

Matthias Jarke, Wil van der Aalst, Christian Brecher, Matthias Brockmann, István Koren,
Gerhard Lakemeyer, Bernhard Rumpe, Günther Schuh, Klaus Wehrle, Martina Ziefle

Mit „Digitalen Schatten“ Daten verdichten und darstellen

Der Exzellenzcluster „Internet der Produktion“ forscht
über die Produktionstechnik hinaus

The DFG-funded Excellence Cluster “Internet of Production” envisions a world-wide network of data-sovereign knowledge creation and data sharing in cooperation between engineering and computer science, including also business and social science aspects. This requires the integration of model-based and data-driven AI methods for coherent decision support in the development, operation, and usage cycles of production engineering. The cluster pursues a novel transdisciplinary abstraction called “Digital Shadows” to drive cross-domain research and innovation.

In der modernen Produktionstechnik sind große Mengen an Daten vorhanden. Diese sind jedoch weder einfach zugänglich noch interpretierbar oder so vernetzt, dass daraus effektiv Wissen generiert werden kann. Der RWTH-Exzellenzcluster „Internet der Produktion“, der seit Januar 2019 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Exzellenzstrategie gefördert wird, will eine domänenübergreifende und weltweite Kooperation ermöglichen: Die Aachener informatische Infrastruktur soll die echtzeitfähige, sichere Verfügbarkeit aller relevanten Daten zu jeder Zeit an jedem Ort in semantisch angemessener und an die Diversität der Nutzenden in angepasster Qualität ermöglichen. Der Exzellenzcluster bringt so ein Ziel der

auf der Hannover Messe 2011 postulierten, aber noch lange nicht umgesetzten Vision „Industrie 4.0“ voran und ebnet den Weg in eine neue Ära der Produktion. Im RWTH-Exzellenzcluster „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ (2006 bis 2018) wurden herausragende modellgetriebene Fortschritte in der Produktions- und Materialwissenschaft erzielt. Der hierauf aufbauende Exzellenzcluster Internet der Produktion, kurz IoP, ergänzt diese Ergebnisse jetzt nicht nur um datengetriebene Ansätze der Informatik, sondern auch um neue Managementmethoden und Geschäftsmodelle. Zur Umsetzung gehen die RWTH-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Produktionstechnik, Informatik,

