

Aufbau einer digitalen Prozesskette in einer bestehenden Produktionsumgebung

SmartLab vernetzt Produktionsmaschinen

M. Schneider, V. Meier, T. Stehle, H.-C. Möhring

Am Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart wurde die digitale Vernetzung eines heterogenen Maschinenparks mit Bestands- und Neumaschinen verschiedener Hersteller im Versuchsfeld der Holz- und Verbundwerkstoffbearbeitung umgesetzt. Selten lassen sich digitale Prozessketten bei einem KMU auf der „grünen Wiese“ implementieren, da die dafür notwendige Infrastruktur meist nicht vorhanden ist. Aus diesem Grund wurde der „Brownfield-Ansatz“ mit dem Ziel verfolgt, Studierenden und Unternehmen der Branche die Möglichkeit zu geben, „Connectivity“-Technologien an Bestands- und Neuanlagen zu erforschen.

STICHWÖRTER

Werkzeugmaschinen, Industrie 4.0, Informationsmanagement

1 Digitales Ökosystem für die Holzbearbeitung

Durch das Internet der Dinge (englisch: Internet of Things = IoT) und die Etablierung von cyber-physischen Systemen wird die Kommunikation zwischen Maschinen, Anlagen und ihren Komponenten einerseits sowie mit den Maschinenbedienern andererseits zur Überwachung und Gestaltung der Prozessabläufe ermöglicht. Die erfassten und übertragenen Informationen bieten somit eine Entscheidungsgrundlage für die weitere Nutzung der Maschinen und Anlagen. Im vorliegenden Fall werden die Daten am Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart (IfW) zur Planung der Versuchsabläufe sowie für deren Dokumentation eingesetzt. Diese Entwicklung wird unter anderem durch die kostengünstige Herstellung und Miniaturisierung von Sensoren getrieben, sodass der vermehrte Einsatz physischer Sensoren in der Produktion erheblich erleichtert wird [1, 2]. Der Trend zur digitalen Transformation erfordert die Etablierung von Kommunikationsstrukturen, um den Datenaustausch in der Fertigungsindustrie, aber auch in der Forschung sowie Ausbildung und Lehre, auszubauen.

Um die Digitalisierung des Versuchsfeldes am IfW zu ermöglichen, wurde als Basis eine zentrale Datenerfassungseinheit installiert. Sie sammelt die Daten verschiedener Messstationen, bereitet diese auf und macht sie über unterschiedliche Ausgabemedien für den Anwender - je nach Berechtigungen innerhalb des Systems - für eventuell notwendige Eingriffe in den Prozess einsehbar. Die Digitalisierungsplattform fasst die Daten aus der Produktion,

The establishment of a digital process chain in an existing production environment

The IfW of the University of Stuttgart has implemented the digital networking of a heterogeneous machine park with existing and new machines from different manufacturers in the test field for wood and composite material processing. With necessary infrastructure not being available, implementing a digital process chain at an SME on a „greenfield“ is rarely possible. Therefore, the „brownfield“ approach has been pursued to enable students and industrial companies to research „connectivity“ technologies in existing machines and plants.

Maschine und Anlage zusammen und stellt sie innerhalb des eigenen Ökosystems zur Verfügung (Bemerkung: der Anbieter eines digitalen Ökosystems vernetzt Kunden, Zulieferer und Hersteller für Maschinen und Werkzeuge sowie weitere Akteure als Partner in einem digitalen Netzwerk zum Austausch von definierten Daten). Für den Anwender ist dies die technologische Basis, um einen Einblick beziehungsweise Überblick über den aktuellen Stand der Produktion zu erhalten, zum Beispiel über die Maschinen-, Werkzeug-, Teileverfügbarkeit, aber auch über den Zustand der Produktion, wie etwa Stromverbrauch oder Verschleißzustände der eingesetzten Komponenten. Dies ergibt ein digitales Abbild der eigenen Produktion zur Planung und Vorausschau auf zukünftige Ereignisse wie etwa Planungen von Wartungsintervallen.

