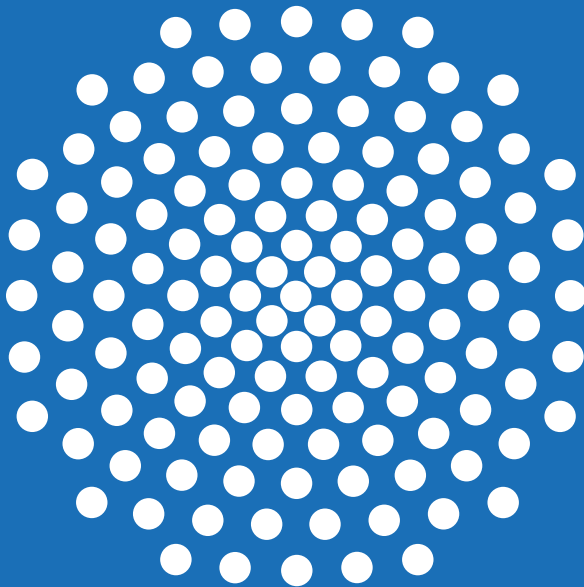


Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme

# Ergebnisse und Ausblick

2021/22



# VORWORT



Liebe Freunde und Ehemalige des Institutes!

Das Jahr 2021 war für das IAS ein Jahr des Aufbaus, in dem viele neue Forschungsprojekte auf den Weg gebracht wurden, wir viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eingestellt und unsere Strukturen verändert haben und dabei die Lehre unter Corona-Bedingungen meisterten.

Mit Stolz können wir heute zum Jahresausgang sagen, dass das Institut gewachsen und dabei gleich in drei Leitinitiativen des Bundes vertreten ist. „Software defined Car“, „Software defined Manufacturing“ und „Power2X“ im Wasserstoffprojekt „H<sub>2</sub>Mare“. Hinzu kommen noch zahlreiche weitere Projekte, die zwar weniger voluminös, aber fachlich genauso anspruchsvoll sind. Das IAS ist damit in den wesentlichen Schrittmachertechnologien der Automatisierungstechnik in der Forschung bestens aufgestellt.

Wir geben Ihnen im folgenden Jahresbericht einen Einblick, wohin die Reise der Automatisierungstechnik zukünftig gehen wird. Dabei bilden Methoden der Künstlichen Intelligenz und der informationstechnischen Vernetzung von Softwaresystemen wichtige Treiber für Innovation in der Automatisierungstechnik. Beispielsweise sind Ansätze des Machine Learnings für die Anwendung, z. B. in der Fehlerdiagnose oder Prozessregelung ein wichtiges Feld, in dem wir aktiv sind. In diesem Zusammenhang sind aber auch Verfahren zur Erzeugung synthetischer Trainingsdaten oder der Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit angelernter Algorithmen in Autonomen Systeme ein wichtiges Thema. Auch die informationstechnische Vernetzung und der Einsatz von neuartigen Softwarearchitekturen ist noch lange nicht umgesetzt und insbesondere in industrienahen Projekten von Bedeutung. So sind noch viele Fragen zum Einsatz von 5G, dem Continuous Deployment Loop oder dem Digitalen Zwilling in modularen Prozessleitsystemen offen.

# VORWORT

Viele der Promovenden sind sehr gut vorangekommen und das Institut hat den Output an Publikationen und Zitationen auch dieses Jahr wieder deutlich gesteigert. Wir sind zuversichtlich, mit diesem Team in den nächsten Jahren sehr gute Forschung und Lehre betreiben zu können.

Der Aufbau an neuen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist erfolgreich gelungen und wird auch noch im nächsten Jahr fortgesetzt werden. Dabei ist es besonders erfreulich, dass wir zunehmend auch Promovenden aus dem Ausland gewinnen können, die das IAS und seine Kultur bereichern.

Auch der Führungskreis des Institutes ist erweitert worden. Neben Prof. Weyrich, Jun. Prof. Morozov und Dr. Jazdi unterstützen seit dem Spätsommer auch vier Teamsprecher die Leitung.

Bitte überzeugen Sie sich von den vielen Lehraktivitäten, die wir zwischenzeitlich anbieten. Neue Module konnten geschaffen werden, noch mehr studentische Arbeiten wurden mit Themen am Puls der Zeit betreut. In Zukunft werden insbesondere die Forschungsaktivitäten dazu führen, dass wir weiterhin zukunftsweisende Kompetenzen vermitteln, die in der Industrie und Forschung der Automatisierungstechnik benötigt werden.

Wir freuen uns, Ihnen mit diesem Bericht einen Eindruck unserer Arbeiten zu vermitteln.

Alles Gute

Ihr



Prof. Michael Weyrich

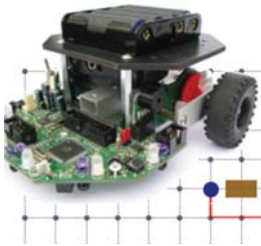
Ihr



Jun.-Prof. (Tenure Track) Andrey Morozov

# NEWS

12.02.2021



## IAS-FACHPRAKTIKUM - SOFTWARETECHNIK 2021

Die Konzeption der Softwaretechnik und die Entwicklung von Algorithmen im Fachpraktikum wurden hauptsächlich im Simulator durchgeführt. Aufgabe für die vier Teams war es, eine Software zu entwickeln, die die Roboter mithilfe eines Kamerasystems autonom durch unbekannte Hindernisse in ein gegnerisches Ziel navigiert. Trotz corona-bedingter Einschränkungen konnten die 20 Teilnehmenden viel über Teamwork, reale und virtuelle Softwareentwicklung sowie über Projektmanagement lernen.

22.02.2021



## 5G-PILOTPROJEKTE FÜR INDUSTRIE 4.0 UND SMART CITY

Das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des 5G-Innovationswettbewerbs geförderte Gemeinschaftsprojekt „5G SynergieRegion“ läuft über drei Jahre. Ziel ist es, neuartige 5G-Anwendungen für die Industrie 4.0 und die Smart City zu erforschen. Durch das Projekt sollen Forschung und Wirtschaft bei der Entwicklung und Erprobung konkreter 5G-Anwendungen in Stuttgart unterstützt werden.

Automation 2030

12.04.2021



## ZUKUNFTSREPORT AUTOMATION 2030

Am VDI-Bericht „AUTOMATION 2030 - Zukunft gestalten, Szenarien und Empfehlungen“ war Prof. Weyrich zusammen mit einem Team von Experten der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik maßgeblich beteiligt. Die Empfehlungen der Experten werfen einen Blick in die Zukunft, ins Jahr 2030.

# NEWS



13.04.2021

## PROF. WEYRICH ZUM THEMA KI-JOBS AUF DER HANNOVER MESSE INDUSTRIE

Jobs in und mit der Künstlichen Intelligenz ist das Thema eines Interviews der VDI-Nachrichten mit Prof. Weyrich. Das Interview erfolgte anlässlich der digitalen Hannover Messe Industrie im Job Hub.

21.05.2021



## ONLINE WORKSHOP - DATA SCIENCE: INDUSTRIEERFAHRUNG UND PRAXISTIPPS

Am 20.05.2021 fand ein virtueller Workshop der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) und der Plattform Lernende Systeme (PLS) statt. In Impulsvorträgen und Fragerunden wurde auf die verschiedenen Themen des Workshops eingegangen.



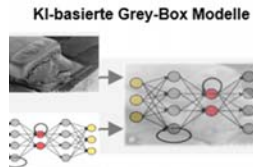
24.06.2021

## JUN.-PROF. MOROZOV ZUM ASME VICE-CHAIR GEWÄHLT

Herzlichen Glückwunsch an Jun.-Prof. Andrey Morozov. Er wurde zum 4. Vice-Chair der Safety Engineering and Risk Analysis Division (SERAD) der American Society of Mechanical Engineers (ASME) ernannt. Es handelt sich um eine ehrenamtliche Tätigkeit, bei der er nach jedem Jahr zum dritten, zweiten bzw. ersten Vice-Chair und schließlich zum Vorsitzenden befördert wird.

