

Selbstlernend und mehrstufig

Qualitätsüberwachungssystem für die Lasermaterialbearbeitung

Produktkomplexität und Variantenvielfalt steigern den Aufwand für die Entwicklung von Produktionsprozessen bei KMU. Im Rahmen des IGF-Forschungsprojekts „Selbstlernende mehrstufige Qualitätsüberwachungsverfahren für die (Laser)-Materialbearbeitung“ (AiF-Nr.: 20419N) wurde daher ein Expertensystem für produzierende Unternehmen aus dem Bereich Lasermaterialbearbeitung entwickelt. Das Expertensystem unterstützt die Anwender bei der Prozesssteuerung und Qualitätsvorhersage von neuen Produkten und Produktvarianten .

Alexander Poschke, Jonas Kreich, Benjamin Küster

Im Jahr 2015 lagen die Qualitätskosten von Maschinenbauunternehmen bezogen auf den Umsatz bei 5,8 %. Präventive Maßnahmen leisten einen großen Beitrag zur Reduktion nachträglicher Qualitätskosten. Insbesondere bei Laserprozessen, die gegenüber konventionellen Materialbearbeitungsprozessen, trotz stetig sinkender Investitionskosten, als kostenintensiv gelten, bietet sich großes Einsparpotenzial. Laserprozesse können flexibel eingesetzt werden, beispielsweise lassen sich verschiedenste Materialien, Stärken und Geometrien durch Anpassung der Pro-

zessparameter bearbeiten. Zudem können Schneid-, Schweiß- und Beschriftungsoperationen in einer Anlage, wirtschaftlich ab Losgröße 1, durchgeführt werden.

Als präventive Maßnahme zur Reduktion der Qualitätskosten kann ein Qualitätsüberwachungssystem eingesetzt werden. Bei kleinen Losgrößen und neuen Varianten verringert dieses die Kosten, die innerhalb einer Machbarkeitsprüfung und Prozessentwicklung anfallen. Dabei sollen vorhandene Prozessdaten von vorherigen Prozessentwicklungen und der laufenden Produktion sowie den geforderten Pro-

duktspezifikationen aus der Unternehmensleitebene verarbeitet werden. Als Ergebnis soll eine Empfehlung für die Prozessparameter beziehungsweise den Prozessraum gegeben werden. Bereits in der Produktentstehung kann auf Basis von Messdaten eine Vorhersage der Qualität vollzogen werden. Zudem wird eine Früherkennung von Fehlern im Produktionsablauf und fehlerhafter Produktionsmittel sowie anderer Störgrößen erlaubt.

Zusammen mit dem Laser Zentrum Hannover e.V. wurde am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