Zur Umsetzung der Vernetzung des Versuchsfeldes am IfW wurde das Ökosystem der Holzbranche der Firma tapio GmbH als Basisplattform gewählt [3]. Entlang der Prozesskette haben sich hier bereits eine Anzahl relevanter Unternehmen aus der Branche (48 Unternehmen = Maschinen-, Werkzeug-, Peripheriehersteller, Zulieferer von Maschinenkomponenten und Zulieferbetriebe für die Fertigung von Möbelstücken) zusammengeschlossen. Die auf dieses Ökosystem abgestimmten Kommunikationsschnittstellen ermöglichen eine direkte Datenübermittlung zwischen den Systemen der Partner und der IoT-Plattform. Die Kommunikation zwischen den Maschinen und der Plattform erfolgt mit dem existierenden OPC-UA (Open Platform Communications Unified Architecture)-Standard [4].

In dem hier ausgewählten Ökosystem sind nicht alle Unternehmen der Branche Mitglied, da diese Unternehmen die Vernet-



Bild 1. Digitalisierungsansatz zur Umsetzung der Vernetzung von Maschinen und Anlagen nach dem „Greenfield-Ansatz“ (links) für Neuanlagen und dem „Brownfield-Ansatz“ (rechts) für einen bestehenden Maschinen- und Anlagenpark. Grafik: IfW, Universität Stuttgart

zungen ihrer Werkzeuge und Maschinen mit eigenen Plattformen favorisieren und ihre Produkte hinsichtlich dieser Schnittstellen für eine Plug-and-Play-Lösung vorbereitet haben. Der proprietäre Ansatz führt zu einem erhöhten Aufwand, um auch solche Maschinen an die von uns gewählte IoT-Plattform anzubinden.

2 Implementierung einer IoT-Plattform für ein SmartLab in der Holzbranche

Grundsätzlich wird im Zusammenhang mit dem digitalen Wandel zwischen zwei Ansätzen unterschieden. Der Greenfield-Ansatz basiert auf der Planung eines idealen, vollständig digitalisierten Produktionsstandorts, ohne Vorbedingungen durch bereits vorhandene Produktionsumgebungen, Maschinen oder Anlagen, das heißt sinnbildlich auf einer freien, grünen Wiese. In den meisten Fällen ist eine Produktionsstätte aber bereits in Betrieb, entspricht also einem bereits bebauten, braunen Feld, wie in **Bild 1** dargestellt.

In solchen Fällen können weder für die Digitalisierung potenziell ungeeignete Maschinen und Geräte einfach ersetzt, noch kann der Produktionsprozess für einen längeren Zeitraum für die Implementierung unterbrochen werden. Daher liegt der Schwerpunkt des Brownfield-Ansatzes auf der digitalen Transformation, die gleichermaßen an den gegebenen Aufbau sowie an die gewünschte Architektur angepasst wird [5]. So befinden sich im Versuchsfeld des IfWs Maschinen und Anlagen verschiedener Hersteller und unterschiedlichen Alters, mit einer dem jeweiligen Stand der Technik entsprechenden technischen Ausstattung. Diese Voraussetzung bedingte die Umsetzung des Digitalisierungskonzepts als Versuchsträger nach dem Brownfield-Ansatz. Zur Umsetzung der Datenerfassung bei älteren Bestandsmaschinen, die keine Möglichkeiten zur Nutzung einer Kommunikationsschnittstelle zwischen Maschine und Plattform aufweisen, wurde ein Netz aus Sensoren über die Bearbeitungsmaschinen gelegt. Auf diese Weise konnten Daten aus dem Fertigungsprozess erfasst werden, wie etwa elektrische Leistungsdaten. Ein eventuell notwendiger Eingriff in die bestehende Anlagentechnik wurde so verhindert, um keine wesentlichen Veränderungen oder den Austausch von Komponenten an der Anlage zu riskieren, die einer bestehenden CE-Konformitätserklärung der Maschine widersprechen würden [6].

