



## Liebe Leserinnen, liebe Leser,

wir freuen uns, Ihnen nach einer längeren, Corona-bedingten Pause eine neue Ausgabe des Forschungsmagazins ‚Blick in die Wissenschaft‘ in der Ausgabe 44/45 präsentieren zu können.

Die Corona-Pandemie hat auch die Universität Regensburg und alle ihre Mitglieder vor große Herausforderungen gestellt. Dennoch konnten zentrale Zukunftsprojekte weitergeführt und umgesetzt werden. So stellt vor allem die Gründung unserer neuen Fakultät für Informatik und Data Science (FIDS) einen wahren Meilenstein in der Geschichte und Entwicklung der Universität Regensburg dar. Als größtes Strukturprojekt seit der Gründung der Fakultät für Medizin vor 30 Jahren ist unsere Informatikfakultät ein Zukunftsprojekt von weitreichenden Dimensionen. Mit der neuen strategischen Schwerpunktsetzung im Bereich Informatik und Data Science und vor allem auch der Querschnittsorientierung der neuen Fakultät sieht sich die Universität Regensburg sehr gut gerüstet, ihre bisherigen Stärken in diesen Bereichen zu bündeln, weiter auszubauen und zu

vertiefen. Schließlich sind *Digital Transformations* als eines der vier Gestaltungsfelder und Zukunftsthemen in unserem *Hochschulentwicklungsplan 2025* fest verankert. Dieses Gestaltungsfeld adressiert die neue Fakultät ebenso wie den Bereich *Integrated Sciences in Life, Health, and Disease* als ein weiteres Schwerpunktgebiet unserer Universität.

Die Grundsatzbeschlüsse in den Gremien der Universität Regensburg im Sommer und Herbst 2019 zur Einrichtung der neuen Fakultät erfolgten nach einer vorhergehenden Phase intensiver Planungen dann letztlich fast zeitgleich mit der Regierungserklärung des Bayerischen Ministerpräsidenten Dr. Markus Söder am 10. Oktober 2019 und der Verkündung der Hightech Agenda Bayern. Unterstützt und beschleunigt durch die Mittel der Hightech Agenda Bayern konnte der Auf- und Ausbau der Fakultät für Informatik und Data Science zügiger umgesetzt werden, nachdem die neue Fakultät im März 2020 formal gegründet und im Laufe des WS 2021/22 aus sich heraus handlungs- und

funktionsfähig wurde. Im Mai 2022 konnten wir gemeinsam mit Ministerpräsident Dr. Markus Söder und Staatsminister für Wissenschaft und Kunst Markus Blume den offiziellen Kickoff für die Fakultät begehen. Dass dieser komplexe Prozess im Kontext der Herausforderungen der Corona-Pandemie vollzogen und abgeschlossen werden konnte, ist ein Zeichen für die Bedeutung dieser gesamtuniversitär-strategischen Maßnahme und für den Rückhalt für das Großprojekt in der universitären Gemeinschaft.

Im Laufe des Gründungsprozesses ist es gelungen, die verschiedenen Informatiknahen und -interessierten Kräfte der Universität an einen Tisch zu bringen und gemeinsam ein zukunftsorientiertes Konzept für die Fakultät zu entwickeln. Ein externes Gutachten mit hochrangiger Expertise skizzierte und evaluierte 2019 wesentliche inhaltliche Schwerpunkte und Strukturierungen für die neue Fakultät, an denen sich in den Jahren 2019-2021 die von Vizepräsident Prof. Dr. Nikolaus Korber geleitete Gründungskommission in der

konkreten Arbeit zum Aufbau der Fakultät orientierte. In insgesamt 15 Berufungsverfahren wurden die ersten neuen Professuren in der Fakultät zügig besetzt – ein Prozess, der in Kürze abgeschlossen sein wird. Im Besetzungsprozess hat sich vor allem auch gezeigt, wie attraktiv die Neugründung einer Fakultät und die Möglichkeiten zur Mitgestaltung und zum Aufbau neuer Strukturen für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind und wie viel Zukunftspotential von unserer neuen Fakultät ausgeht. So konnten wir zum Wintersemester 2023/24 130 Studierende für den B.Sc. Informatik und den B.Sc. Data Science begrüßen.

Im vorliegenden Heft von ‚Blick in die Wissenschaft‘ möchten wir Ihnen nunmehr vor allem die Forschungsaktivitäten der Fakultät für Informatik und Data Science näher vorstellen. Dabei beglückwünsche ich die Fakultät, dass sie bereits eineinhalb Jahre nach ihrer vollständigen Handlungs- und Funktionsfähigkeit und während der weiteren Planungen zum Aufbau und der Ausarbeitung ihrer Studiengänge insbe-

sondere im Master-Bereich ein so vielfältiges Themenheft zu ihren aktuellen Forschungsarbeiten vorlegen konnte.

