2.1 beschriebenen Klasse der rekonstruktionsbasierten Anomaliedetektionsalgorithmen. Bei dem Modell, welches die Zeitreihe rekonstruiert, kann es sich z. B. um ein künstliches neuronales Netz handeln. In diesem Fall könnte der Informationsflaschenhals durch eine Verminderung der Neuronenzahl in den fortschreitenden Ebenen des Netzes realisiert werden. Ansätze, die auf klassischen numerischen Verfahren basieren wie z. B. ARIMA, sind ebenfalls als grundlegendes Modell denkbar.

² Z.B. durch Vergleich mit den Grenzwerten. Mit dem Sensornetzwerk lassen sich keine Grenzwertüberschreitungen im Sinne der Arbeitsstättenregeln messen, da das Messverfahren und die Sensorik nicht den Spezifizierten Anforderungen entsprechen. Als Richtwert im Rahmen eines „Screenings“ lassen sich die Daten allerdings verwenden.

³ Code zur Anomaliedetektion: <https://github.com/Arn-BAuA/TimeSeriesAEBenchmarkSuite>

2.2 Sensornetzwerk

Das Sensornetzwerk besteht aus einem Server und einem Router, der ein lokales, verstecktes WLAN-Netz bereitstellt. Der Server stellt eine Datenbank sowie die Services, die zur Kommunikation über das Netzwerk benötigt werden (im Moment nur einen MQTT-Broker) bereit. Der Datenfluss wird über ein im Rahmen dieses Projektes entwickeltes Skript koordiniert⁴.

In dem Netzwerk befinden sich zwei Gerätetypen, die Daten sammeln können. Zur Aufnahme der meisten Umweltparameter wird eine Sensorstation vom Typ „Air-Q Science“ verwendet, die 14 Sensoren beinhaltet⁵. Die genauen Spezifikationen einer Auswahl der Sensoren ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Die Tabelle enthält die Spezifikationen mehrerer Sensoren, mit denen die Sensorstation „Air-Q Science“ bestückt ist.

Messgröße	Messbereich	Auflösung	Messfehler
Sauerstoff	0 – 25 %	0,01 %	± 2 %
Kohlenstoff Dioxid	300 – 5.000 ppm	1 ppm	± 30 ppm, ± 3 % des Messwertes
Feinstaub (PM1,PM2.5,PM10)	0 – 1.000 µg/m ³	1 µg/m ³	± 10 µg/m ³ , ± 10 % des Messwertes
Schallpegel	40 – 109 dB(A) Frequenz > 200 Hz	1 dB	± 2 dB
VOC (Volatile Organic Compounds)	0 – 60.000 ppb	1 ppb (0 – 2.008 ppb) 6 ppb (2.008 – 11.110 ppb) 32 ppb (11.110 – 60.000 ppb)	± 15 % des Messwertes
Relative Luftfeuchtigkeit	0 – 100 %	0,1 %	± 2 % des Messwertes
Temperatur	-40 – 125 °C	0,1 °C	± 0,5 °C

Zusätzlich zu den Sensorstationen kann das Netzwerk noch eine Reihe von smarten Steckdosen vom Typ „Shelly Plug“ beinhalten. Diese können die Leistungsaufnahme der, an sie angeschlossenen, Geräte messen. Die Steckdosen können verwendet werden, um Daten über Geräte zu erfassen, die für die Gefährdungsbeurteilung besonders relevant erscheinen (z. B. Wie ändern sich die Umweltparameter in der Werkstatt, wenn diese Bandsäge verwendet wird?).

Für die ersten Feldversuche soll ein Prototyp mit drei Air-Q-Stationen und fünf Steckdosen verwendet werden.

⁴ Das Skript, welches den Datenfluss im Netzwerk koordiniert, sowie weitere Ausführungen zum Prototyp: <https://github.com/Arn-BAuA/SensorNetwork>.

⁵ Sensoren von „Air Q Science“: Temperatur, Luftdruck, relative Luftfeuchtigkeit, Sauerstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickstoffdioxid, Schwefelwasserstoff, Ozon, VOC, Lärm, Feinstaub in den Abstufungen PM1, PM2.5 und PM10.

3. Herausforderungen

Die aktuelle Herausforderung ist die Konkretisierung der Aufgabenstellung. Es fehlt ein Weg das vage Ziel – „Wir wollen ein Assistenzsystem entwickeln“ in etwas zu überführen, was konkret ist und es ermöglicht abzuprüfen, ob ein Erfolg erzielt wurde oder nicht.

Der nächste Schritt in der Durchführung des Projektes ist es, den Prototyp des Sensornetzwerks zu nutzen, um Daten aus einem tatsächlichen Arbeitsumfeld zu sammeln. Als Arbeitsumfeld steht eine feinmechanische Werkstatt zur Verfügung.

Um die Aufgabenstellung (Erzeugung eines Assistenzwerkzeugs zur Gefährdungsbeurteilung) zu konkretisieren, sollen Szenarien entwickelt werden, die eine Situation darstellen, die im Arbeitsumfeld auftreten kann, die für die Gefährdungsbeurteilung relevant ist und bei der das Sensornetzwerk eine Verbesserung, in Bezug auf die Beurteilung dieser Situation, darstellt. Solche Situationen könnten Beinaheunfälle sein oder suboptimale Arbeitsbedingungen, die nur manchmal auftreten, z. B. wenn eine bestimmte Maschine eingeschaltet ist oder ein bestimmter Werkstoff bearbeitet wird.

Zusätzlich zu dem Szenario wird eine realistische Einschätzung benötigt, wie das Sensornetzwerk als Assistenzsystem in dieser konkreten Situation helfen kann. Das Ermöglichen dieser Hilfestellung wäre dann das konkrete Ziel, das in dem Projekt realisiert werden soll.

Um die Szenarien zu entwickeln, soll ein Workshop mit Arbeitsschutzexpert*innen und Mitarbeitenden der untersuchten Werkstätten durchgeführt werden. In diesem Workshop sollen neben den Szenarien allgemein Anforderungen an den Prototypen erarbeitet werden. Dazu wird die Methodik des „Design Thinking“⁶ angewandt.

4. Literatur

Baudzus A, Li B, Jadid A & Müller E (2023, September). The Good, The Bad, and The Average: Benchmarking of Reconstruction Based Multivariate Time Series Anomaly Detection. Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: 356–360.

Schmidl S, Wenig P & Papenbrock T (2022). Anomaly detection in time series: a comprehensive evaluation. Proceedings of the VLDB Endowment, 15(9): 1779–1797.

Danksagung: Neben vielen anderen Kollegen, Freunden und Familienmitgliedern, die mich bei der Durchführung des Projektes bis jetzt unterstützt haben, möchte ich mich bei Martin Westhoven bedanken, der mich auf die Methodik des Design Thinking aufmerksam gemacht hat.

⁶ Das Vorgehen ist auf folgender Website gut beschrieben: <https://organisationsberatung.net/design-thinking/>



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration
und ihre Auswirkung auf Mensch,
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

GfA-Press

Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin, Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003, Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de