Für die Prozessdaten aus den Versuchsmaschinen und Versuchsständen am IfW wurde eine Datenerfassungseinheit als

zentrale Schnittstelle der Firma Schneider Electric SE installiert, die die Messwerte von verschiedenen Datenerfassungspunkten in den Anlagen sammelt, aufbereitet, an die IoT-Plattform sendet und dort weiterverarbeitet. Die installierten Sensoren erfassen konkrete Prozessdaten aus den Maschinen und Anlagen, die zur Prozessüberwachung beziehungsweise -optimierung genutzt werden können. So wurden zum Beispiel an dem Bearbeitungszentrum „Maka PE 170“ Temperatur- und Schwingungssensoren an den Antriebsachsen installiert, die zur Überwachung der Kinematik dienen, um den Temperatur- und Schwingungsverlauf der Vorschubachsen über die Zeit zu dokumentieren und auszuwerten.

Über Leistungsmessgeräte wird die Leistungsaufnahme der Anlagen ermittelt, wie etwa der zentralen Späne- und Staubabsauganlage sowie an den CNC-Bearbeitungszentren, um Rückschlüsse auf die Auslastung und den Energieverbrauch oder auf bestehende Energieeinsparpotenziale ziehen können. Der Ansatz des „SmartLab“ zur Umsetzung der Anbindung der Maschinen und Anlagen wurde speziell nach den Anforderungen für das Versuchsfeld am IfW an Forschung und Lehre konzipiert und umgesetzt. Es könnte aber mit entsprechenden Anpassungen, wie etwa einer Skalierung der Anzahl der zu vernetzenden Maschinen und Anlagen, auch auf eine industrielle Fertigung transferiert werden. In **Bild 2** ist die Umsetzung der digitalen Holzbearbeitung am Institut schematisch dargestellt.

Die Maschinen- und Sensordaten werden in Form von OPC-UA-Items an einen OPC-UA-Server übermittelt, sodass sie von einem Cloud Connector ausgelesen werden können. Dieser leitet die Daten an das digitale Ökosystem weiter, wo die Daten für verschiedene Anwendungen zur Verfügung stehen. Im SmartLab wird beispielhaft das „MachineBoard“, eine Applikation von tapio zur Visualisierung der Daten, eingesetzt. Die Applikation läuft auf mobilen Endgeräten (wie Smartphones, Tablets, Smartwatches) und visualisiert aktuelle Produktionsdaten, daraus abgeleitete Maschinenzustände sowie sich einstellende, potenzielle Ereignisse.

Die Anbindung der Maschinen und Anlagen am IfW an die IoT-Plattform wurde über drei Lösungswege ermöglicht:

1. Direkte Anbindung:

Plug-and-Play-Lösung; der Datenaustausch zwischen Maschine und IoT-Plattform erfolgt über von Maschinenherstellern vorbereitete Schnittstellen. Die Maschinen und Anlagen können