Das facettenreiche und vielfältige Themenspektrum dieses Sonderhefts illustriert, wie die Fakultät für Informatik und Data Science die an der Universität Regensburg bisher vorhandenen IT-Kompetenzen erfolgreich bündelt und in die Zukunft gerichtet erweitert. Sie ermöglicht die essentielle interdisziplinäre Vernetzung mit der gesamten Universität, von den Geistes- und Sozialwissenschaften bis zu den Natur- und Lebenswissenschaften. Die Beiträge verdeutlichen, wie interdisziplinäre Forschung das Fundament starker methodischer und fachlicher Grundlagen weiterentwickelt und wie die bisherigen Informatik-Schwerpunkte der Universität Regensburg (Computational Science, Informationswissenschaft, Medieninformatik, Wirtschaftsinformatik) erfolgreich in die neue Fakultät überführt werden konnten und die Querschnittsorientierung unterstützen.

Das vorliegende Heft mit seinem Schwerpunkt auf aktuellen Forschungsar-

beiten begleitet den im Wintersemester 2023/24 erfolgten Start der beiden grundständigen Bachelor-Studiengänge Informatik und Data Science. Ein kurzer Überblicksbeitrag zur Lehre in der neuen Fakultät zeigt anschaulich die bereits gewachsene Vielfalt der Informatikstudiengänge und die intensive und gelebte Verbindung von Forschung und Lehre auch an dieser neuen Fakultät.

Unsere neue Fakultät leistet hervorragende Arbeit und ich bin sicher, dass Ihnen die nachfolgenden Seiten einen spannenden Einblick in die verschiedenen Facetten der FIDS geben werden. Ein ganz besonderes Dankeschön möchte ich an dieser Stelle an das gesamte Dekanat der Fakultät für Informatik und Data Science und insbesondere an Forschungsdekanin Prof. in Dr. Meike Klettke richten, die für diese Sonderausgabe die Koordinationsarbeit der vorliegenden Ausgabe federführend übernommen hat.

Prof. Dr. Udo Hebel

Präsident der Universität Regensburg

**Blick in die Wissenschaft  
Forschungsmagazin  
der Universität Regensburg**

ISSN 0942-928-X

Heft 44/45

31. Jahrgang

**Herausgeber**

Prof. Dr. Udo Hebel

Präsident der Universität Regensburg

**Redaktionsleitung für diese Ausgabe**

Prof.in Dr. Meike Klettke / Fakultät für Informatik und Data Science

**Redaktionsbeirat**

Prof. Dr. jur. Christoph Althammer

Prof. Dr. rer. nat. Ferdinand Evers

Prof. Dr. rer. nat. Stefan Friedl

Prof. Dr. rer. nat. Mark W. Greenlee

Prof. Dr. theol. Andreas Merkt

Prof. Dr. phil. Omar W. Nasim

Prof. Dr. rer. nat. Klaus Richter

Prof. Dr. rer. pol. Daniel Rösch

Prof. Dr. med. Ernst Tamm

Prof. Dr. paed. Oliver Tepner

Prof. Dr. phil. Christiane Heibach

Universität Regensburg

93040 Regensburg

Telefon +49 941 9432300

Telefax +49 941 9433310

**Verlag**

Universitätsverlag Regensburg GmbH

Leibnizstraße 13, 93055 Regensburg

Telefon +49 941 78785-0

Telefax +49 941 78785-16

info@univerlag-regensburg.de

www.univerlag-regensburg.de

Geschäftsführer: Dr. Albrecht Weiland,

Felix Weiland M.A.

**Abonnement-service**

bestellung@univerlag-regensburg.de

**Anzeigenleitung**

Larissa Nevecny

MME-Marquardt

info@mme-marquardt.de

**Herstellung**

Universitätsverlag Regensburg GmbH

info@univerlag-regensburg.de

**Einzelpreis € 7,00**

**Doppelheft € 14,00**

**Jahresabonnement**

bei zwei Ausgaben pro Jahr

**€ 10,00 / ermäßigt € 9,00**

Für Schüler, Studierende und Akademiker/innen im Vorbereitungsdienst (inkl. 7% MwSt.) zzgl. Versandkostenpauschale

€ 1,64 je Ausgabe. Bestellung beim Verlag.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