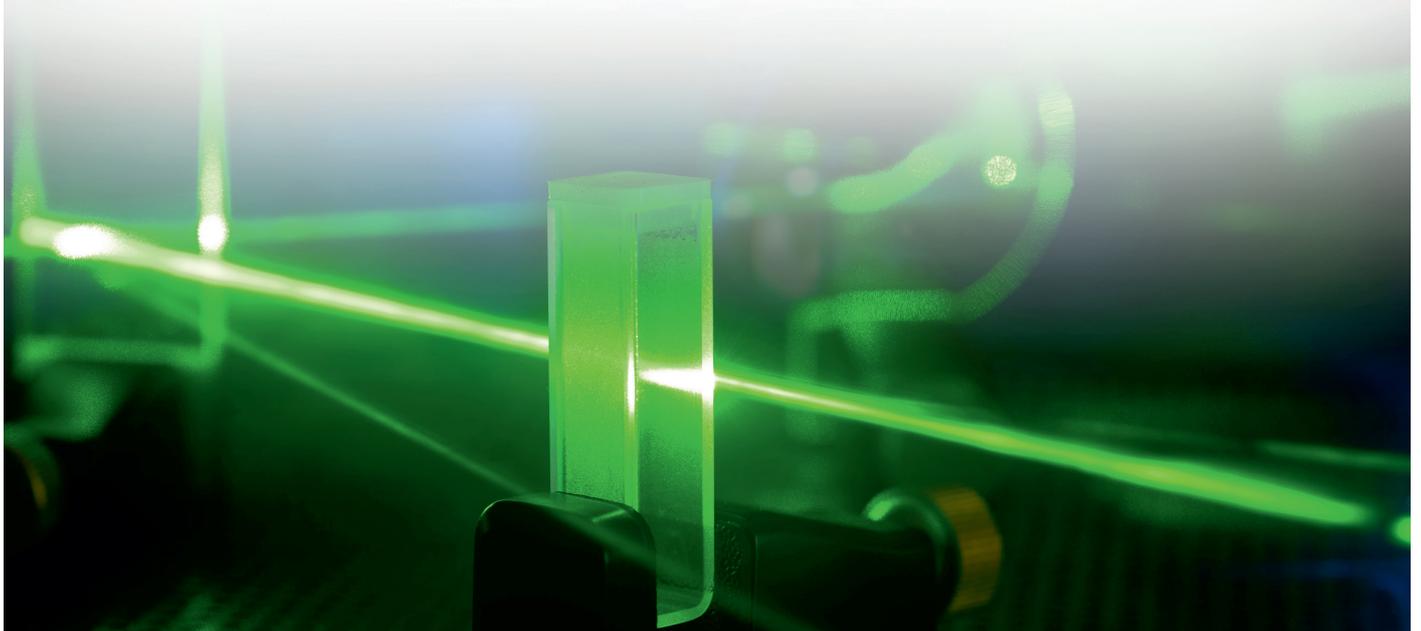




Bild 1. Ablauf der Vorbereitung der Qualitätsüberwachung. Quelle: IPH Hannover gGmbH © Hanser



Bild 2. Benutzeroberfläche des Software demonstrators. Quelle: IPH Hannover gGmbH © Hanser

ein Qualitätsüberwachungsverfahren entwickelt und in einem Softwaredemonstrator für Unternehmen umgesetzt.

Qualitätsüberwachung beliebiger Laserprozesse

Das Qualitätsüberwachungssystem soll auf beliebige Laserprozesse anwendbar sein. Um dies gewährleisten zu können, muss das System die Produktionsdaten verschiedener Prozesse einlesen können. Der grundsätzliche Ablauf ist in Bild 1 dargestellt. Beim Entwurf der Benutzeroberfläche des Software demonstrators (Bild 2)

stand die Usability im Vordergrund, sodass auch Anwender mit wenig Vorwissen den Demonstrator bedienen können. Es wird zwischen einfachen und erweiterten Funktionen unterschieden. Die einfachen Funktionen editieren nichts an den zugrundeliegenden Daten und Modellen und können deshalb von jedem Anwender benutzt werden. Nur erfahrenen Anwendern wird über ein Passwort Zugriff auf die erweiterten Funktionen gewährt.

Die Produktionsdaten sind in Qualitätsmerkmale und Prozessparameter unterteilt. Sie können aufwandsarm aus Excel oder CSV-Dateien importiert werden. Qualitätsmerkmale mit Text werden automatisch als kategorische Variablen und Qualitätsmerkmale mit Ganzzahligen oder Dezimalzahlen als kontinuierliche Variablen erkannt. Nur für geordnete kategorische beziehungsweise ordinale Qualitätsmerkmale wie bei einer Bewertung von gut bis schlecht erfolgt eine Benutzerabfrage, ob es sich bei der Variablen um eine ordinale Variable handelt und wenn ja in welcher Reihenfolge die Ordinalskala angeordnet ist. Auf Grundlage der erkannten Typen der Ausgangsvariablen werden passende Vorhersagemethoden ausgewählt.

Für die kontinuierlichen und ordinalen Outputs können Bewertungen in Form von Zahlen beziehungsweise Noten festgelegt werden. Hierfür können benutzerdefinierte Intervalle oder verschiedene Labels vorgegeben und bewertet werden. Zusätzlich können die Bewertungen einzelner Outputs gewichtet werden, um eine abschließende Gesamtbewertung zu ermöglichen. Somit können auch unerfahrenere Benutzer die vorhergesagten Qualitätsmerkmale besser einschätzen.