# NEWS

05.07.2021



## BMW-GEFÖRDERTES PROJEKT SesiM GESTARTET

Das Projekt SesiM (Selbstvalidierung komplexer elektronischer Systeme in sicherheitskritischen Mobilitätsanwendungen auf Basis von Grey Box-Modellen) unter Beteiligung des IAS ist mit einer virtuellen Kick-Off-Veranstaltung gestartet. Zentraler Aspekt ist die Entwicklung einer KI-basierten Zustandsüberwachung für den Betrieb von Automobil- und Bahntechnik. Dafür soll eine hybride, modellbasierte Zustandsüberwachung elektronischer und mechatronischer Systeme erforscht werden.



11.08.2021

## GASTWISSENSCHAFTLER DR. TAMÁS RUPPERT AM IAS

Dr. Tamás Ruppert von der Universität Pannonia (Veszprém, Ungarn) ist für vier Monate als Gastwissenschaftler am IAS tätig. Nach seiner Promotion in 2020 leitet Dr. Ruppert die Forschungsgruppe „Brownfield Industry 4.0“ und beschäftigt sich mit dem Monitoring und der Optimierung von Produktionsprozessen. Diese Themen stehen auch im Mittelpunkt seiner Arbeit am IAS, er erhält hierzu finanzielle Unterstützung vom Deutschen Akademischen Austauschdienst e. V. (DAAD).



26.08.2021

## IAS MITORGANISATOR DER IEEE SPECIAL SESSION IN LYON

Im Rahmen der Automationskonferenz IEEE CASE in Lyon/Frankreich fand eine Special Session zum Thema „Machine Learning und Datenanalyse für die Fehleranalyse in der Fertigungsindustrie“ statt. Diese wurde von Prof. Boucher (Ecole Des Mines De Saint-Etienne), Prof. Weyrich und Prof. Kallfass (ILH) im Rahmen des EUREKA-Projektes FA4.0 zusammen mit Industriepartnern organisiert.

# NEWS



Grafik: PTJ / BMBF

02.09.2021

## IAS IM BMBF-WASSERSTOFF-LEITPROJEKT H<sub>2</sub>MARE

Das Projekt H<sub>2</sub>Mare ist eines der drei Wasserstoff-Leitprojekte, die einen zentralen Beitrag des BMBF in der nationalen Wasserstoffstrategie liefern sollen. Es soll ein völlig neuer Anlagentyp auf dem Meer seinen Platz finden - eine Lösung, die einen Elektrolyseur zur direkten Wandlung des elektrischen Stromes optimal in eine Offshore-Windenergieanlage integriert. Das IAS beschäftigt sich mit den Themen Prozessleitsystem, Teleoperation und Digitaler Zwilling.

17.09.2021



## IEEE-KONFERENZ ETFA 2022 IN STUTTGART: PROF. WEYRICH LÄDT ZUR 27. JAHRESKONFERENZ EIN

Als Gastgeber der ETFA 2022 - International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation lädt Prof. Michael Weyrich zur 27. Jahreskonferenz der IEEE Industrial Electronics Society (IES) ein, die sich mit den neuesten Entwicklungen und Technologien im Bereich der Industrie- und Fabrikautomation beschäftigt. Die ETFA 2022 wird vom 06.09. - 09.09.2022 an der Universität Stuttgart stattfinden.



08.10.2021

## DOKTORANDENSEMINAR - WIEDER IN PRÄSENZ MÖGLICH

Nach längerer Corona-Pause fand am 29.09. und 30.09.2021 wieder ein Doktoranden-seminar in Präsenz in Bad Liebenzell statt, erstmals mit den beiden Gruppen von Prof. Weyrich und von Jun.-Prof. Morozov. Im Rahmen des Seminars präsentieren die Doktoranden den Stand ihrer Arbeiten und diskutieren Forschungsergebnisse und neue Ansätze.

# NEWS



© BOSCH

10.11.2021

## PIONIERARBEIT IM AUTOMOBILEN IT-DSCHUNDEL

Das vom BMBF geförderte Großprojekt „Software-defined Car“ (SofDCar) soll neue Methoden und Prozesse für das Auto der Zukunft und seine effektive Datennutzung entwickeln. Federführend für die Universität Stuttgart wird sich das IAS gemeinsam mit acht Kollegen mit einer IT-Referenzarchitektur für die Fahrzeuge der Zukunft befassen. Dabei geht es um den Einsatz von Software im sogenannten Edge-Backend, also Informationsknotenpunkten außerhalb der Fahrzeuge in der zukünftigen IT-Infrastruktur.



© Fraunhofer IOSB

18.11.2021

## PROJEKT SynDAB IM CLUSTER OF EXCELLENCE (IntCDC)

Am 12.11.2021 fand das Kick-Off-Treffen des BMBF-Projektes „Synthetische Daten für die Entwicklung von autonomen Bau- und Arbeitsmaschinen“ (SynDAB) statt, das Teil des Clusters of Excellence zum Integrative Computational Design and Construction der Universität Stuttgart ist. Das Projekt beschäftigt sich mit der automatisierten Generierung von synthetischen Daten für das Training und den Test autonomer Bau- und Arbeitsmaschinen.

