

Ein Autoencoder-Ansatz zur prozessregelungsunabhängigen Zustandsbewertung vollmechanischer MSG-Schweißprozesse

vorgelegt von Dipl.-Ing. Sebastian Rieck

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung eines datenbasierten Verfahrens zur Bewertung des Prozesszustandes vollmechanischer MSG-Schweißprozesse. Als Grundlage dienten hierzu Schweißstrom- und Schweißspannungssignale. Die Hauptanforderung an das Verfahren war die Ermöglichung eines universellen Einsatzes hinsichtlich verschiedener Prozessregelvarianten, ohne die Notwendigkeit von Expertenwissen zur signalspezifischen Merkmalsextraktion. Der Parametrier-beziehungsweise Lernvorgang des Verfahrens sollte zudem ausschließlich auf Daten ungestörter Schweißprozesse beruhen, da die Verfügbarkeit von Daten aus gestörten Prozessphasen in der Regel sehr begrenzt ist.

Vor dem Hintergrund der gegebenen Anforderungen wurde ein teilüberwachter Autoencoder-Ansatz zur Detektion von Anomalien innerhalb der Signale gewählt. Hierbei kommt ein Deep-Learning-Modell (neuronales Netz) zum Einsatz, das die Aufgabe hat eingegebene Signale am Ausgang zu rekonstruieren. Das Modell besitzt einen speziellen Aufbau, bei dem die verborgenen Schichten kleiner sind als die Eingabe- und Ausgabeschicht. Durch diese „Flaschenhals“-Struktur muss das Modell während des Trainings die eingegebenen Signale zwangsläufig auf ihre wesentlichsten Merkmale reduzieren, um damit eine möglichst exakte Rekonstruktion zu erreichen. Das Training erfolgt ausschließlich mit Signalen aus ungestörten Prozessphasen. Dies führt dazu, dass das Modell die Eingangsdaten aus gestörten Prozessen, im Vergleich zum ungestörten Fall, nur mit einem großen Fehler rekonstruieren kann. Dementsprechend ist der Rekonstruktionsfehler repräsentativ für die Ausprägung der Anomalien innerhalb der Signale beziehungsweise für den Zustand des Schweißprozesses.

Zur Entwicklung des Autoencoders sind zunächst Trainingsdaten durch Auftragsschweißungen generiert worden. Dabei kamen sechs unterschiedliche Prozessregelvarianten zum Einsatz. Nach einer Vorverarbeitung der aufgenommenen Signale wurden anschließend unterschiedliche Modelle auf Basis von Feed-Forward-Netzen mit eindimensionaler Faltung (1D-CNN) sowie rekurrenten neuronalen Netzen (LSTM) trainiert und gegenübergestellt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Verteilung des Rekonstruktionsfehlers abhängig von der Prozessregelvariante ist. Daher wurde zusätzlich ein Modell zur Signalklassifikation entwickelt, um automatisiert die spezifischen Schwellenwerte zur Identifikation von Anomalien auswählen zu können.

Zur Validierung der Methode wurden Signale aus verschiedenen Schweißversuchen herangezogen. Hierzu gehörten Auftragsschweißungen mit einer Veränderung des Kontaktrabstandes sowie Verbindungsschweißungen mit gezielt eingebrachten geometrischen Abweichungen der Fugengeometrie. Als Ergebnis zeigte sich, dass zwischen dem Rekonstruktionsfehler und diesen Störungen zum Teil eine Korrelation besteht.