Für jedes Qualitätsmerkmal wird ein eigenes, von der Art des Qualitätsmerkmals abhängiges, Modell zur Vorhersage automatisch ausgewählt und trainiert. Die Auswahl erfolgt aus einer vordefinierten Menge von Modellen und Zielkriterien anhand einer Rastersuche in Verbindung mit einer Kreuzvalidierung. Bei den hinterlegten >>>

INFORMATION & SERVICE

FÖRDERPROJEKT

Im Projekt SmQL (Selbstlernende mehrstufige Qualitätsüberwachungsverfahren für die (Laser)-Materialbearbeitung) wurde ein Expertensystem für produzierende Unternehmen aus dem Bereich Lasermaterialbearbeitung entwickelt. Durch das Expertensystem werden die Anwender bei der Prozesssteuerung und Prozessvorhersage von neuen Produkten und Produktvarianten unterstützt.
www.smql.iph-hannover.de

Das IGF-Vorhaben 20419 N der Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. (FQS) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert

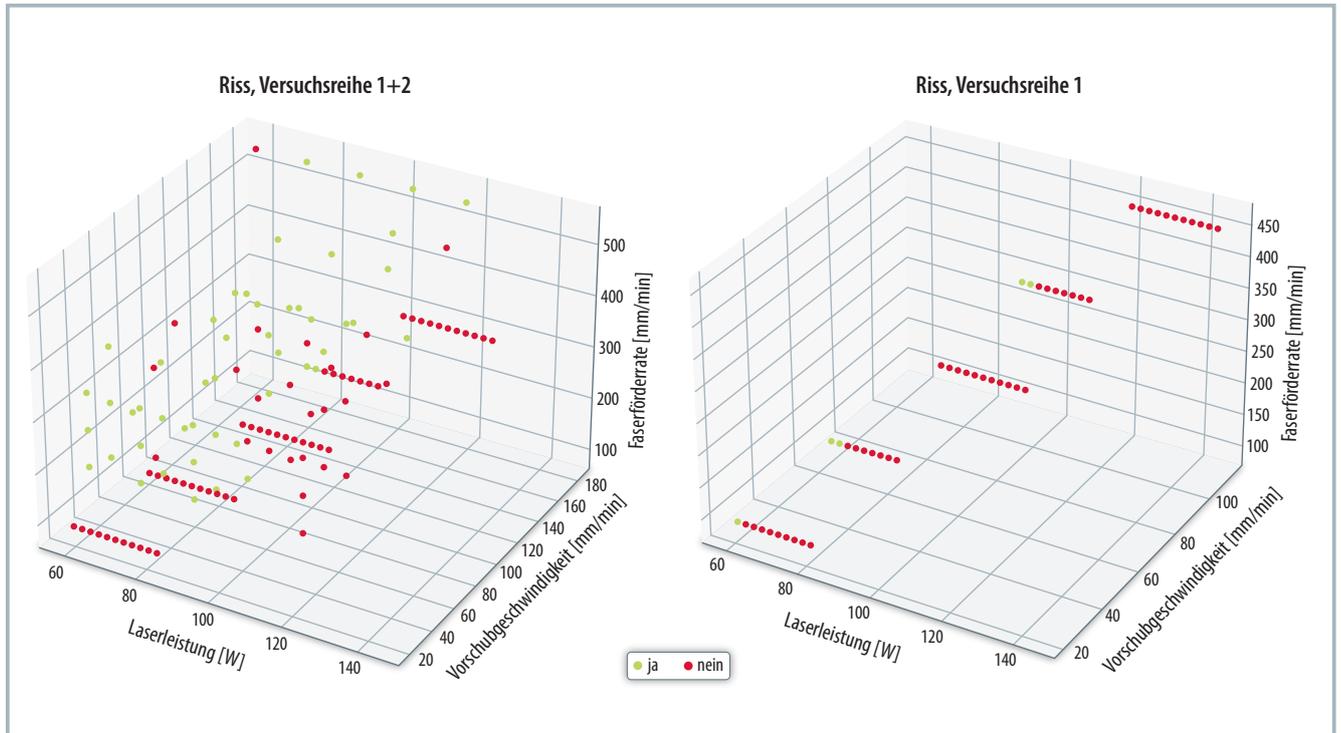


Bild 3. Versuchsdaten für das Qualitätsmerkmal Riss, links: beide Versuchsreihen, rechts: nur erste Versuchsreihe. Quelle: DGQ © Hanser

INFORMATION & SERVICE

LITERATUR

- Mertens, H.; Huber, G.: Methode zählt sich aus: Deutliche Abhängigkeiten zwischen Qualitätskosten und Qualitätsmethoden. In: QZ 1/2016, S. 30-33
- Kanyilmaz, A.: The problematic nature of steel hollow section joint fabrication, and a remedy using laser cutting technology: A review of research, applications, opportunities. In: Engineering Structures 183 (2019), S. 1027-1048
- Dutta Majumdar, J.; Manna, I.: Laser material processing. In: International Materials Reviews 56 (2011), 5-6, S. 341-388

AUTOREN

Alexander Poschke, M. Sc. ist Projektgenieur in der Abteilung Produktionsautomatisierung des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gCmbH.
Jonas Kreich, M. Sc. ist technischer Mitarbeiter in der Abteilung Produktionsautomatisierung des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gCmbH.
Dr.-Ing. Benjamin Küster ist Leiter der Abteilung Produktionsautomatisierung des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gCmbH.