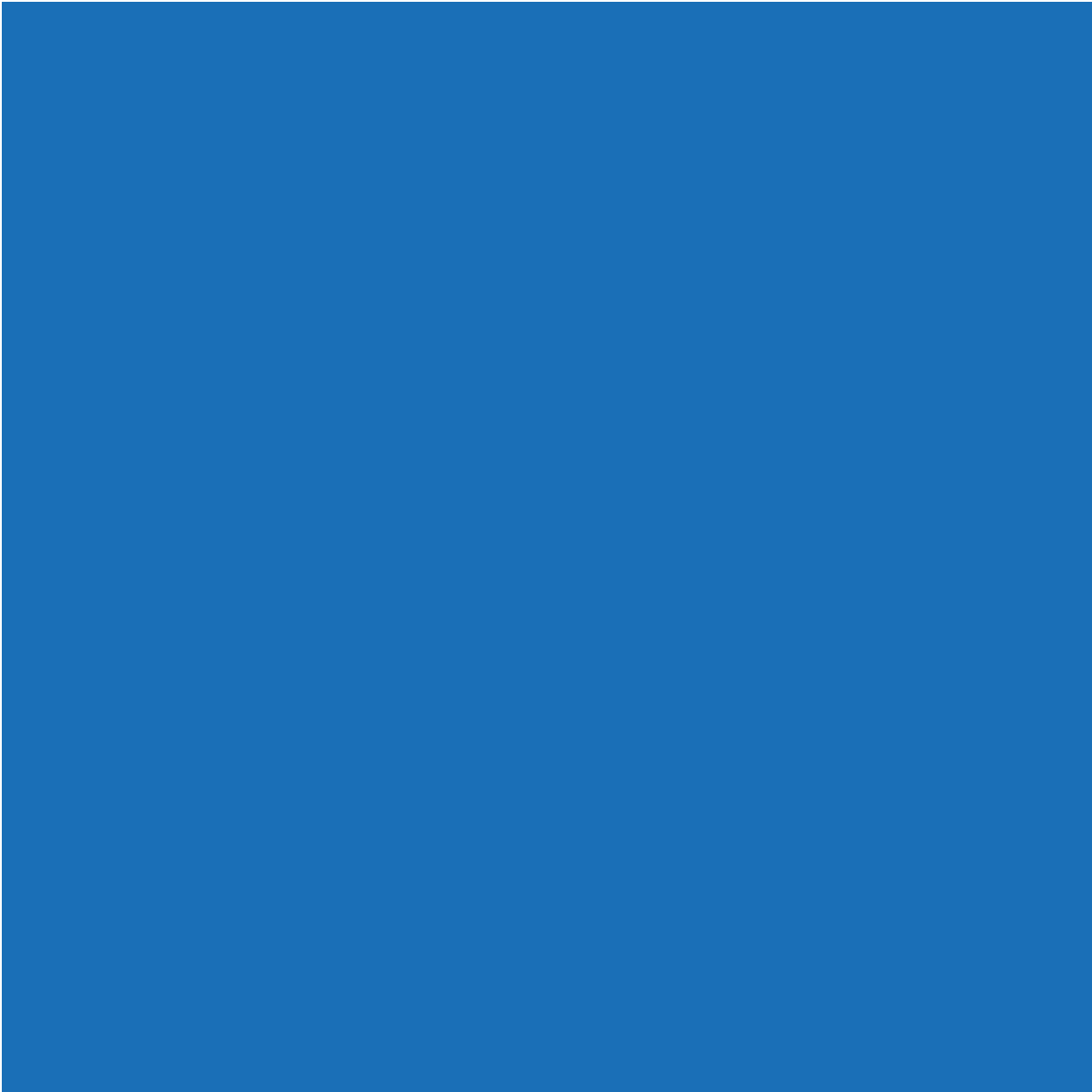
06.12.2021

## PROF. WEYRICH ZUM GMA-VORSITZENDEN GEWÄHLT



Bei der konstituierenden Sitzung des Beirats am 03.12.2021 wurde Prof. Weyrich für die Amtszeit ab 01.01.2022 auf drei Jahre zum Vorsitzenden des Vorstandes der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) gewählt. In der GMA bündeln der Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) und der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) die gemeinsamen Aktivitäten im Bereich Mess- und Automatisierungstechnik.





# INHALT



## FORSCHUNG

|  |    |
|--|----|
| FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE DES IAS 2021/22 | 13 |
| FORSCHUNGSTHEMEN                       | 18 |
| FORSCHUNGSPROJEKTE                     | 58 |
| DEMONSTRATOREN                         | 75 |
| PUBLIKATIONEN                          | 88 |



## LEHRE

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| LEHRE - ÜBERBLICK            | 95  |
| VORLESUNGEN / SEMINARE       | 96  |
| PRAKTIKA                     | 104 |
| ABGESCHLOSSENE ARBEITEN 2021 | 108 |
| PREISE 2021                  | 113 |



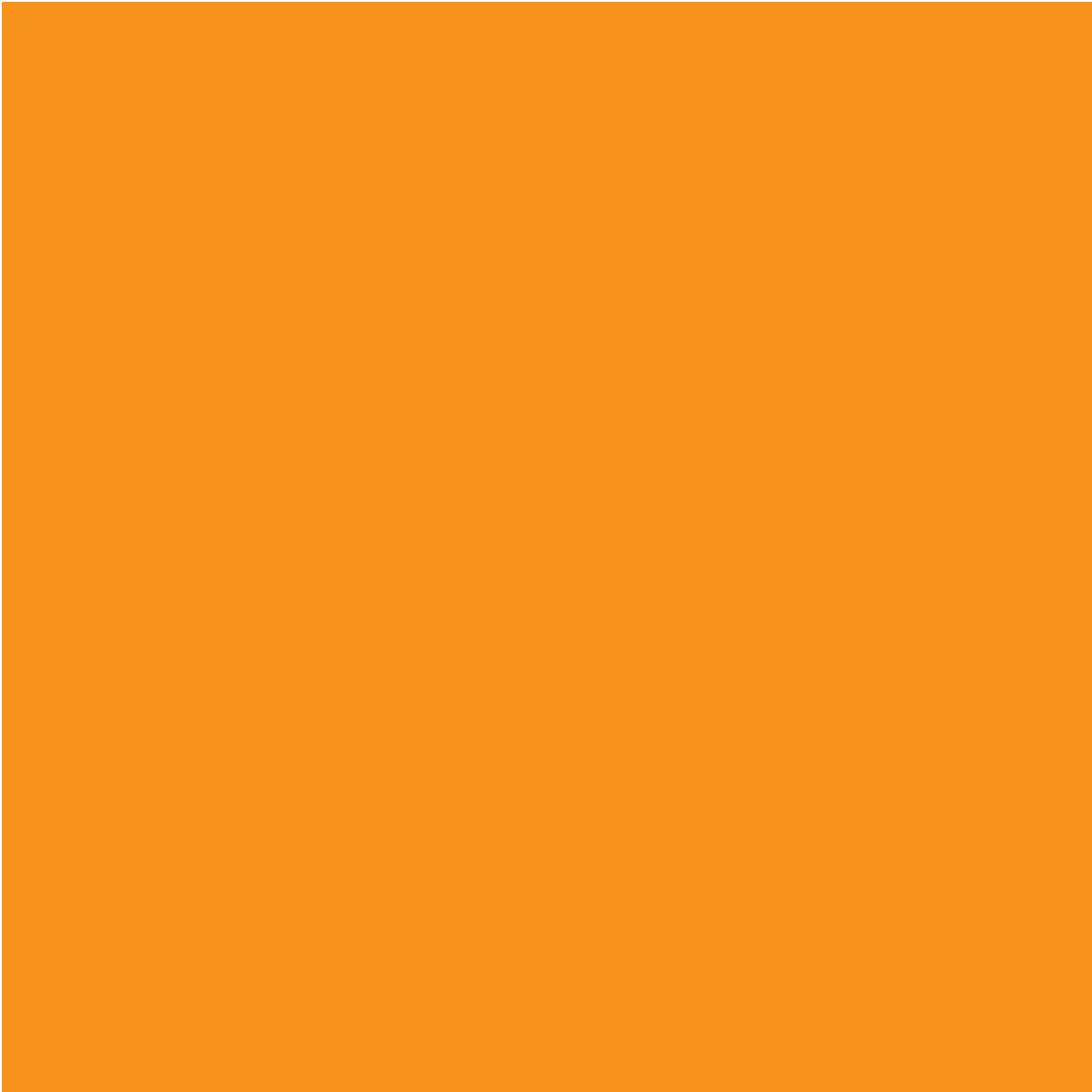
## IAS-AKTIONEN

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| ÜBERBLICK UND TRYSCIENCE         | 115 |
| SCHÜLER-INGENIEUR-AKADEMIE (SIA) | 116 |
| VFIAS-JAHRESVERSAMMLUNG          | 117 |



## GREMIEN UND MITARBEITENDE

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| GREMIEN                          | 119 |
| MITARBEITENDE UND IAS-MAKERSPACE | 122 |



# FORSCHUNG

## Unsere Mission

Das IAS erforscht Lösungen, um automatisierte Systeme, insbesondere deren Software, beherrschbar zu machen und Autonome Systeme auf Basis Künstlicher Intelligenz entstehen zu lassen. Dabei geht es um die Entwicklung, die Inbetriebnahme, den Betrieb, die Wartung und die Frage, wie diese mithilfe von Informationstechnologie effektiv, flexibel, wartbar und sicher gestaltet werden können.

Dazu setzen wir folgende Schwerpunkte:

- Komplexitätsbeherrschung in der Automatisierungstechnik
- Absicherung von Automatisierungssystemen und -komponenten
- Intelligente und lernende automatisierte und/oder Autonome Systeme

Neu hinzugekommen sind die Forschungen der Tenure-Track-Professur von Jun.-Prof. (Tenure-Track) Andrey Morozov im Bereich:

- Risikoanalyse und Anomalie Erkennung für vernetzte Automatisierungssysteme

Unser Motto: Wir lehren und leben, woran wir forschen. Dazu vermitteln wir grundlegende Methoden und praxisorientierte Kompetenzen aus IT, Automatisierung und Elektrotechnik. Wir führen Studierende an die Automatisierungstechnik und an Autonome Systeme heran, fördern den wissenschaftlichen Nachwuchs und qualifizieren im lebenslangen Lernen für die stetig wachsenden Herausforderungen.