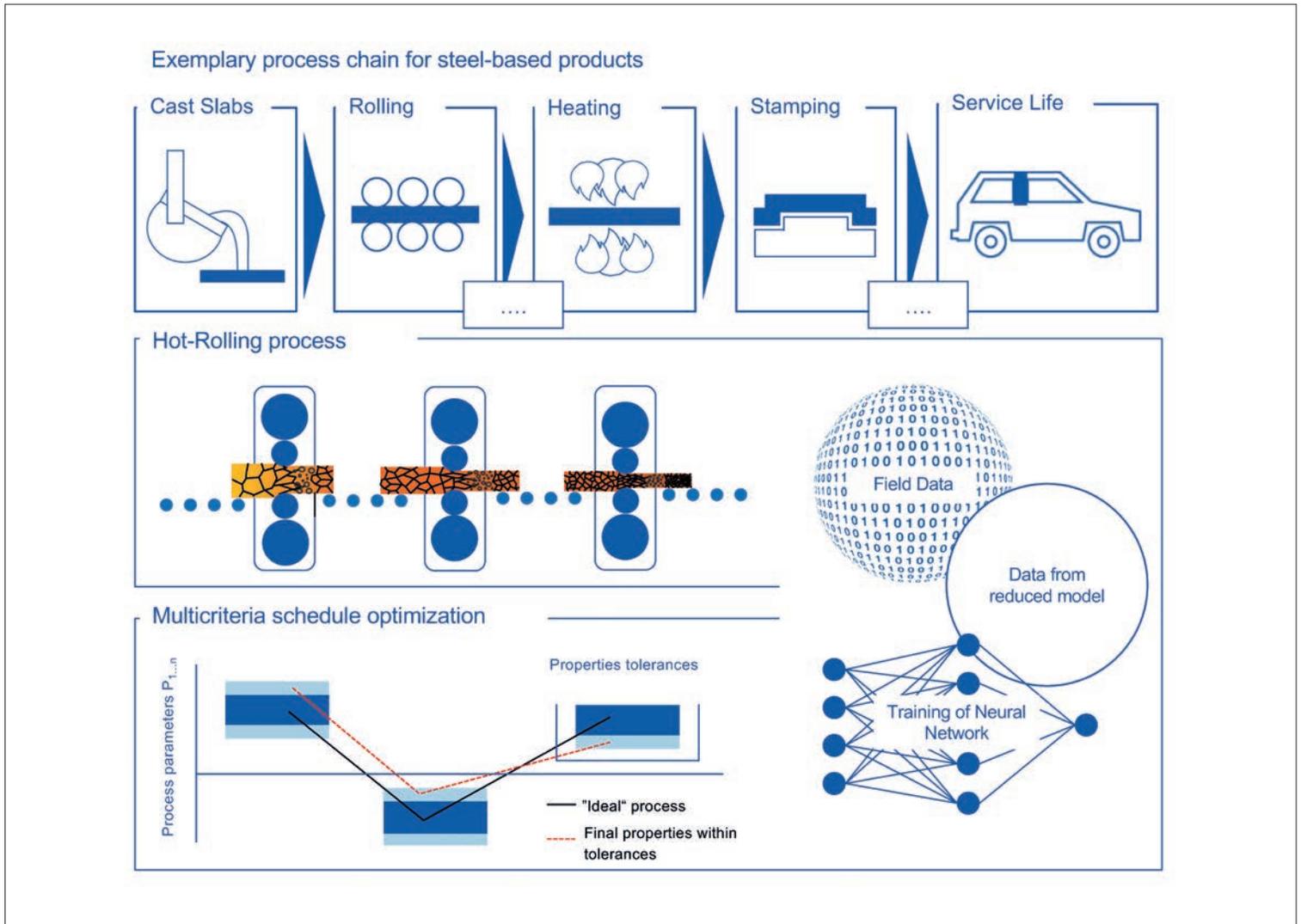


Bild 1: Einbettung mathematischer Modelle in neuronale Optimierungsnetze am Beispiel des Warmwalzens in der stahlbasierten Automobilproduktion.

Werkstoffwissenschaften sowie Wirtschafts- und Sozialwissenschaften interdisziplinäre Herausforderungen an. Die Integration von reduzierten produktionstechnischen Modellen in datengetriebenes Machine Learning dient einem domänenübergreifenden Wissensaufbau für eine kontext-angepasste und organisationsübergreifend vernetzte Produktionstechnik. Erforscht werden auch neue Methoden des ganzheitlichen Arbeitens, Stichwort New Work. Ingenieurwissenschaftliche Methoden und Prozesse werden mit sozial- und wirtschaftswissenschaftlichen Verfahren vernetzt und verbessert. Der RWTH Aachen Campus bietet mit seinen Forschungsinstituten und industriellen Partnern einzigartige infrastrukturelle Voraussetzungen

zur integrativen Entwicklung und Validierung. „Domänenübergreifende Kooperation“ bedeutet zum einen die Vernetzung von mathematischen Modellen aus unterschiedlichen ingenieur- und naturwissenschaftlichen Disziplinen. Hier sind in erster Linie Materialwissenschaft und Produktionstechnik zu verzahnen, die jeweils in einem „Cluster Research Domain“ behandelt werden. Dazu zwei Beispiele: Feinschleifmaschinen für Flugzeug- oder Kraftwerksturbinen arbeiten aufgrund modellgetriebener Steuerungsverfahren mit enormer Geschwindigkeit und Präzision, sind allerdings deshalb auch hohen Schadensrisiken bei Kohlenstoffverunreinigungen im verwendeten Stahl ausgesetzt. Es müssen daher extrem teure Spezialstähle eingesetzt

werden. Mit realzeitfähigen maschinellen Lernverfahren, welche die mathematischen Modelle um einen datengetriebenen Aspekt – die Erkennung und Umgehung von Verunreinigen im einstelligen Millisekundenbereich – ergänzen, könnten wesentlich günstigere Stähle verwendet werden.