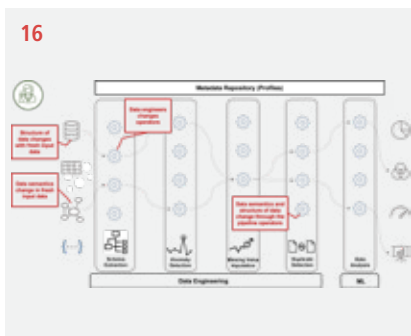
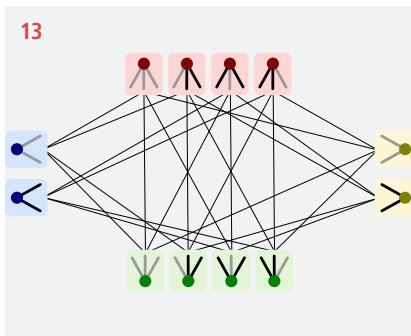
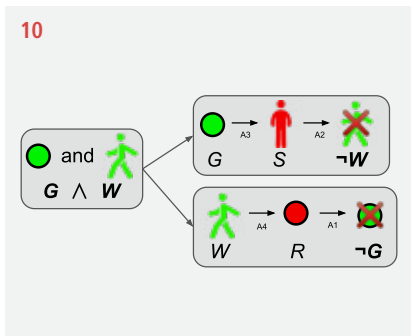
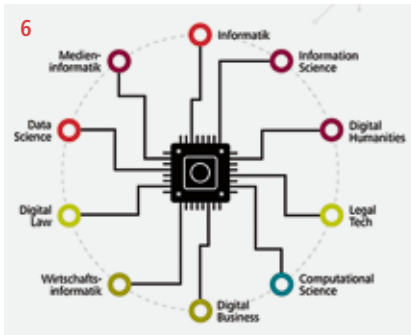


Rohstoffe  
Transporte  
Produktion

g CO<sub>2</sub>e  
492  
Pro Produkt

CO<sub>2</sub>-Emissionen  
ausgeglichen

# Inhalt



**Einleitung** 5  
*Florian Erhard, Bernd Heinrich, Meike Klettke, Christian Wolff*

**Lehre an der Fakultät für Informatik und Data Science** 6  
*Florian Erhard, Udo Kruschwitz, Bernd Heinrich, Christian Wolff*

**Automatisches Beweisen: Methoden und Anwendungen** 10  
*Julie Cailler, Philipp Rümmer*

**Algorithmen und Komplexitätstheorie** 13  
*Radu Curticapean*

**Evolution in Datenbanken und Data Engineering Workflows** 16  
*Meike Klettke*

**IoT-basiertes Prozessmanagement – Mobile Benutzerführung in der digitalen Fabrik** 19  
*Stefan Schönig*

**Cyber Threat Intelligence: Gemeinschaftliche IT-Sicherheit durch den Austausch von Informationen** 23  
*Johannes Grill, Daniel Schlette, Günther Pernul*

**Kann man den Entscheidungen Künstlicher Intelligenz trauen? Zu den Auswirkungen unsicherer Daten auf die Entscheidungen Neuronaler Netze** 26  
*Thomas Krapf, Bernd Heinrich*

**Mensch vs. Maschine: Wettbewerb und Kooperation mit künstlicher Intelligenz in digitalen Märkten** 30  
*Andreas Schauer, Daniel Schnurr*

**Notfallpläne für den Ernstfall testen** 34  
*Maria Leitner*

**Maschinelles Lernen mit Anwendungen in den Naturwissenschaften** 37  
*Merle Behr, Markus Schmitt*

Automatisierte, KI-basierte Analyse von Bilddaten:

Der Lehrstuhl für Bildverarbeitung

Dorit Merhoff

40

Die Genome des Menschen – Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe für Algorithmische Bioinformatik

Birte Kehr

43

Algorithmen zum Entschlüsseln der Genregulation

Francisca Rojas Ringeling, Stefan Canzar

46

Mit Hilfe von Daten Immunprozesse entschlüsseln:

Der Lehrstuhl Computational Immunology

Florian Erhard

49

Maschinelles Lernen enthüllt den verborgenen Prozess der Tumorentstehung

Linda Hu, Andreas Lösch, Rainer Spang

52

Allgegenwärtige Mensch-Maschine-Interaktion: Entwicklung, Forschung und Infrastruktur der Medieninformatik