KONTAKT

Alexander Poschke
 poschke@iph-hannover.de

Modellen handelt es sich vorrangig um verhältnismäßig einfache Machine Learning Modelle, wie die lineare Regression oder Support Vector Machines, da diese weniger Daten benötigen als beispielsweise Neuronale Netze. Für die Machine Learning Modelle wird die Python-Bibliothek scikit-learn verwendet. Sie enthält die meisten der bekannten Machine Learning Modelle inklusive einfacher Neuronaler Netze.

Die Kreuzvalidierung ist eine gängige Technik, um das sogenannte Overfitting zu vermeiden. Beim Overfitting passt sich ein Modell zu sehr an die Spezifitäten der Trainingsdaten an und generalisiert deshalb nicht zu gut auf dem Testdatensatz. Um dieses Phänomen zu vermeiden, werden die Trainingsdaten iterativ aufgeteilt. Anhand der Rastersuche können unterschiedliche Modelle mit unterschiedlichen Parametern verglichen werden. Im Qualitätsüberwachungssystem liegen abschließend die Modelle vor, um die Qualität eines Bauteils vorherzusagen und Parameterempfehlungen abzugeben.

Kategorische Outputs des Prozesses können als Ausschusskriterien festgelegt werden, sodass der Anwender gewarnt wird, falls ein oder mehrere dieser Kriterien bei der Vorhersage erfüllt sind. Falls mindestens ein Ausschusskriterium bei der Vorhersage getroffen wird, wird der Anwender

gewarnt und die restlichen Qualitätsmerkmale werden nicht vorhergesagt. Nur falls keins der Ausschusskriterien getroffen wird, werden auch die restlichen Qualitätsmerkmale vorhergesagt.

Qualitätsvorhersage am Beispiel des Laserschweißens von Glas

Im Rahmen des Projekts SmQL wurde das Laserschweißen von Glas als Beispielprozess für das Qualitätsüberwachungssystem verwendet. Bei diesem Prozess werden Glasfasern mittels Laserenergie mit einem Glassubstrat verschmolzen. Zur Generierung des Datensatzes wurden Blindnähte mit verschiedenen Einstellparametern geschweißt und die resultierenden Qualitätsmerkmale aufgenommen. Für den Prozess wurden drei relevante Einstellparameter und acht Qualitätsmerkmale identifiziert. Die Einstellparameter Laserleistung (in W), Vorschubgeschwindigkeit (in mm/min) und Faserförderrate (in mm/min) liegen als kontinuierliche Werte vor. Sie können in der Versuchsanlage variiert werden. Bei den Qualitätsmerkmalen Kontaktwinkel (in Grad), Materialverlust (in %), Spannung (in MPa) und Temperatur (in °C) handelt es sich ebenfalls um kontinuierliche Werte. Die Transparenz wird in einer Ordinalskala von gut bis schlecht bewertet. Die Qualitätsmerkmale Riss, Wellen und Anbindung

sind kategorisch (ja/nein). Bei diesen Merkmalen handelt es sich zudem um Ausschusskriterien, da das Bauteil bei Vorliegen eines Risses, einer Welle oder keiner vorhandenen Anbindung der Glasfaser Ausschuss ist.

Die Versuchsdurchführung erfolgte zweistufig. Zunächst wurden Blindnähte bei einem Verhältnis von 4:1 zwischen Faserförderrate und Vorschubgeschwindigkeit aufgeschweißt, da dieses Verhältnis von den Anlagenbedienern im Regelbetrieb häufig verwendet wird. Diese Versuchsreihe wurde in einen ersten Datensatz überführt. In der zweiten Stufe wurde dann zusätzlich das Verhältnis von Faserförderrate und Vorschubgeschwindigkeit im Bereich von 1:1 bis 5:1 variiert. Für das Qualitätsmerkmal Riss sind die Versuchsergebnisse in Bild 3 dargestellt.