In stahlbasierten Produktionsprozessen ist das Warmwalzen im Hinblick auf Qualitätsziele wie Materialstärke und Granularität einer der energieintensivsten Arbeitsschritte, mit einem erheblichen Anteil am CO₂-Fußabdruck der Industrie weltweit. Entscheidend für Verbesserungen ist das Scheduling der Abläufe in den großen Walzstraßen. Übliche Finite-Elemente-Simulationen brauchen für die Bewertung eines einzelnen manuell erstellten Ablaufvorschlags bis zu vier Stunden, so dass man nur sehr vorsichtig und aufgrund jahrelanger Erfahrung planen kann. Im Exzellenzcluster „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ gelang eine Kombination reduzierter mathematischer Modelle, die bei fast gleicher Simulationsqualität die Zeit auf etwa 50 Millisekunden reduziert – ein Beschleunigungsfaktor von rund 100.000! Beschleunigt wurde allerdings nur die Bewertung eines bereits existierenden Plans, aber weder das aktive Finden guter Schedules noch die dynamische Anpassung an Kontextveränderungen – beispielsweise Veränderung der Luftfeuchtigkeit – während des Warmwalzens selbst. Im Exzellenzcluster Internet der Produktion wurde daher das mathematische Modell als Bewertungsverfahren im Training eines neuronalen Netzes („deep machine learning“) mit realen und simulierten Beispielabläufen eingebaut. Das trainierte neuronale Netz wird so zur schnellen „Suchmaschine“ für optimale Schedules. So lässt sich mit wesentlich günstigeren Toleranzen planen, weil viele Veränderungsrisiken noch zur Laufzeit abgefangen werden, und damit ein signifikanter Beitrag zur Verminderung des Klimawandels leisten.

Die Arbeiten in den einzelnen Cluster Research Domains werden über ausgewählte Anwendungsfälle verzahnt. Die Vision geht jedoch weit über die eigentlichen Produktionsprozesse hinaus: Drei weitere Cluster Research Domains behandeln daher den vorgelagerten Entwicklungsprozess, die nachgelagerte Nutzung der Produkte und das gesamtheitliche Management aller einzelnen Aspekte.

„Domänenübergreifende Kooperation“ bedeutet im Exzellenzcluster also auch kontinuierlichen Austausch zwischen den jeweils schon in sich komplizierten Netzwerken der Bereiche Entwicklung, Betrieb und Nutzung. So wird ein „World Wide Lab“ als Grundlage einer neuen Ära der Produktion angestrebt. Diese Vision trifft auf erhebliche soziale, wirtschaftliche und politische Herausforderungen. Daten müssen angepasst an die Interessen, Kulturen und Kompetenzen der enormen Diversität von Nutzern erhoben und präsentiert werden, um wirklich Wert zu schaffen. Zudem wollen viele Unternehmen möglichst viele Daten sammeln und auswerten, sind aber umgekehrt kaum bereit, Daten bereitzustellen.

Entscheidend wird es im Sinne der digitalen Souveränität aller Beteiligten sein, produktionstechnische Datenökosysteme zu entwickeln, die in hohem Maße wertschaffend sind, aber den geschaffenen Wert auch fair verteilen. Auch auf diese Forschungsfragen wird sowohl modellgetrieben als auch empirisch-datengetrieben anhand existierender allianzgetriebener Datenplattformen im industriellen Bereich eingegangen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler kooperieren dabei eng mit deutschen und europäischen Initiativen wie der International Data Space Association und der geplanten GAIA-X-Infrastruktur.