## Bedeutung der Automatisierungstechnik

Die Automatisierungstechnik beschäftigt sich disziplinübergreifend mit der Automatisierung technischer Prozesse unterschiedlicher Domänen. In der heutigen Automatisierung spielen die Technologien und Ansätze wie Digitalisierung, Vernetzung und Intelligenz eine immer wichtigere Rolle. Die Automatisierungstechnik ist ein wesentlicher Schlüsselfaktor des Erfolgs moderner Industriestaaten.

Als wesentliches Novum entstehen derzeit Autonome Systeme, die zukünftig aufgrund von vernetzten Informationen und Künstlicher Intelligenz eine weitreichende und selbstständige Handlungsführung wahrnehmen. Es gilt nun, Methoden und Verfahren für solche Systeme zu erstellen.

Am IAS haben wir in diesem Jahr unsere Forschungsthemen und Projektarbeiten der Doktorandinnen und Doktoranden restrukturiert. Dazu haben wir aus projektspezifischen und organisationstechnischen Gründen fünf Teams gebildet, die von Prof. Weyrich, Jun.-Prof. Morozov und Dr. Jazdi angeleitet werden:

- Digitaler Zwilling für die Automatisierungstechnik
- Intelligente und lernende Automatisierungssysteme
- Komplexitätsbeherrschung in der Automatisierungstechnik
- Safety und Assistenzsysteme in der Automatisierungstechnik
- Risikoanalyse und Anomalie-Erkennung für vernetzte Automatisierungssysteme



## FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE DES IAS 2021/22

### Forschungsschwerpunkt Digitaler Zwilling für die Automatisierungstechnik

Team: Timo Müller, Florian Biesinger, Dominik Braun, Daniel Dittler,  
Golsa Ghasemi, Valentin Stegmaier, Yuchen Xia

Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt des IAS stellt der Digitale Zwilling für die Automatisierungstechnik dar. Das Team erforscht dabei sowohl aktuelle Fragestellungen, die die Weiterentwicklung des Konzepts des Digitalen Zwillings selbst vorantreiben, als auch Anwendungen, welche auf der Verwendung eines Digitalen Zwillings beruhen. Die konkreten Forschungsvorhaben umfassen dabei Themen wie die Erforschung einer Methodik zur Synchronisierung der Modelle des Digitalen Zwillings oder die automatisierte Generierung von Digitalen Zwillingen, um eine Digitalisierung von Brownfield Systemen zu erreichen, welche auf einer multi-dimensionalen Modellierung beruht.

Außerdem erforscht das IAS verschiedene Themen innerhalb dieses Forschungsschwerpunktes in Kooperation mit Industriepartnern wie z. B. Daimler, Siemens, BASF oder der Jochen Schmalz GmbH.

Ein Aushängeschild der IAS-Forschung im Bereich des Digitalen Zwillings stellt das Konzept und die dazugehörige Architektur dar. Die aktuellen Forschungsbemühungen zum Intelligenten Digitalen Zwilling beschäftigen sich dabei mit der Modellerweiterung und -adaption.

### Forschungsschwerpunkt Intelligente und lernende Automatisierungssysteme

Team: Simon Kamm, Maurice Artelt, Benjamin Maschler, Hannes Vietz

Innerhalb des Forschungsschwerpunktes der intelligenten und lernenden Automatisierungssysteme beschäftigt sich das Team mit aktuellen Fragestellungen in den Bereichen der Künstlichen Intelligenz und dynamischen Zuverlässigkeit mit dem Fokus auf Anwendungen für dezentrales und kooperatives maschinelles Lernen in der Automatisierung.

Konkrete Forschungsthemen am IAS beinhalten unter anderem die dynamische intelligente Zuverlässigkeitsbestimmung und -vorhersage und die Optimierung von Automatisierungssystemen mittels maschinellem Lernen. Desweiteren werden auch Softsensoren für vernetzte Automatisierungsarchitekturen und die Simulation von Autonomiekonzepten untersucht.

Die genannten Themen werden in Projekten mit Industriebezug erforscht, in denen neuartige Lösungen in enger Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten und Industriepartnern entwickelt werden, um aktuelle Durchbrüche im Bereich der Künstlichen Intelligenz und vor allem dem maschinellen Lernen in Anwendungen für Automatisierungssysteme zu nutzen.

## Forschungsschwerpunkt Komplexitätsbeherrschung in der Automatisierungstechnik

Team: Dustin White, Falk Dettinger, Tobias Jung, Matthias Weiß

Innerhalb des Forschungsschwerpunktes der Komplexitätsbeherrschung in der Automatisierungstechnik beschäftigt sich das Team mit aktuellen Fragestellungen in den Bereichen der Entwicklungsprozesse.

Aktuelle Forschungsthemen am IAS betreffen unter anderem die Untersuchung modellbasierter Entwicklungsprozesse, die dynamische Co-Simulation von Systemen im Kontext des Internets der Dinge, die Software und Vernetzung im Bereich des Antriebsstrangs elektrischer Fahrzeuge sowie der Entwicklung von softwaredefinierten Fahrzeugen der Zukunft.

Alle Projekte haben dabei gemein, dass komplexe Zusammenhänge zu Prozessen, Methoden oder Techniken weiterentwickelt, im Kontext der aktuellen Situation von Industrie und Wirtschaft erforscht und in Kooperation und Zusammenarbeit mit anderen Forschungsinstituten und Industriepartnern emergiert werden.

## Forschungsschwerpunkt Safety und Assistenzsysteme in der Automatisierungstechnik

Team: Nada Sahlab, Franz Georg Listl, Andreas Löcklin, Manuel Müller,  
Rainer Schiekhofer, Alexander Schuster, Iman Sonji

Der Forschungsschwerpunkt Safety und Assistenzsysteme in der Automatisierungstechnik beschäftigt sich mit Themen der Absicherung und dem Testen von hochautomatisierten bzw. automatisierten Systemen, die sich in dynamischen Umgebungen befinden. Hierbei ist das Ziel, den Systembetrieb innerhalb dynamischer Umgebungen durch Methoden der Künstlichen Intelligenz sowohl für Menschen als auch für andere Systeme sicher und zuverlässig zu machen.

Aktuelle Forschungsthemen in diesem Bereich sind unter anderem die Trajektorienvorhersage autonom fahrender Roboter, Ansätze zur kontinuierlichen Kontextmodellierung sowie die automatisierte Generierung von Testfällen für autonome Fahrzeuge.

Diese Themen werden praxisnah sowohl durch verschiedene Industrieprojekte als auch durch institutseigene Demonstratoren vorangetrieben.

### Forschungsschwerpunkt Risikoanalyse und Anomalie-Erkennung für vernetzte Automatisierungssysteme

Team: Sheng Ding, Tagir Fabarisov, Philipp Grimmeisen, Joachim Grimstad, Yuliang Ma

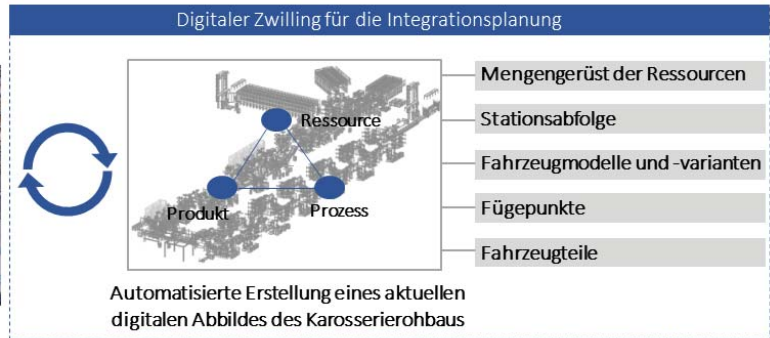
Innerhalb des Forschungsschwerpunktes der Risikoanalyse und Anomalie-Erkennung für vernetzte Automatisierungssysteme beschäftigt sich das Team mit aktuellen Fragestellungen in den Bereichen der Verlässlichkeit, Zuverlässigkeit, Anomalie-Erkennung und Wartung von komplexen und wandlungsfähigen technischen Systemen.