Als Modell für die Vorhersage von Rissen, Wellen und die Anbindung wurde die Support Vector Classification automatisch ausgewählt. Zum Training wurden für die Anbindung alle Versuchsdaten sowie für Risse und Wellen alle Versuchsdaten, bei denen eine Anbindung vorlag, verwendet. Die Erkennungsgenauigkeit lag für Risse bei 82,23 %, für Wellen bei 92,71 % und für die Anbindung bei 91,88 % im Training. Auf einem Testdatensatz lag die Genauigkeit bei 91,66 % für Risse, bei 95,83 % für Wellen und 87,5 % bei der Anbindung.

Die Qualitätsmerkmale Kontaktwinkel und Spannung werden jeweils durch eine lineare Regression am besten abgebildet. Der Materialverlust wird über eine Ridge Regression vorhergesagt, für die Temperatur wird eine Lasso Regression verwendet. Trainiert werden diese Qualitätsmerkmale

auf einem Datensatz, der nur Gutteile enthält, da die Ergebnisse sonst verfälscht werden könnten. Bspw. resultieren Risse in der Regel aus einer hohen Spannung. Da einige Qualitätsmerkmale wie die Spannung nicht Inline gemessen werden, ist diese bei Auftreten eines Risses jedoch niedrig.

Fazit: Laserprozesse können vielfältige Einstellparameter und Qualitätsmerkmale aufweisen. Das entwickelte Qualitätsüberwachungssystem ermöglicht Unternehmen, ihre Prozesse aufwandsarm einzupflegen und zur Qualitätsvorhersage bzw. Parameteranpassung zu verwenden. Durch die hinterlegten Standardmodelle ist das System auch ohne Vorkenntnisse einfach zu bedienen. Fachpersonal kann aufgrund der Verwendung von Open-Source Software Anpassungen, wie beispielsweise eine Vernetzung mit Datenbanken und Anlagen, vornehmen. ■

Relaunch der QM-Lehrgänge erfolgreich gestartet

PÜNKTLICH ZUM NIKOLAUSTAG startete am 6. Dezember 2021 die Ausbildung zu DGQ-Qualitätsbeauftragten mit einem neuen Lehrgangskonzept. In der DGQ-Geschäftsstelle in Frankfurt ging es vier Tage lang um das Thema „Qualitätsmanagement I-Grundlagen“. Mitte Februar wird das zweite Modul des grundlegend überarbeiteten Lehrgangs beginnen, bei dem sich einige der Teilnehmenden auf ein Wiedersehen in Frankfurt freuen.

Schnell stiegen die 14 Teilnehmenden – größtenteils neu im Qualitätsmanagement – ins Thema ein und sorgten direkt für eine gute Stimmung der Gruppe. Die neue inhaltliche Struktur der Lehrgänge orientiert sich an den Grundsätzen des Qualitätsmanagements. Hiermit wird ein Mindset gestärkt, in dem das Qualitätsmanagement für sich und gegenüber anderen Bereichen deutlich macht, dass es als Treiber des Organisationserfolgs agiert. Neben dem grundsätzlichen Verständnis des Qualitätsbegriffs zählen auch die Themen Kundenanforderungen verstehen, Führung, Mitarbeiter und Schnittstellen einbeziehen, Prozessorientiert handeln, Verbesserungen umsetzen und Entscheidungsfindung mithilfe von Kennzahlen zum Schwerpunkt der Lehrgänge.

Nach intensiver Konzeptionsphase war



© wavebreakmedia/micro/123RF

die Pilotveranstaltung ein voller Erfolg. Trotz des anspruchsvollen Lernstoffs blieb genug Raum für tiefergehende Diskussion und Nachfragen oder kleinere Anekdoten des Trainers. Die Teilnehmenden lobten sowohl den guten Mix aus Gruppenarbeiten und Vortragsteilen als auch die sichere und sympathische Art des Trainers. Auch eine kurze Vorstellung der DGQ-Lernplattform

mit den neuentwickelten E-Learnings, zahlreichen Lernfragen und Gamification-Elementen wie Quiz-Duellen nahm die Gruppe sehr positiv auf. Kleinere Anpassungen und Verbesserungen werden noch erfolgen, aber mit einer Weiterempfehlungsquote von 100 Prozent blickt die DGQ auf einen erfolgreichen Start des Einstiegslehrgangs zurück.