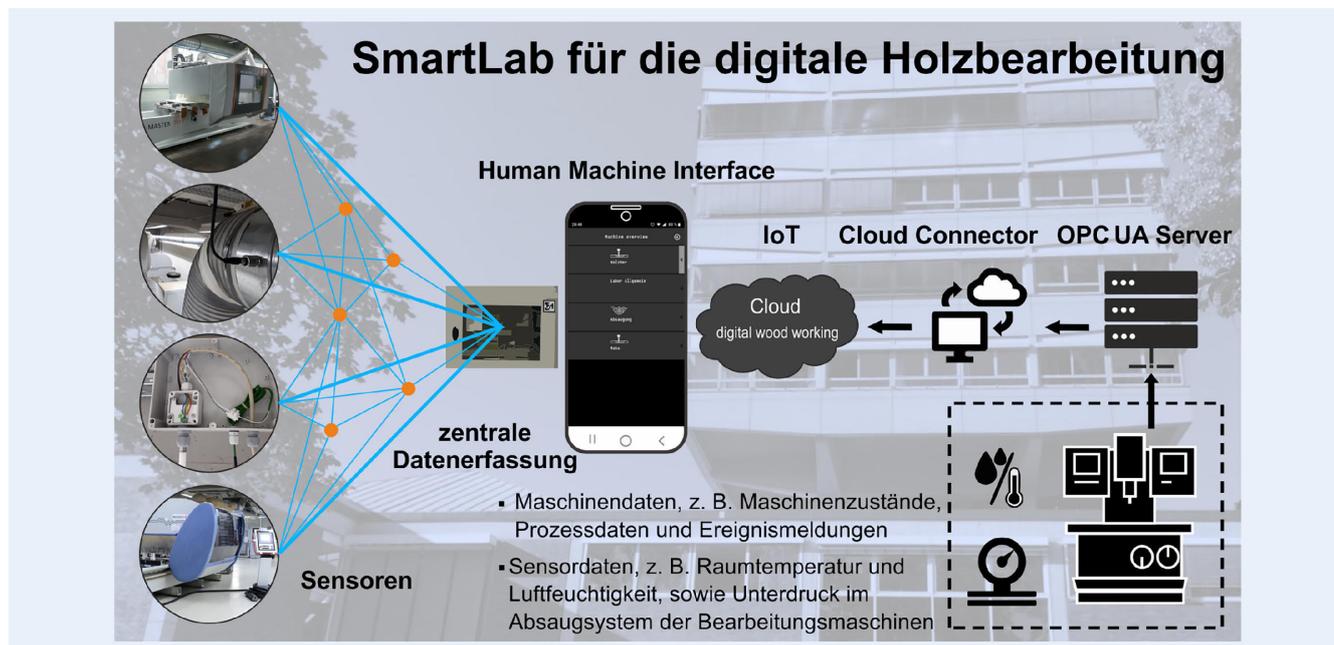


Bild 2. Der Datenfluss des digitalen Holzlabors „SmartLab“ am IfW. Grafik: IfW, Universität Stuttgart

durch eine direkte Verbindung mit der IoT-Plattform an das Ökosystem angebunden werden.

2. Hybride Anbindung:

Die Maschine erfasst selbstständig Prozessdaten, allerdings ist die Schnittstelle der Maschine nicht kompatibel zur direkten Datenübermittlung an die IoT-Plattform. Die durch die Maschinensteuerung erfassten Daten werden an die zentrale Datenerfassungseinheit übertragen und dort für die IoT-Plattform aufbereitet. Dieser Lösungsweg ist eine Kombination aus direkter und indirekter Anbindung.

3. Indirekte Anbindung:

Ein Sensornetz erfasst Daten von älteren Maschinen und Anlagen und leitet diese mithilfe der zentralen Datenerfassungseinheit an die IoT-Plattform weiter. Die zentrale Datenerfassungseinheit bereitet die Sensordaten zur Nutzung in der IoT-Plattform auf.

In diesem Beitrag wird konkret auf Lösungsweg 2 eingegangen.

Die implementierte IoT-Plattform dient als Ausgangspunkt, auf der weitere Funktionen der digitalen Fertigung aufgebaut wurden. Dabei wurde beispielhaft die Überwachung des Raumklimas im Versuchslabor sowie in den Lagerstätten der Rohstoffe implementiert. Durch das hygroskopische Verhalten von Holz und Holzwerkstoffen ist die Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Lager- und Verarbeitungsumgebung entscheidend [7]. Ein Temperaturfühler „Pt 1000“ und ein Feuchtesensor ermitteln die Klimadaten im Raum (Versuchsfeld und Lager). Diese werden an die zentrale Datenerfassungseinheit übermittelt, die Werte in einem Dashboard dargestellt und für die Historie gespeichert.