Aktuelle Forschungsthemen dieses Forschungsschwerpunktes beschäftigen sich unter anderem mit der automatisierten Risikoanalyse für Software-definierte Systeme, mit der auf deep-learning-basierten Anomalie-Erkennung in Cyber-physischen Systemen, der Fehlerinjektion und Fehlerfortpflanzung in Cyber-physischen Systemen sowie der risikobasierten Wartung von Fertigungsanlagen.

Dabei werden die Forschungsthemen in Kooperation mit Industriepartnern in Projekten wie SDM4FZI, SofDCar und SI4 erforscht. Die Forschungsthemen werden außerdem mithilfe institutseigener Demonstratoren weiter vorangetrieben.



Automobiler Karosserierohbau



Digitaler Zwilling zur Verbesserung der Datenqualität für die Integrationsplanung



## FORSCHUNGSTHEMA

### Digitaler Zwilling zur automatisierten Verbesserung der Datenqualität für die Integrationsplanung im Karosserierohbau

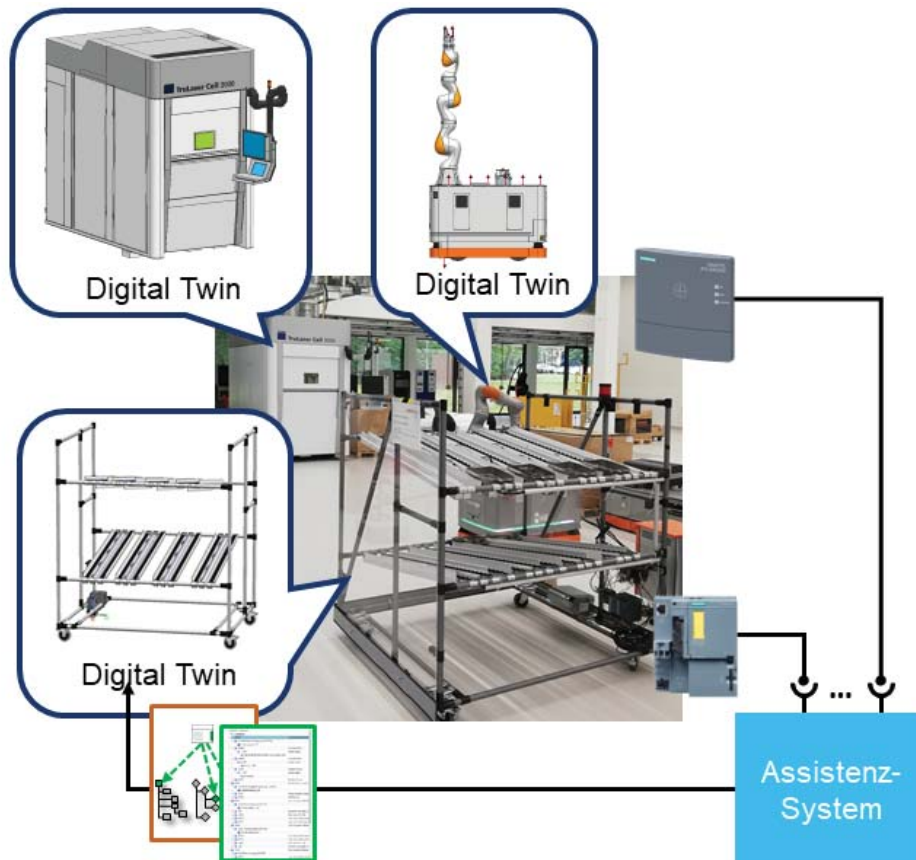
Bearbeiter: Florian Biesinger

Der Digitale Zwilling ist eine neue Technologie, um den Herausforderungen bei der Digitalisierung von Prozessen zu begegnen. Ein großes Anwendungsfeld, das enormes Potenzial für den Digitalen Zwilling ausweist, ist innerhalb der Automobilproduktion das kostenintensivste Gewerk mit der größten Eigenleistungstiefe der Wertschöpfungskette, der Karosserierohbau. Aufgrund der Größe und Komplexität eines Karosserierohbaus ist eine manuelle Datenpflege sehr zeitaufwendig, teuer und zudem fehleranfällig. Änderungen am Produktionssystem in Kombination mit mangelnder Pflege von Bestandsdaten und einer fehlenden Datenrückführung resultieren in einer ungenügenden Datenqualität von Bestandsinformationen zum Karosserierohbau. Diese mangelnde Datenqualität wiederum ist für die Planung einer Fahrzeugintegration in ein bestehendes Produktionssystem - in der Fachsprache „Integrationsplanung“ genannt - impraktikabel.

Um Transparenz im Karosserierohbau zu schaffen, wurde die Methodik eines Digitalen Zwillings zur automatisierten Verbesserung der Datenqualität für die Integrationsplanung im Karosserierohbau entwickelt. Hierfür wurde die Methodik nach dem Forschungsprozess des „Design Science Research“ konzipiert und am Beispiel des Karosserierohbaus im Unternehmen Mercedes-Benz AG verifiziert und evaluiert. Durch die entwickelte Systematik können relevante Informationen ausgewählt und der Planungsabteilung automatisiert zur Verfügung gestellt werden. Die Methodik setzt sich aus verschiedenen Methoden und Verfahren zusammen, die bereits im Rahmen der Forschung in mehreren Patenten und internationalen Fachpublikationen veröffentlicht wurden.

Zur Evaluierung der Methodik wurde eine Fallstudie durchgeführt, die drei unterschiedliche Szenarien umfasst. In der Fallstudie wird die Steigerung der Datenqualität in den Metriken „Vollständigkeit“ und „Aktualität“ nachgewiesen. Ebenso wird die Anwendung der entwickelten Methodik im komplexen Produktionssystem „Karosserierohbau“ verdeutlicht. Durch den Software-Demonstrator der Methodik gelingt es, Änderungen und Umbauten während des Anlagenlebenszyklus zu identifizieren und transparent darzustellen. Somit wird im komplexen Produktionssystem Karosserierohbau Transparenz für zukünftige Integrationsplanungen geschaffen. Durch die entwickelte Methodik eines Digitalen Zwillings kann somit die nächste Stufe im „Reifegradindex für Digitalisierung“ hin zur intelligenten Automatisierung basierend auf dem Digitalen Zwilling erreicht werden.

Weitere Details zur Methodik werden in Kürze als Dissertation veröffentlicht.



Flexibles Produktionssystem im Forschungscampus ARENA2036 (dient als Forschungsszenario)