Raphael Wimmer, Johanna Bogon, Niels Henze, Christian Wolff

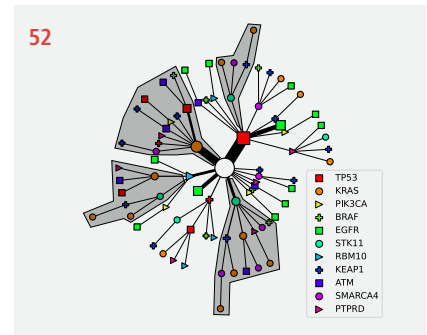
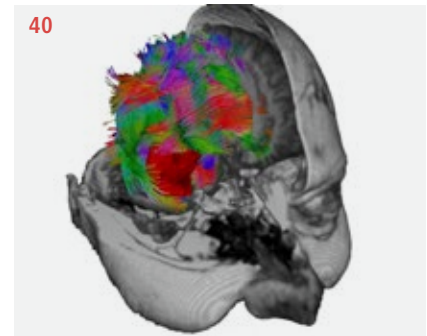
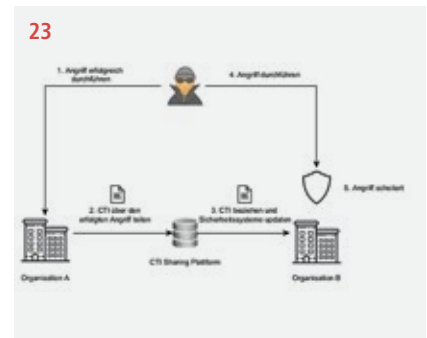
54

Wissen aus dem Internet – Genug, genau, geprüft und geeignet?

Informationswissenschaft in Regensburg

Udo Kruschwitz, Bernd Ludwig, David Elsweiler

60



## SOFTWAREENTWICKLER (M/W/D) GESUCHT

Voll- oder Teilzeit (30 -40 Std.) | Alle Fachbereiche

Hallo, **wir sind mb Support.**

Seit 20 Jahren unterstützen wir die Versicherungswirtschaft mit unseren Lösungen, u.a. Konzerte und Kunstwerke weltweit zu versichern. Als inhabergeführtes **Familienunternehmen** arbeiten wir auf Augenhöhe in einer familiären Atmosphäre. Als stark wachsendes und profitables Unternehmen bieten wir gleichzeitig **attraktive Benefits**.

**Wer bist du?** Jedes unserer rund 60 Teammitglieder bringt seine eigene Persönlichkeit, Geschichte und Perspektive mit. Für uns zählt, was dich interessiert, was dich antreibt, wie du bist. Du entscheidest, wie du bei uns mitgestalten möchtest. **Wir freuen uns auf dich.**

Die gesamte Stellenausschreibung findest du auf [www.mbsupport.de/karriere](http://www.mbsupport.de/karriere).

[www.mbsupport.de](http://www.mbsupport.de) | Friedenstraße 18 | 93053 Regensburg | +49 941 942 60 0 | mb Support GmbH