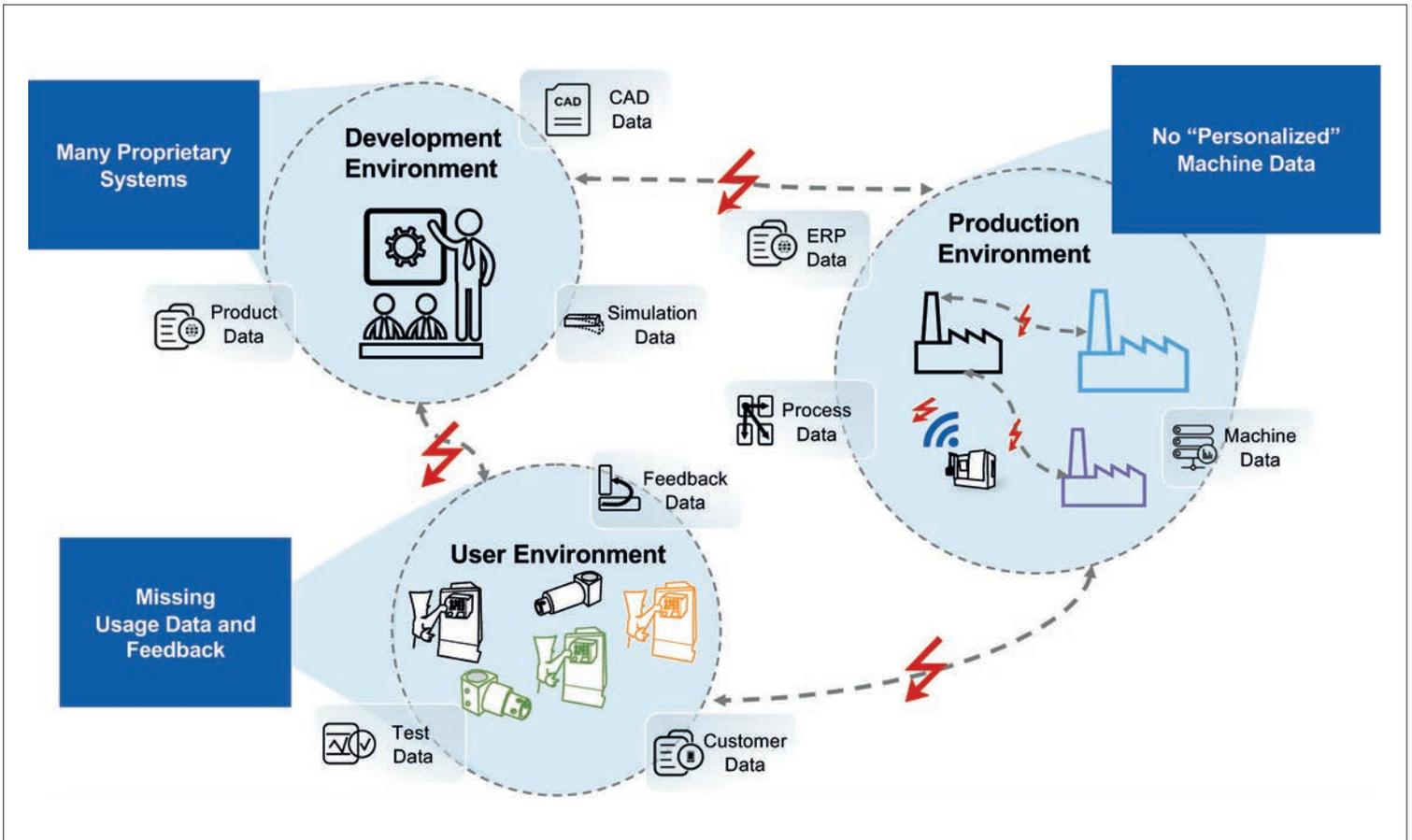


Bild 2: Der Exzellenzcluster „Internet der Produktion“ bietet Lösungen für Datenvielfalt und Integrationsprobleme beim lebenszyklusweiten Zusammenspiel zwischen Produktentwicklung, Produktionsbetrieb und Produktnutzung.