## FORSCHUNGSTHEMA

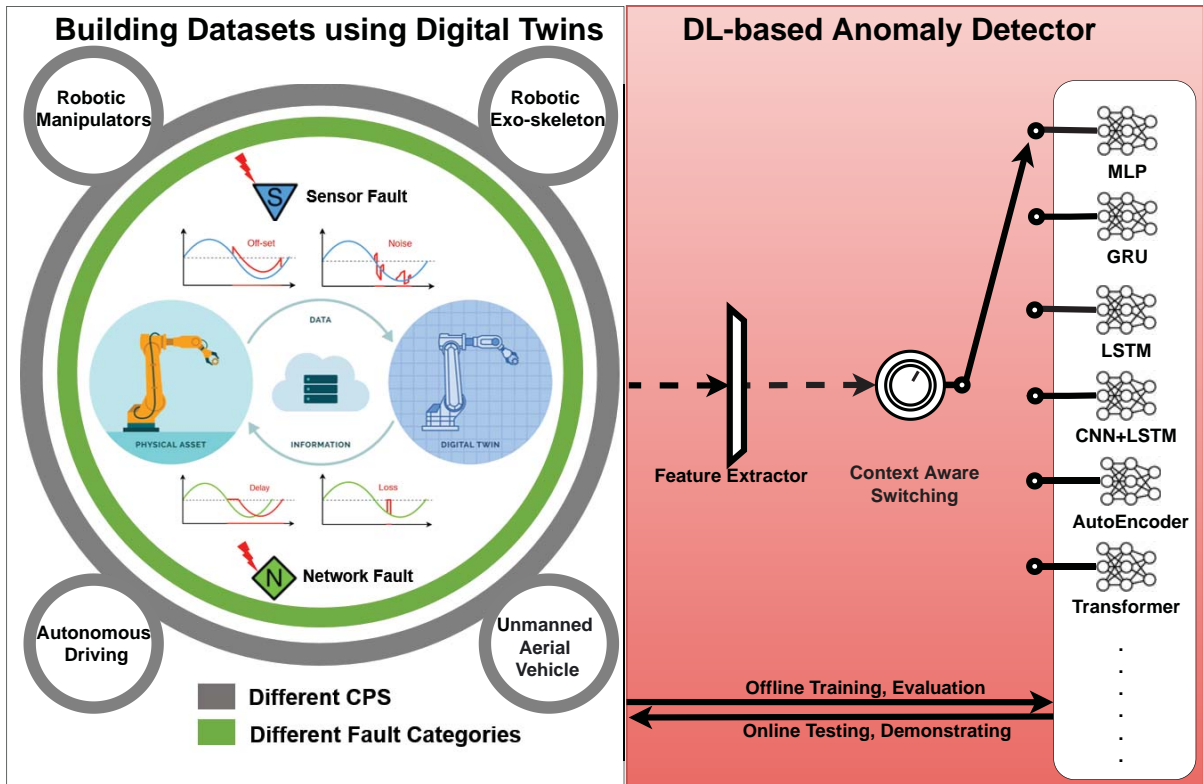
### Erstellung eines multi-disziplinären Digitalen Zwillings automatisierter, diskreter Brownfield-Anlagen

Bearbeiter: Dominik Braun

In der Industrie existieren bereits viele Produktionsanlagen, sogenannte Brownfield-Anlagen, für die jedoch kein Digitaler Zwilling vorliegt. Der Digitale Zwilling eines automatisierten Produktionssystems eröffnet verschiedene Vorteile vom Entwurf über den Betrieb bis zur Rekonfiguration beispielsweise in Form einer virtuellen Inbetriebnahme oder einer prädiktiven Wartung. Die individualisierte Massenproduktion als eine Ursache häufigerer Änderungen der Steuerungssoftware von Brownfield-Anlagen erhöht aktuell den Nutzen eines Digitalen Zwillings deutlich.

Die aufwendige Erstellung eines Digitalen Zwillings zur durchgehenden Digitalisierung steht daher zunehmend im Fokus von Anlagenmodernisierungen und -erweiterungen. Ein Digitaler Zwilling benötigt eine Vielzahl unterschiedlicher Modelle aus den Disziplinen Mechanik, Elektrik und Software, um das mechatronische System in allen Facetten zu beschreiben. Mindestens genauso wichtig und grundlegend sind die Abhängigkeiten und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Modellen und Komponenten. Diese sind schwierig in der Anlage zu erkennen, meist nicht dokumentiert und gerade für große automatisierte Industrieanlagen eine Herausforderung bei der Erstellung eines Digitalen Zwillings. Als Ausgangspunkt in dieser Forschung wird der SPS-Code und die SPS-Konfiguration verwendet, da diese stets bei manuellen Anlagenmodifikationen nachgezogen werden müssen. Dabei wird auf eine gezielte Beeinflussung des SPS-Codes zu Entwurfszeiten verzichtet, um die Anwendbarkeit der Methodik auf bestehende Anlagen zu gewähren. Die ermittelten Signalabhängigkeiten und funktionalen Gruppen werden anschließend um deren dynamische, zeitliche und abundante Eigenschaften aus den Anlagenprozessdaten ergänzt. Des Weiteren werden über die zeitlichen Korrelationen von Materialbewegungsdaten und Signalverläufen von Sensoren und Aktoren ungefähre Positionen dieser Komponenten quantifizieren.

Die daraus resultierende Struktur eines Digitalen Zwillings und seine Modellrelationen werden im Projekt „Flexible Produktionsanlage“ in der ARENA2036 evaluiert.



Deep learning basierte Fehlererkennung für Cyber-physische Systeme



## FORSCHUNGSTHEMA

### Deep learning basierte Fehlererkennung für Cyber-physische Systeme

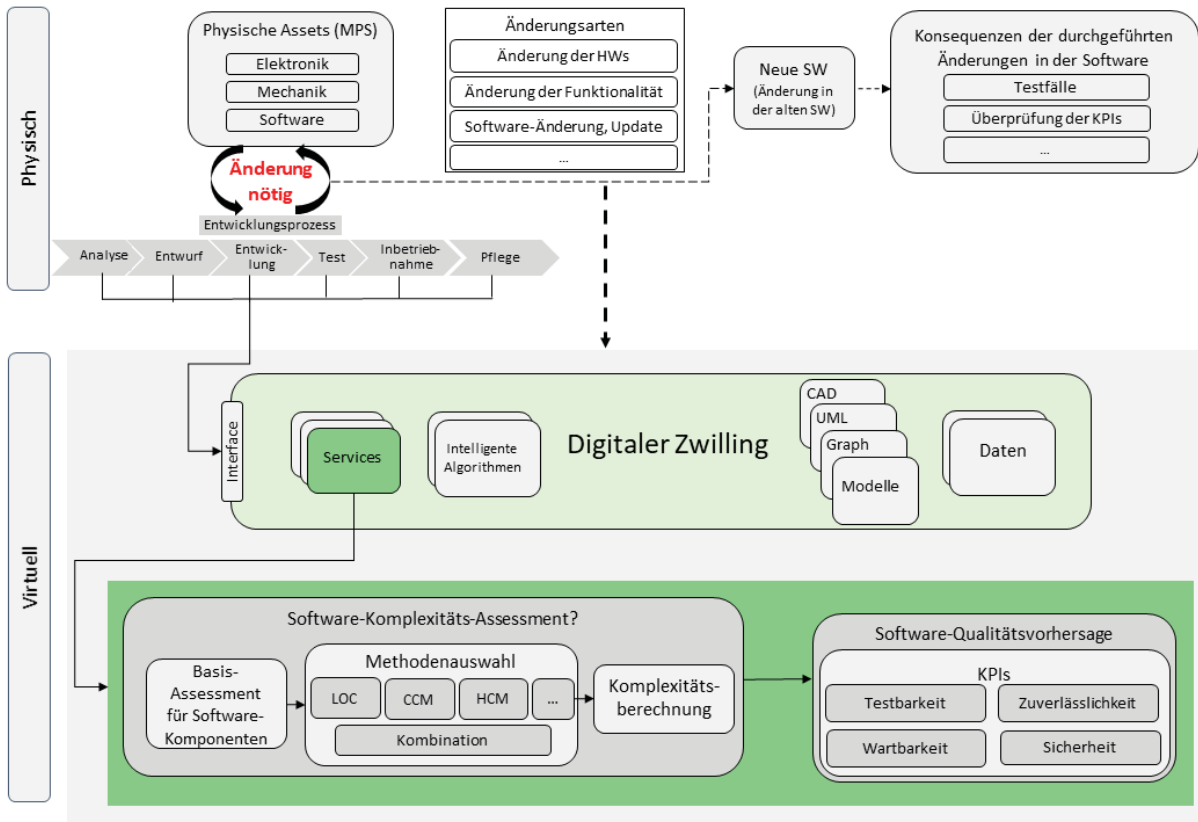
Bearbeiter: Sheng Ding

Die Erkennung von Anomalien ist ein bekanntes Konzept, das in einer Vielzahl von Bereichen, einschließlich der Systemtechnik, angewendet wird, um Fehler zu erkennen bzw. zu vermeiden. Angesichts der zunehmenden Verbesserung von Deep Learning (DL)-Ansätzen wird die Anwendbarkeit von DL-Techniken zur Fehlererkennung erforscht. In diesem Forschungsvorhaben wird daran gearbeitet, Zeitreihendatenverarbeitung und häufige CPS-Fehler zu konzentrieren. Dabei werden zunächst die Trainingsdaten mithilfe der Kombination von vorhandenen und eigenen Fehlerinjektionsmethoden und -werkzeugen generiert. Hierzu werden Daten mittels Simulation im Bereich vernetzter Automatisierungssysteme und Fehler mittels Injektion mit entsprechendem Label erzeugt. Damit die Methoden in die reale Welt umgesetzt werden können, werden reale Fallstudien betrachtet und z. B. dabei gemessene Signale mit der Simulation verglichen.