Zudem kommunizieren die Maschinen mit den Mitarbeitenden am IfW über Social-Media-Kanäle, zum Beispiel Twitter, mit Push-Benachrichtigungen zu aktuell anstehenden Ereignissen in der Produktion, die direkt und zeitnah einen Eingriff durch das Bedienpersonal erforderlich machen, etwa ein unkontrollierter Anstieg der Spindelleistung. Dieser vernetzte Lösungsansatz führt zu einer Verdichtung von Informationen aus der Produktion. Die Informationsquellen und -empfänger werden dabei miteinander

auf direktem Weg verknüpft, was eine kontextbezogene, echtzeitnahe Wissensvermittlung erlaubt. Der Informationsfluss existiert hier nicht nur im Übergang der einzelnen Prozessschritte, sondern über den gesamten Fertigungsprozess, in welchen auch die Maschinenbediener sowie sämtliche Ebenen eines Betriebs einbezogen werden. Das Senden von Push-Benachrichtigungen erfolgt nur an die über eine Applikation in Twitter zugewiesenen Mitarbeitenden, wie in **Bild 3** dargestellt.

3 Herausforderungen durch den Brownfield-Ansatz

Wie bereits genannt, wurde aufgrund der Vielzahl an vorhandenen Maschinen unterschiedlicher Hersteller am IfW der Brownfield-Ansatz für das Digitalisierungsprojekt umgesetzt. Von den verschiedenen Systemanbietern der Branche gibt es jeweils eigene Lösungen zur digitalen Anbindung ihrer Maschinen und Anlagenkomponenten, mit dem Ziel der Überwachung und Steuerung der verketteten Produktionsanlagen. Diese sind mehr oder weniger offen für die Maschinen und Anlagen der Mitbewerber gestaltet, da sie eine proprietäre Einheit bilden und die Kommunikationsschnittstelle zwischen Maschine und IoT-Plattform bestimmten firmeninternen Normen folgt, die in der Regel nicht auf andere Produkte ausgelegt sind.

Das Zusammenführen der Daten von Maschinen unterschiedlicher Baujahre und Hersteller zu einer gemeinsamen Plattform erfordert den Aufbau der hierzu notwendigen Kommunikationsstrukturen. Im vorliegenden Fall wurde in Abhängigkeit von Hersteller und Baujahr die zweite der genannten drei Möglichkeiten von Anbindungsoptionen an die IoT-Plattform ausgewählt.

Der zweite Lösungsansatz, also die hybride Anbindung der Maschinen an die Cloud, wird hier beispielhaft an einem Bearbeitungszentrum vorgestellt, das über eine „TwinCAT“-Steuerung der Beckhoff GmbH & Co. KG verfügt. Dieses Bearbeitungszentrum war nicht für eine direkte Anbindung, das heißt eine Plug-and-Play-Lösung, an die ausgewählte IoT-Plattform vorgesehen.