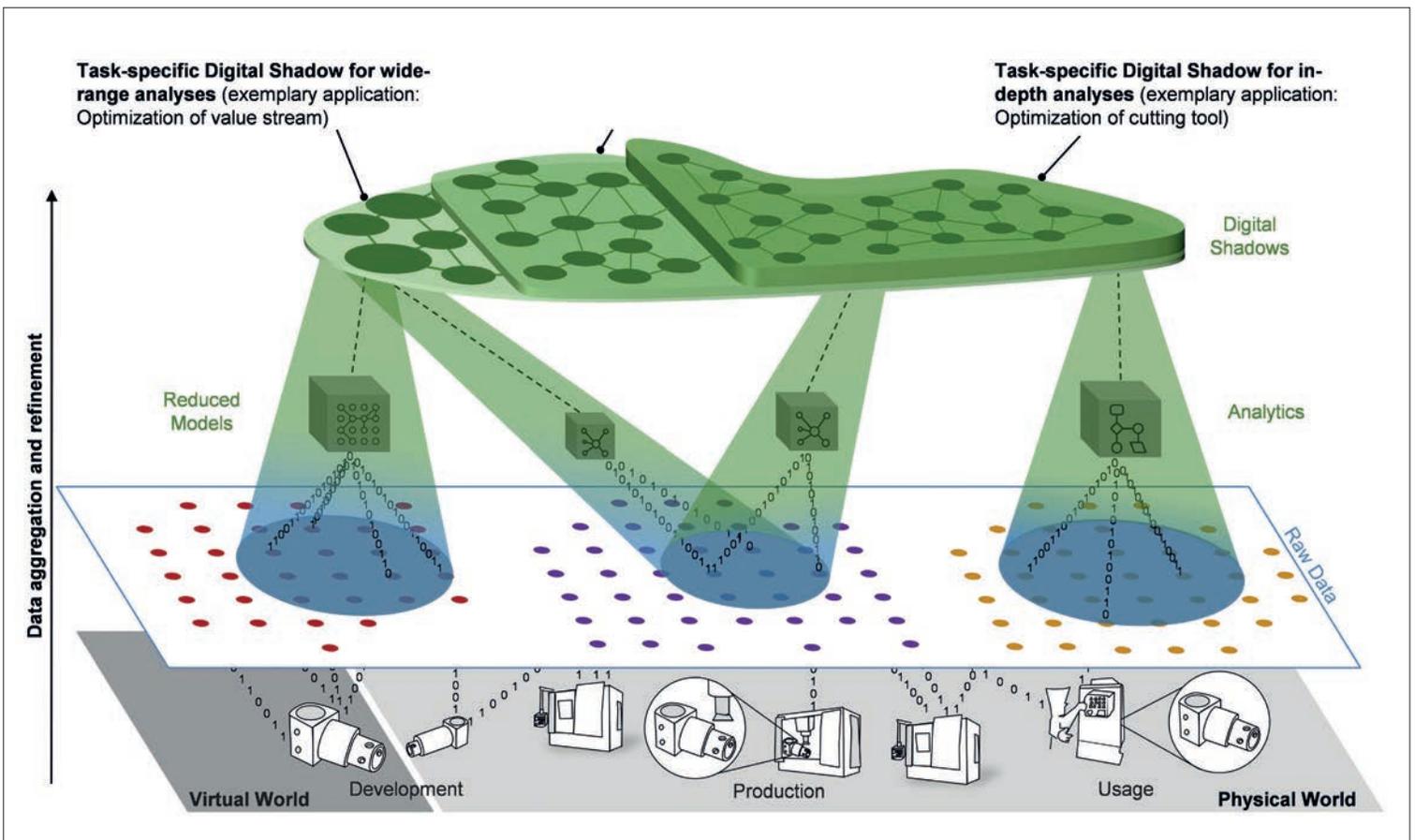


Bild 3: Digitale Schatten verdichten die riesigen Datenströme und passen damit reduzierte Modelle an die jeweiligen Aufgabenkontexte an.



Bild 4: Die Professoren Matthias Jarke (links) und Christian Brecher (rechts) koordinieren im Sprecherteam mit Professor Günther Schuh und Dr. Matthias Brockmann die interdisziplinäre Kooperation im Exzellenzcluster „Internet der Produktion“.

Foto: Peter Winandy

„Digitale Schatten“ als Kernkonzept

Viele Digitalisierungsansätze verfolgen das Konzept „digitaler Zwillinge“ – eine echtzeitfähige Simulation, die ein soziotechnisches Objekt parallel zu seiner Lebensdauer überwachend und steuernd begleitet. Der Exzellenzcluster ist allerdings zu komplex, um einen digitalen Zwilling zu realisieren. Die Infrastruktur unterstützt daher eine Vielzahl kleinerer, interagierender Objekte, „Digitale Schatten“ genannt:

- Digitale Schatten kombinieren modell- und datengetriebene interdisziplinäre Ansätze in einer jeweils kontextangepassten Weise.
- Ausgehend vom traditionellen View-Konzept im Datenbankbereich verdichten

Digitale Schatten Daten und passen deren Darstellung an die unterschiedliche Benutzerperspektiven und -fähigkeiten an.