Die überwiegende Mehrheit der vorhandenen Forschung zur Erkennung von Anomalien berücksichtigt keine Echtzeit. Dies ist jedoch sehr wichtig, um ein CPS-System zu schützen. Einerseits soll daher die Online-Echtzeit-Messung und der Datenverkehr vom Host-System dokumentiert und evaluiert werden. Andererseits werden die Online-Echtzeit-Antwort durch Vergleich der Berechnungskosten verschiedener DL-Modelle erforscht.

In dem Vorhaben werden viele Arten von Methoden bzw. DL-Architekturen verglichen und integriert. Geeignete DL-basierte Fehlererkennungsansätze wie Vorhersage, Klassifizierung und Rekonstruktion werden verglichen. Das Training und die Evaluation der DL-Modelle erfolgen offline mit den gesammelten Datensätzen und umfasst drei Phasen. Zuerst werden verschiedene Netzwerktypen, z. B. MLP, CNN, LSTM / GRU, Autoen-Codierer und Transformatoren, sowie deren Struktur- und Hyper-Parameter untersucht und identifiziert. Anschließend wird die Leistung mit Genauigkeit und Geschwindigkeit verschiedener Modelle als Wissensbasis dokumentiert. Um die Genauigkeit zu verbessern, wird in der dritten Phase die dynamische Rekonfiguration erforscht. Ziel ist, eine DL-basierte Error Detektion mit Echtzeit-Reaktion und hoher Genauigkeit zu entwickeln.

Zur Demonstration des Konzepts wird die implementierte Methode online getestet. Die Ergebnisse sollen zeigen, dass die Fehler in Echtzeit erfolgreich erkannt werden können.



Konzeptioneller Ansatz zur Bewertung der Komplexität unter Verwendung des Digitalen Zwillings



## FORSCHUNGSTHEMA

### Entwicklung einer Methodik zur Beurteilung der Systemkomplexität und deren Auswirkungen auf die Verlässlichkeit im Lebenszyklus von modularen und verteilten Automatisierungssystemen

Bearbeiterin: Golsa Ghasemi

In Anbetracht des zunehmenden Wettbewerbs in der Industrie und des rasanten Fortschritts in der Informationstechnologie führen Paradigmen wie hohe Produktionsvariabilität, Marktunsicherheit und dynamische Umweltbedingungen zu einer Evolution der Fertigungssysteme. Diese nutzen die digitale Transformation, um deren Effizienz zu verbessern und ein hohes Maß an Flexibilität zu erreichen. All diese Faktoren führen zu einer zunehmenden Komplexität, die einen hohen Aufwand erfordern, um Systeme erfolgreich zu verwalten. Im Hinblick auf diese schrittweisen Veränderungen steht der Fertigungssektor vor zwei großen Herausforderungen: zum einen die Heterogenität und zum anderen das dynamische Verhalten der Systeme, die die Hauptaspekte der Komplexität von Produktionssystemen darstellen. Um unnötige Kosten zu vermeiden und Systeme trotz steigender Komplexität zukünftig diagnostizierbar und effizient zu entwickeln, muss die Komplexität zunächst quantifizieren und anschließend verwalten.

Der Schwerpunkt der Forschungsarbeit liegt aktuell auf der empirischen Analyse der Komplexitätsaspekte eines modularen Produktionssystems. Mithilfe einer Simulation werden die Auswirkungen der Komplexität in den einzelnen Lebenszyklusphasen auf die KPIs des Systems gezeigt.

Dabei kann die Nutzung eines Digitalen Zwillings vielversprechend sein, um z. B. über Modelle für verschiedene Fähigkeiten oder Services Rückschlüsse auf die Komplexität zu ziehen.







## FORSCHUNGSTHEMA

### Dynamische Co-Simulation von heterogenen Internet-der-Dinge-Systemen

Bearbeiter: Tobias Jung

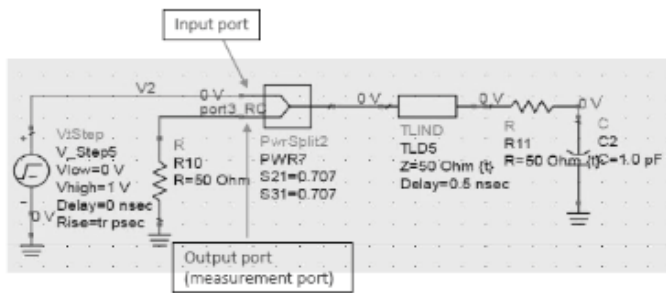
Ein bedeutender Bestandteil des Digitalen Zwillings ist eine Simulation, die parallel zum Betrieb des realen Systems ausgeführt werden kann. Hierdurch ergeben sich eine Vielzahl von Anwendungsfällen, unter anderem Optimierung zur Laufzeit, Entscheidungsunterstützung und Predictive Maintenance. Bei Internet-der-Dinge-Systemen ergeben sich hier allerdings die Herausforderungen der Heterogenität (Systemkomponenten kommen aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen und verwenden unterschiedliche Betriebssysteme etc.) und einer erhöhten Dynamik, da diese Komponenten ständig in ein bestehendes System ein- oder austreten oder ihre Vernetzungsstruktur ändern.

Aufgrund der hohen Heterogenität und Dynamik ist es nicht mehr möglich, die Simulation des Systems in einer Simulation abzuwickeln und eine Co-Simulation wird unumgänglich. Zusätzlich muss es möglich sein, zur Simulationszeit neue Teilsimulationen der Gesamtsimulation hinzuzufügen, ohne diese zu pausieren. Daher wird jede Komponente separat in einem Teilmodell modelliert, wodurch für jede Komponente ein geeignetes Modellierungskonzept verwendet werden kann, welches die notwendigen Aspekte der Komponente in der notwendigen Detaillierung modelliert. Diese Teilmodelle werden jeweils durch einen Agenten vertreten, welcher sich dann dynamisch zu einem Agentensystem und somit zu einem Gesamtmodell des zu modellierenden Systems dynamisch zur Laufzeit zusammenschließen kann und als Agentensystem die Kommunikationsschnittstelle für die Kommunikation zwischen den einzelnen Teilmodellen bietet.