# IoT-basiertes Prozessmanagement

## Mobile Benutzerführung in der digitalen Fabrik

Prof. Dr. Stefan Schöning

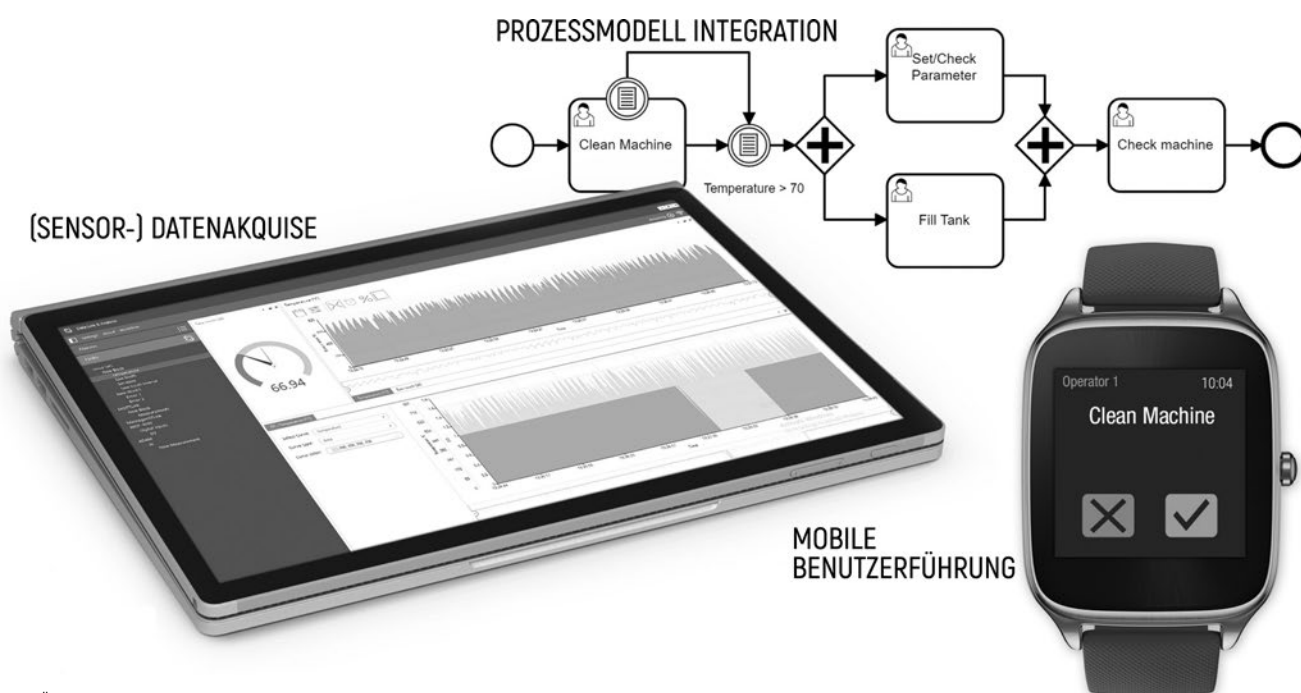
### Prozessmanagement in der Produktion

Die durch die »Industrie 4.0«-Initiative geförderte Verschmelzung von Produktion und Informationstechnologie führt im zukünftigen Produktionsumfeld zu einer Allgegenwärtigkeit von rechnergestützten Informationsverarbeitungssystemen, die unter dem Begriff »Ubiquitous Computing« zusammengefasst werden. In der Produktion wird darunter auch die Vernetzung von Produktionsmaschinen mit übergeordneten Informationssystemen verstanden, so dass sämtliche produktionsbeteiligten Objekte über eine mobile Infrastruktur untereinander kommunizieren und interagieren können [6]. Prozessrelevante Informa-

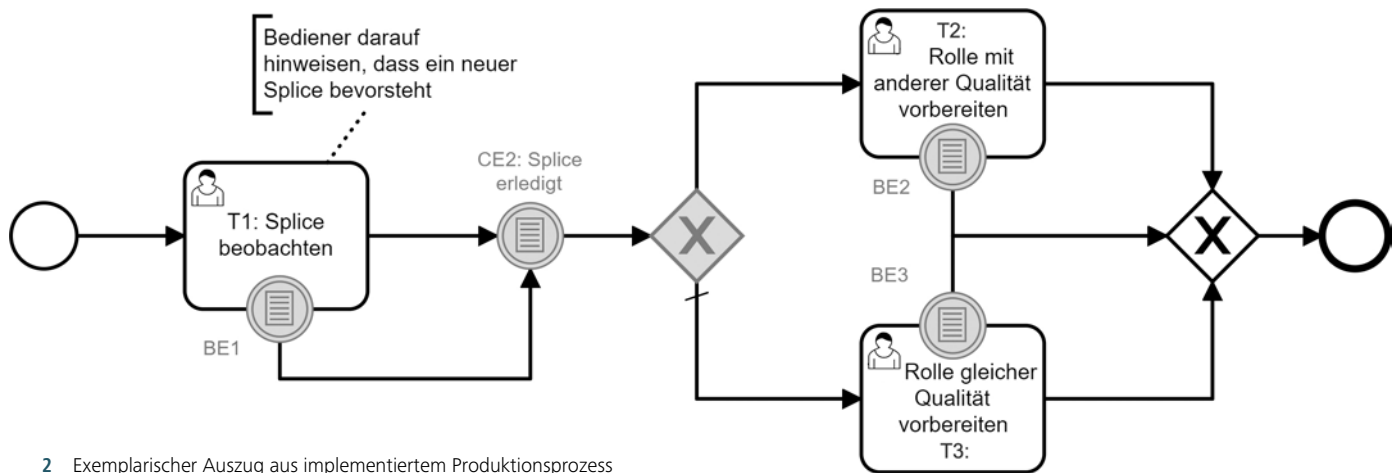
tionen lassen sich so in Echtzeit erfassen, wodurch Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette effizient gestaltet werden können [3].

Durch die Möglichkeiten, die mit der digitalen Transformation einhergehen, lässt sich die Produktionsplanung und -steuerung unterstützen. Dabei ermöglichen Prozessführungs-, Prozessüberwachungs-, sowie Analysedaten auf Basis von Internet of Things (IoT) Anwendungen eine umfassende Sicht auf Abläufe in der Produktion. Als ein mögliches Szenario wird ein Produktionsprozess betrachtet, der Material in einer Maschine bearbeitet. Für die Einhaltung der Produktqualität, welche durch Sensoren überwacht wird, sind manuelle Eingriffe und die ständige

Bereitschaft von Bedienern erforderlich. Basierend auf Sensordaten und seiner Erfahrung muss eine Person Entscheidungen treffen, um die Produktqualität durch einen Eingriff sicherzustellen. Ein solches Szenario wird besser beherrschbar, wenn auf digitale Produktions- und Maschinendaten zeitnah von menschlichen Bedienern zugegriffen und verarbeitet werden können. In der Kombination aus IoT-Anwendungen und Prozess- bzw. Produktionssteuerung ergeben sich sowohl Reaktionszeit- und Kosteneinsparungen für Unternehmen als auch Effizienz- und Qualitätssteigerungen, indem die gezielte Vergabe und Abwicklung von Arbeitsaufträgen durchgeführt und überwacht werden kann.