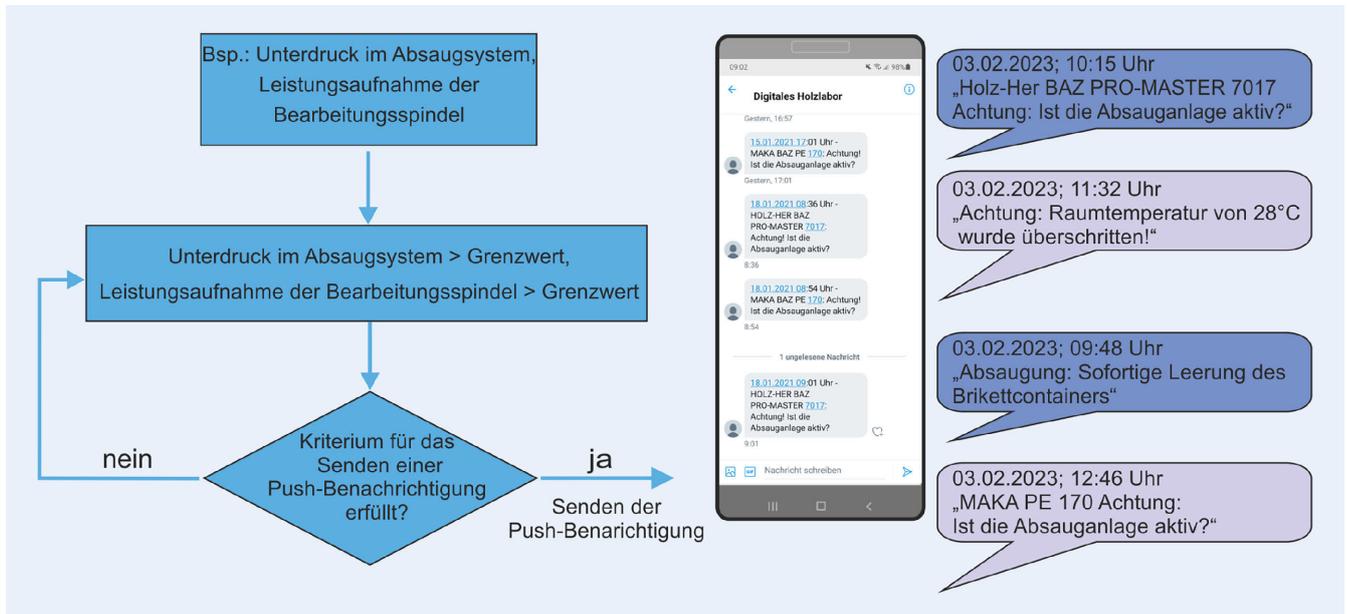


Bild 3. Umsetzung der Push-Benachrichtigungen im SmartLab des IfW. Grafik: IfW, Universität Stuttgart

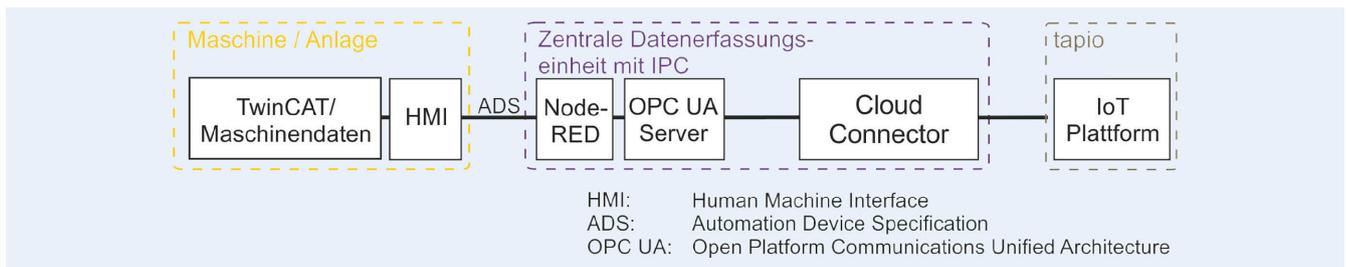


Bild 4. Schema zum Auslesen der Maschinendaten. Grafik: IfW, Universität Stuttgart

Die Maschinendaten, die für das digitale Holzlabor von besonderer Bedeutung sind, machen unter anderem Aussagen über den Zustand der Maschine, den Wartungsbedarf der Komponenten oder erlauben es, Fehlermeldungen durch Push-Benachrichtigungen auch über die Maschinensteuerung hinaus an Mitarbeitende weiterzuleiten. Diese Daten liegen in Form von Variablen mit unterschiedlichen Datentypen in der Steuerung der jeweiligen Maschine vor.

Eine Herausforderung ist es, auf die Steuerung zuzugreifen und die Variablen aus dem Quellcode der Maschinensteuerung den relevanten Werten zuzuordnen. Dabei wurden Werte ausgewählt, die den größten Nutzen für die jeweilige Anwendung der vorausschauenden Wartung oder der Überwachung der Maschine und ihrer Zustände bringen, beispielsweise Variablen zur Identifikationsnummer der Werkzeuge im Werkzeugwechsler oder Variablen zur Spindelleistung. So ist es zum Beispiel notwendig, das in der Hauptspindel befindliche Werkzeug zu identifizieren, um diesem die entsprechenden Nutzungszeiten zuzuordnen. Wenn das im Eingriff befindliche Werkzeug bekannt ist, können diesem für die Ermittlung des Standwegs die vorliegenden Parameter des Verfahrenswegs hinterlegt und zugeordnet werden. Diese Daten werden ebenfalls in der digitalen Plattform visualisiert, verarbeitet und analysiert. Mit diesen Daten wird es möglich, die Detektion des Schneidenschleißes an Bearbeitungswerkzeugen umzusetzen. Der Aufbau einer digitalen Werkzeugverwaltung

mit der Integration von digitalen Werkzeugwillingen wird auch im SmartLab umgesetzt.