- Die kompakte Darstellung macht es möglich, Digitale Schatten mit geringer Belastung der Kommunikationsnetze schnell zwischen maschinennahen („edge“) und zentralen Rechnern („cloud“) zu verschieben oder sogar im Netz selbst zu berechnen.
- Dadurch kann die Berechnung Digitaler Schatten an wechselnde Ressourcen und Echtzeitanforderungen angepasst werden, aber auch alle Delegationsmöglichkeiten an spezielle Hochleistungsprozessoren nutzen.

- Aus kommerzieller Sicht sind Digitale Schatten wertvolle Einheiten von Serviceaustausch und Handel, erfordern daher aber auch besondere IT-Sicherheit und Datenschutz.

Entwickelt werden Digitale Schatten für detaillierte interdisziplinäre Einzelaufgaben der Produktionstechnik und Materialwissenschaft. Diese sind aber auch in grobgranulare Management-Fragestellungen eingebettet. So unterstützt beispielsweise das „Process Mining“ auf Basis mathematischer Petrietz-Modelle datengetriebene Analysen von riesigen Ereignismengen zur Entdeckung, Formalisierung und Compliance-Überwachung



sowohl für diskrete technische Abläufe als auch für Geschäftsprozesse. Die Dokumentation der interdisziplinären und organisationsübergreifenden semantischen Verknüpfungen erfolgt über Wissensgraphen, die auch in die Nationale Forschungsdaten-Infrastruktur für die Ingenieurwissenschaften, kurz NFDI4Ing, einfließen. Bislang lag der Schwerpunkt darauf, das Konzept des World Wide Lab am Beispiel von Fallstudien zu evaluieren und zu demonstrieren, die durch die Infrastruktur des RWTH Aachen Campus ermöglicht werden. In einem ersten Schritt wurde eine Pipeline demonstriert, die es einer örtlich verteilten Gruppe von Instituten ermöglicht, ihre unterschiedlichen Daten in

einem gemeinsamen „Data Lake“ semantisch zu verknüpfen, daraus und aus ihren jeweiligen mathematischen Methoden Digitale Schatten zu generieren und diese flexibel und sicher im Netz cloudbasiert oder maschinen-nah nutzbar zu machen.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten mit internationalen Partnern und führenden Infrastrukturanbietern wie Siemens Mindsphere, Amazon Web Services oder SAP Hana zusammen, um parallel zur Grundlagenforschung auch den kontinuierlichen Informationsaustausch und Technologietransfer zu sichern.

Autoren

Univ.-Prof. Dr. rer. pol. Matthias Jarke ist Inhaber des Lehrstuhls für Informatik 5 (Informationssysteme und Datenbanken) und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT.

Univ.-Prof. Dr. ir. Dr. h.c. Wil van der Aalst ist Inhaber des Lehrstuhls Process and Data Science.

Dr. rer. nat. István Koren ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Informatik 5 (Informationssysteme und Datenbanken).

Univ.-Prof. Gerhard Lakemeyer, Ph.D., betreut das Lehr- und Forschungsgebiet Informatik 5 (Wissensbasierte Systeme).

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe ist Inhaber des Lehrstuhls für Informatik 3 (Software Engineering).

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Wehrle ist Inhaber des Lehrstuhls für Informatik 4 (Kommunikation und verteilte Systeme).

Univ.-Prof. Dr. phil. Martina Ziefle ist Inhaberin des Lehrstuhls für Kommunikationswissenschaft.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher ist Inhaber des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen und im Direktorium des Werkzeugmaschinenlabors WZL.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh ist Inhaber des Lehrstuhls für Produktionssystematik und im Direktorium des Werkzeugmaschinenlabors WZL.

Dr.-Ing. Matthias Brockmann ist Geschäftsführer des Exzellenzclusters „Internet der Produktion“.



Bild 5: Interdisziplinäre Zusammenarbeit zur Implementierung des „Digitalen Schattens“ in einer produktadaptiven Roboterzelle
Foto: Peter Winandy