1 Übersicht des Ansatzes



2 Exemplarischer Auszug aus implementiertem Produktionsprozess

Der vorgestellte Ansatz (vgl. Abb. 1) verbindet die »BigData«-Welt der Erfassung und Analyse von IoT- bzw. Sensordaten [4] mit der Technologie des Prozessmanagements [1]. Dabei werden individuelle Arbeitsabläufe von Anlagenbedienern, d. h. Workflows bzw. Prozesse, in einer übersichtlichen Grafik mit Hilfe der Prozess-Standardnotation BPMN (Business Process Modeling and Notation) [5] modelliert. Ein Prozessmodell enthält also Aufgaben, sog. Tasks, die bestimmten Personen bzw. Gruppen von Personen zugeordnet sind. Durch die Anbindung jeglicher Art von Sensor- und Anlagendaten wird die selektive Aktivierung von Tasks auf Basis benutzerdefinierter Bedingungen ermöglicht. Der Ansatz ermöglicht somit die Verknüpfung von Sensoren und Steuerungen mit menschlichen Aufgaben. Modellierte Prozesse können über eine mobile Administrationsoberfläche gestartet und verwaltet werden. Der Status laufender Prozesse kann stets überwacht und nachvollzogen werden. Bereits abgeschlossene Prozesse können nachträglich analysiert und Flaschenhalse sichtbar gemacht werden. Bediener werden über aktuelle Aufgaben auf mobilen Endgeräten wie z. B. Smartwatches benachrichtigt. Hierdurch wird der Bediener bei seinen Tätigkeiten unterstützt, ohne bei der Durchführung seiner Kernaufgaben durch zusätzlichen Aufwand abgelenkt zu werden.

Eine Verknüpfung von Industrie 4.0-Konzepten und Prozessmanagement ermöglicht es, Mitarbeiter:innen bei ihren operationalen Aufgaben zu unterstützen. Es wird dafür gesorgt, dass Daten in Echtzeit zusammenlaufen und in eine interpretierbare Darstellung übersetzt werden. Diese abstrahiert zum einen von den

vielen, proprietären Darstellungen von Maschinen- und Sensordaten und ist daher von der gesamten Belegschaft eines Produktionsbetriebs leicht zu verstehen und zu interpretieren. Die Darstellung der aktuellen Produktionsdaten erfolgt in unserem Anwendungsfall auf Smartwatches. Prozessbeteiligte erkennen auf dem Display ihrer Smartwatch, welche Aufgaben anstehen, wie beispielsweise Wartungsarbeiten, Materialnachlieferung oder Behebung einer Maschinenstörung. Das Prozessmanagement-System löst Aufgaben aus und teilt sie einer geeigneten Person zu, unabhängig davon, wo sich Maschinenbediener, Wartungs- oder Servicemitarbeiter gerade – innerhalb der Produktionshalle – aufhalten. So wissen sie stets über den Status aller Anlagen und ihrer Aufgaben Bescheid. Dies verkürzt die Reaktionszeiten und reduziert Maschinenstillstände aufgrund verspäteter Reaktionen des Bedienerpersonals.

### Schritt für Schritt zur IoT-basierten Ablauforganisation

Im ersten Schritt werden Produktionsprozesse, Arbeitsabläufe von beteiligten Bediener:innen sowie notwendige Daten und Informationen aus Maschinen, Steuerungen und Sensoren in einer standardisierten, graphischen Spezifikationsprache für Abläufe (z. B. BPMN) [5] modelliert und digitalisiert. Auf Basis einer Prozess-Automatisierungskomponente können die resultierenden Prozessmodelle schließlich ausgeführt werden und konkrete Aufgaben an Mitarbeiter:innen auf Basis aktueller Anlagen- und Sensordaten verteilt werden. Die mobile Zuteilung von

Aufgaben an Mitarbeiter:innen setzt das Vorhandensein einer mobilen, verteilten Netzwerkinfrastruktur voraus, d. h. beispielsweise in Form einer drahtlosen Client-Server Architektur. Auf diese Weise können gerade notwendige Aufgaben vom Planungssystem, z. B. via WLAN an diverse mobile Geräte (z. B. Smartwatches) gesendet werden, welche jeweils bestimmten Anlagenbediener:innen zugewiesen sind.

Überschreitet beispielsweise der aktuelle Wert eines Temperatursensors eine bestimmte Warngrenze, wird – wie vorher im Prozessmodell definiert sein muss – eine bestimmte Arbeitsaufgabe aktiviert und an die mobilen Geräte von Bediener:innen einer bestimmten, vordefinierten Gruppe gesendet. Das System sorgt automatisch dafür, dass Mitarbeiter:innen mit der passenden Qualifikation den Arbeitsauftrag erhalten. Damit die unterschiedlichen Aufgaben zielgerichtet zugewiesen werden können, muss ein Unternehmen Mitarbeiter:innen bestimmten Gruppen auf Basis von Qualifikationen oder Schichtgruppen zuteilen.