4 Konkrete Umsetzung einer hybriden Maschinenanbindung an IoT-Plattform

Um von einem IPC (industrial PC) auf die Maschinendaten zuzugreifen, muss zunächst eine physische Verbindung eingerichtet werden. Im Anschluss erfolgt eine Zuweisung der Netzwerkkonfiguration mithilfe eines DHCP-Servers, um den Datenaustausch zwischen Maschine und einem IPC zu ermöglichen.

Auf jedem TwinCAT-System existiert ein Message-Router, der den Austausch von Befehlen und Daten zwischen einem TwinCAT-Server und den Client-Programmen regelt. Diese Funktionalität wird im digitalen Holzlabor genutzt, um die Variablen aus der Steuerung der Maschine auf dem IPC auslesen zu können, wie in Bild 4 zu sehen. Eine weitere Herausforderung ist es, die Freigabe für den lesenden Zugriff auf die Steuerung zu erreichen, da diese häufig passwortgeschützt oder anderweitig gesichert ist.

Das explizite Auslesen der Maschinendaten erfolgt über das grafische Entwickler-Tool „Node-RED“ des Unternehmens IBM. Dazu werden Funktionsbausteine, sogenannte „Nodes“, über Verbindungen mit anderen Funktionsbausteinen verknüpft, sodass Daten verarbeitet werden können. So lassen sich Anwendungsfälle aus dem Bereich des Internets der Dinge umsetzen [8–11].

Einer dieser Funktionsbausteine stellt die Variablen aus der Steuerung der Maschine über die ADS-Schnittstelle in Node-RED als Werte bereit, um diese dann an einen OPC-UA-Server weiterleiten zu können, der sie verwaltet und als OPC-UA-Item bereitstellt. Das OPC-UA-Item kann im Anschluss vom „tapio-Cloud-Connector“ abgefragt werden, welcher die Daten zur Visualisierung an die IoT-Plattform übermittelt [12].

Aufgrund der unterschiedlichen Automatisierungs- und Steuerungssysteme der Maschinen oder Anlagen am IfW, unterscheidet sich dieses Vorgehen der hybriden Anbindung für die Maschinen unterschiedlicher Hersteller und ist nicht für alle Maschinen und Anlagen einheitlich anwendbar. Um das beschriebene Verfahren zu realisieren, ist das cyber-physische System des SmartLabs notwendig. Neben den Daten, die direkt aus der jeweiligen Maschine ausgelesen werden, müssen auch die Daten des Sensornetzes, das über die Maschine gelegt worden ist, verarbeitet werden, um daraus neue Informationen für die Analyse des Prozessverlaufs ableiten zu können. Zur Sammlung und Verarbeitung der Sensor- und Maschinendaten dient die zentrale Datenerfassungseinheit, die zur visuellen Aufbereitung der IoT-Plattform notwendig ist, siehe **Bild 5**. Bei der Implementierung einer neuen Anlage in die IoT-Plattform muss in Abhängigkeit der Maschinenschnittstelle ein geeigneter Weg zur Anbindung herausgearbeitet werden, um eine Verbindung zu der Datenerfassungseinheit herzustellen und die gewünschten Funktionalitäten und die Erfassung der ausgewählten, benutzerorientierten Daten für das SmartLab umsetzen zu können.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Implementierung einer IoT-Plattform als Brownfield-Ansatz wurde im Versuchsfeld für Holz- und Verbundwerkstoffbearbeitung des IfW erfolgreich umgesetzt. Dieser Schritt ermöglicht eine Ausgangsbasis für die Umsetzung weiterer Anwendungsfälle der Digitalisierung, um zusätzliche Funktionen zu integrieren.

Darüber hinaus bildet er eine umfangreiche Testumgebung für neue Sensoren zur indirekten und direkten Anbindung von Maschinen und Automatisierungskomponenten. In dieser Umgebung lassen sich neue, miniaturisierte, vernetzte und multisensorische Sensorboxen in Anwendungsbeispielen testen. Diese Anwendungsfälle erlauben eine praxisnahe Erprobung, was auch für die Erprobung von industriellen Anwendungen bestens geeignet ist.

DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern tapio GmbH und Schneider Electric SE für die Unterstützung bei der Umsetzung des Aufbaus des SmartLabs am IfW. Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Rahmen eines trilateralen Projekts durchgeführt.



Bild 5. Infopoint des SmartLabs mit zentraler Datenerfassungseinheit zur Visualisierung der Maschinenzustände und Prozessdaten.
Foto: IfW, Universität Stuttgart

Literatur

- [1] Marheine, C.; Gruber, L., Back, A.: Innovation durch den Einsatz von Enterprise IoT-Lösungen: Ein Modell zur Bestimmung des Innovationspotenzials. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik (2019) 6, S. 1126–1143
- [2] Sinsel, A.: Das Internet der Dinge in der Produktion. Berlin: Springer-Verlag 2020
- [3] tapio GmbH: Lösungen. Stand: 2022. Internet: www.tapio.one/de/solutions. Zugriff am 27.01.2023
- [4] Foundation: OPC UA – PLUG & WORK. A common interface for all machines in the global woodworking industry. The Industrial Interoperability Standard. Stand: 2020. Internet: opcfoundation.org/wp-content/uploads/2019/08/OPC-UA-PlugWork.pdf. Zugriff am 02.02.2023
- [5] Bader, S. R.; Wolff, C.; Vössing, M. et al.: Towards Enabling Cyber-Physical Systems in Brownfield Environments. Exploring Service Science, 19.–21. Sept. 2018, Karlsruhe. Karlsruhe: Springer Nature Switzerland 2018, S. 165–176
- [6] Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.): Interpretationspapier „Wesentliche Veränderung von Maschinen“. Gemeinsames Ministerialblatt 10/2015. Stand: 2015. Internet: https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Arbeitsschutz/interpretationspapier-veraenderung-maschinen.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Zugriff am 27.01.2023
- [7] Ohlmeyer, M.; Wulf, P.: Optimierung der Eigenschaften von Holzwerkstoffen mit Hilfe von thermischen Modifizierungsmethoden. Universität Hamburg, Arbeitsbericht, 2010/2. Stand: 2020. Internet: <https://d-nb.info/1009260553/34>. Zugriff am 27.01.2023
- [8] Brandes, U.: Node-RED: Das umfassende Handbuch. Bonn: Rheinwerk Verlag 2022

- [9] Javed, A.: Complex Flows: Node-RED. In: Javed, A.: Building Arduino Projects for the Internet of Things. Berkeley, CA: Apress, 2016, pp. 51–73
- [10] Hagino, T.: Practical Node-RED Programming: Learn powerful visual programming techniques and best practices for the web and IoT. Birmingham: Packt Publishing 2021
- [11] Node-RED: Node-RED Homepage. Stand: 2020. Internet: nodered.org. Zugriff am 27.01.2023
- [12] OPC Foundation: Unified Architecture. Stand: 2022. Internet: opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/. Zugriff am 27.01.2023



Dipl.-Ing. **Matthias Schneider**
Foto: IfW Universität Stuttgart

Veronika Meier, B.Sc.

Dr.-Ing. **Thomas Stehle**

Prof. Dr.-Ing. **Hans-Christian Möhring**

Universität Stuttgart
Institut für Werkzeugmaschinen IfW
Holzgartenstr. 17, 70174 Stuttgart
Tel. +49 711 / 685-83861
info@ifw.uni-stuttgart.de
www.ifw.uni-stuttgart.de

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)