Mitarbeiter:innen werden auf diese Weise mittels haptischer, akustischer oder visueller Signale auf dem dedizierten mobilen Gerät auf neue Aufgaben hingewiesen, die sie annehmen oder ablehnen können. Ist eine konkrete Aufgabe von einer Person angenommen, wird diese allen anderen Personen der Gruppe entzogen. Falls eine Person eine angenommene Aufgabe nicht mehr erfüllen kann, kann sie diese auch eigenständig wieder für alle zuvor festgelegten Gruppen freigeben und entsprechend selbst wieder neue Aufgaben empfangen. Auf diese Weise lassen sich alle Arbeiter:innen mit mobilen Geräten gruppenspezifisch kontaktieren, um Aufgaben und Arbeitsanweisungen zu verteilen.

## Anbindung von IoT-Variablen an Prozessmanagement-Systeme

Aktuelle Daten von IoT-Objekten werden an das Prozessmanagement-System gesendet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bestimmte IoT-Daten nicht an alle laufenden Prozesse gesendet werden, sondern nur an diejenigen, welche auch eine bestimmte IoT-Variable referenzieren. Aus diesem Grund muss eine Abbildung zwischen IoT-Variablen und verwendeten Prozessmodellen etabliert werden. Nachdem eine derartige semantische Abbildung zwischen Daten und Modell definiert worden ist, werden jeweils aktuelle Werte der referenzierten Variablen an das Prozessmanagement-System gesendet. Die technische Umsetzung der Anbindung von Daten an laufende Prozesse wird dabei von der IoT-Infrastruktur übernommen. Zu beachten ist hierbei, dass die Abstraktionslücke zwischen teilweise hochfrequenten IoT- und Sensordaten und der Welt der menschlichen Aufgaben eines Geschäftsprozesses überbrückt werden muss.

Basierend auf der etablierten Echtzeit-Verbindung von IoT-Objekten und eines Prozessmanagement-Systems können IoT-Variablen auf verschiedene Weise in Prozessmodellen referenziert werden. Damit das Prozessmanagement-System Aktivitäten auf Basis der aktuellen Werte von IoT-

Variablen aktivieren oder beenden kann, muss das Modell bestimmte Informationen beinhalten. Dieser Schritt erfordert daher, gegebene Prozessmodelle von Arbeitsabläufen zu erweitern. Die Sprache BPMN enthält verschiedene Konstrukte, die ein Referenzieren von IoT-Variablen in Prozessmodellen erlauben. Trigger Events können beispielsweise angewendet werden, um Aufgaben oder ganze Prozesse zu aktivieren, wenn eine bestimmte Bedingung auf den aktuellen Werten von IoT-Variablen erfüllt ist. Beim sog. *Intermediate Conditional Catch Event* wird die Ausführung an einem Punkt angehalten, bis eine bestimmte Bedingung erfüllt ist. Anschließend wird der Prozess mit der nächsten Aufgabe fortgesetzt. *Boundary Events* können dazu verwendet werden, Aufgaben abzubrechen bzw. zu entziehen, wenn referenzierte IoT-Variablen eine hinterlegte Bedingung erfüllen. Ein *Conditional Start Event* startet gesamte Prozesse, z. B. das Auffüllen eines Teilleagers, auf Basis der Werte von verknüpften IoT-Werten.

## Anwendung in Industrie

Die vorgestellten Konzepte wurden unter anderem in Produktionsanlagen für Wellpappe umgesetzt. Aufgrund zunehmender Automatisierung und Betriebspersonal-

reduktion wird eine derartige Produktionsstraße durch immer weniger Personal abgedeckt. Interaktionen mit der bis zu 140 m langen Anlage erfordern deshalb längere Wege zu Bedienterminals und führen zu verzögertem Informationsfluss. Die verlängerten Reaktionszeiten sind häufig Auslöser erhöhter Ausschussmengen.

Sämtliche Produktionsabläufe und notwendige Tätigkeiten von Bedienern werden vorab in Form von BPMN-Prozessmodellen abgebildet. Die modellierten Prozesse referenzieren dabei zahlreiche verschiedene Sensorvariablen in Form von bedingten Ereignissen (*Intermediate Conditional Catch Events*), wodurch bei bestimmten Sensorwerten neue manuelle Aufgaben ausgelöst werden oder laufende Aufgaben abgebrochen (*Boundary Events*) werden. Ein exemplarischer Auszug aus den modellierten Prozessen ist in Abb. 2 dargestellt. Das Modell enthält sowohl menschliche Aufgaben als auch IoT-basierte Ereignisse und Entscheidungspunkte, welche die Abarbeitung des Prozesses während der Ausführung steuern. Bei der Umsetzung des Konzepts wurde ein Rollenmodell implementiert, in dem jeder Bediener den von ihm zu überwachenden Bereich der Anlage definiert. Im Fall des abgebildeten Verklebungsprozesses (»Splice«) erhalten Bediener im Bereich, in dem die Papierrollen in die Anlage ein-



3 Mobile Prozesssteuerung auf der Smartwatch

gespeist werden, durch die kontinuierliche Überwachung Aufgaben zum nächsten anstehenden Rollenwechsel oder über auftretende Defekte in der Wellpappenbahn. Um Bediener in Echtzeit auf anstehende Aufgaben hinzuweisen, wurde das gesamte Personal mit Smartwatches (siehe Abb. 3) ausgestattet und Gruppen entsprechend dem jeweiligen Tätigkeitsbereich zugeteilt. Durch die beschriebene Umsetzung konnten Wege- und Reaktionszeiten signifikant verkürzt, der Ausschuss reduziert und die Qualität gesteigert werden. Auch auf die Anzahl der Anlagenstillstände wirkte sich der Ansatz positiv aus. Diese konnten deut-

lich früher erkannt und proaktiv behoben werden. Somit konnte eine nachhaltige Steigerung der Gesamtanlageneffektivität erzielt werden.

## Referenzen

Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., Reijers, H. A. (2013). *Fundamentals of business process management* (Vol. 1, p. 2). Heidelberg: Springer.

Eckert, M., Bry, F. *Informatik Spektrum* (2009) 32: 163. <https://doi.org/10.1007/s00287-009-0329-6>

Günthner W.; Wöfle, M.; Fischer, R.: *Wearable Computing und RFID in Produktion und Logis-*

*tik – Ansätze zur bereichsübergreifenden Nutzung digitaler Informationen*. *Logistics Journal*: Nicht referierte Veröffentlichungen, 2011.

Meroni, G., Baresi, L., Montali, M., Plebani, P. (2018). Multi-party business process compliance monitoring through IoT-enabled artifacts. *Information Systems*, 73, 61-78.

Object Management Group (OMG), *BPMN Spezifikation* (2011). Version 2.0. Final Adopted Specification.

Schönig, S.; Jablonski, S.; Ermer, A.; Aires Silva, A. P.: *Digital Connected Production: Wearable Manufacturing Information Systems*, In: Debruyne, C.; Panetto, H.; Weichhart, G.; Bollen, P.; Ciuciu, I.; Vidal, M.; Meersman, R.(ed.): *On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2017 Workshops - Rhodes, Greece*: Springer (Lecture Notes in Computer Science; 10697), S. 56-65. 2017.

Schönig, S., Ackermann, L., Jablonski, S., Ermer, A.: *An Integrated Architecture for IoT-Aware Business Process Execution*, In: Gulden, J., Reinhartz-Berger, I., Schmidt, R., Guerreiro, S., Guédria, W., Bera, P. (Eds.) *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling*: 19-34, 2018.

Schönig S., Aires A.P., Ermer A., Jablonski S. (2018) *Workflow Support in Wearable Production Information Systems*. In: Mendling J., Mouratidis H. (eds) *Information Systems in the Big Data Era. CAiSE 2018. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol 317. Springer, Cham

Singh, M., Rajan, M. A., Shivraj, V. L., Balamuralidhar, P. (2015). *Secure MQTT for Internet of Things (IoT)*. In *Communication systems and network technologies (CSNT)*, 2015 fifth international conference on (pp. 746-751). IEEE.

Van der Aalst, W. M. (2016). *Process mining: data science in action*. Springer.



Foto © privat

### Prof. Dr. Stefan Schönig

ist Professor am Department für Information Systems an der Universität Regensburg. Zuvor war er Post-Doktorand am Institut für Management Information Systems an der Wirtschaftsuniversität Wien. Er erhielt sowohl den Master-Abschluss (mit Auszeichnung) in Angewandter Informatik (Ingenieurwissenschaften/Informatik) als auch den Dokortitel in Informatik an der Universität Bayreuth.

Er hat einen fundierten Hintergrund im Bereich BPM/Process Mining und arbeitet seit über 12 Jahren in diesem Bereich. Stefan Schönig hat eine Vielzahl an Industrie- und Forschungsprojekten durchgeführt, die sich mit Process Mining, Prozessanalyse, Pro-

zessüberwachung und Prozessintelligenz im Kontext industrieller IoT-Umgebungen befassen. Er hat zahlreiche Publikationen im Bereich Geschäftsprozessmanagement und Informationssysteme in internationalen Konferenzen und Fachzeitschriften veröffentlicht.