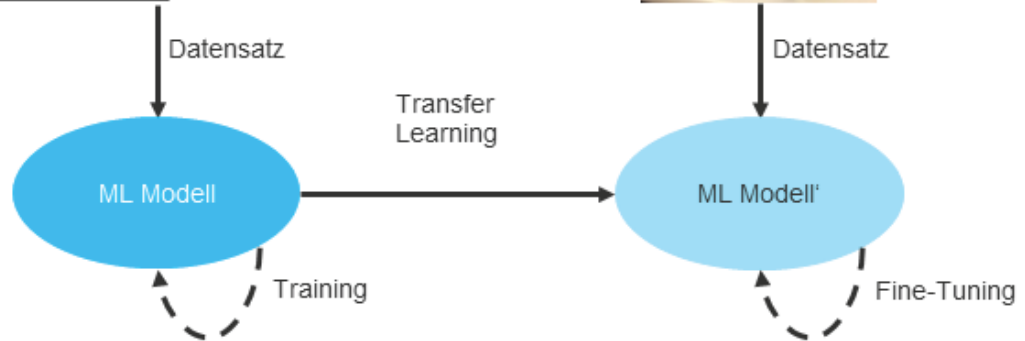
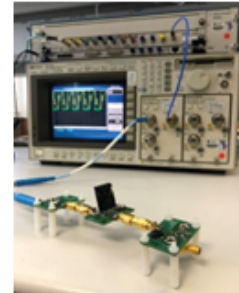
Darüber hinaus müssen die Interaktionen zwischen den einzelnen IoT-Komponenten simuliert werden, sowohl hinsichtlich kommunikationsorientierter (Simulation von beispielsweise WiFi oder Bluetooth) als auch prozessorientierter (Simulation der physikalischen Prozesse) Interaktionen. Zu diesem Konzept entstand im letzten Jahr ein Demonstrator am IAS, welcher ein automatisiertes Warenlager simuliert. Hierbei wird die Umgebung in Unity, die Kommunikation über WiFi in OMNet++ und die einzelnen Komponenten wie Gabelstapler, Wareneingang oder Klimaregelung in MATLAB Simulink und AnyLogic simuliert.

Zu diesem Thema entstand auch die Dissertation von Herrn Jung, welche kurz vor der Abgabe steht.

Entwickelter Simulationsaufbau



Messaufbau



Transfer Learning von Simulations - auf Realdaten für die Fehleranalyse eines Transistors



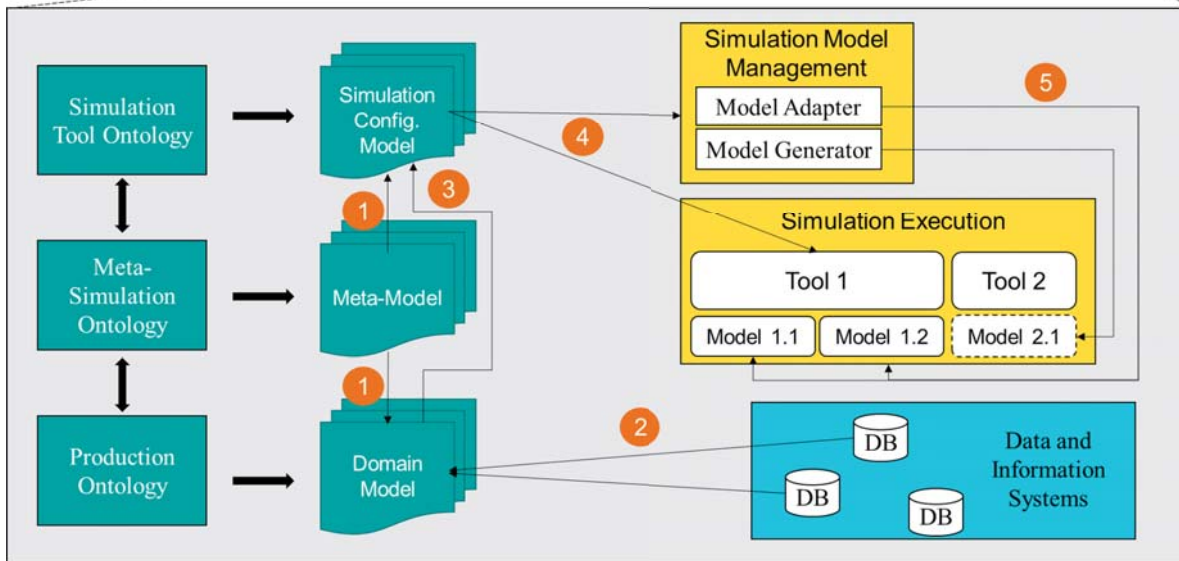
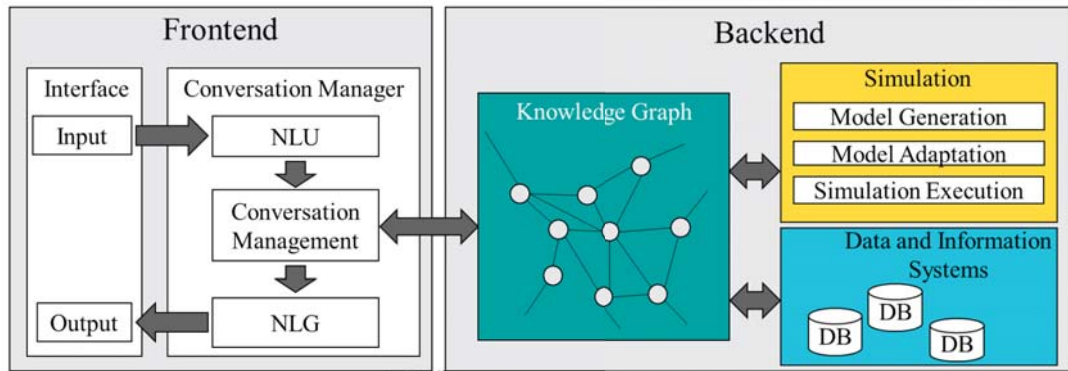
## FORSCHUNGSTHEMA

### Analyse heterogener Daten mithilfe von KI-Methoden für robuste Entscheidungen

Bearbeiter: Simon Kamm

Um die Qualität und Zuverlässigkeit eines Produktes zu verbessern und neue Erkenntnisse über das Verhalten eines Produktes oder Systems zu erhalten, ist es notwendig, im Betrieb auftretende Fehler zu detektieren, zu diagnostizieren und zu analysieren. Dies ist in komplexen Bauteilen (z. B. elektronische Bauteile und Komponenten) eine immer größere Herausforderung, da diese Bauteile immer komplexer werden und immer mehr Funktionalität auf weniger Fläche integriert ist. Ein Fehler in einem derart komplexen Bauteil ist aufgrund der Vielzahl von möglichen Fehlerursachen vielschichtig zu analysieren. Dennoch soll ein aufgetretener Fehler möglichst genau bestimmt, lokalisiert und analysiert werden können. Dafür stehen Daten von unterschiedlichen Datenquellen bereit, wodurch die vorhandenen Messdaten heterogen und häufig unstrukturiert sind. Das bringt einige Herausforderungen für das Datenmanagement und die nachfolgende Datenanalyse mit sich. Herausforderungen sind dabei unter anderem die hohe Komplexität der Daten und ihrer Relationen sowie häufig Datensilos, in denen Daten unstrukturiert vorliegen. Zudem müssen diese heterogenen Daten analysiert werden, um den Fehler genauer zu analysieren, da dieser Schritt manuell sehr aufwendig ist und hohes Expertenwissen benötigt.

Um diese Herausforderungen zu meistern, soll ein Konzept zur Analyse heterogener Daten mithilfe von KI-Methoden unter der Nutzung von vorhandenem Wissen (z. B. Expertenwissen oder Simulationsmodelle) entwickelt und untersucht werden, um robuste Entscheidungen hinsichtlich der Fehleranalyse und -diagnose zu treffen. Dafür sind unterschiedliche Bestandteile notwendig. Es können formale und semantische Beschreibungen für die Datenintegration aufgesetzt werden, die in einer Wissensbasis (z. B. Ontologie) realisiert werden. Graphen wie ein Knowledge Graph können daraufhin eingesetzt werden, um die vorhandenen Wissensbasen zu instanzieren, zu verknüpfen und zu strukturieren. Für eine möglichst robuste Datenanalyse soll vorhandenes Wissen (z. B. Simulationsmodelle) in die datenbasierten KI-Methoden einfließen, um neuartige hybride Modelle aufzubauen. Vorhandene Verfahren wie Ensemble oder Transfer Learning sollen dafür auf ihre Tauglichkeit und Erweiterbarkeit hinsichtlich hybrider Modelle untersucht werden.



Architektur zu Darstellung und Aufbereitung von Simulationswissen innerhalb eines intelligenten virtuellen Assistenten für den Anlagenbetrieb



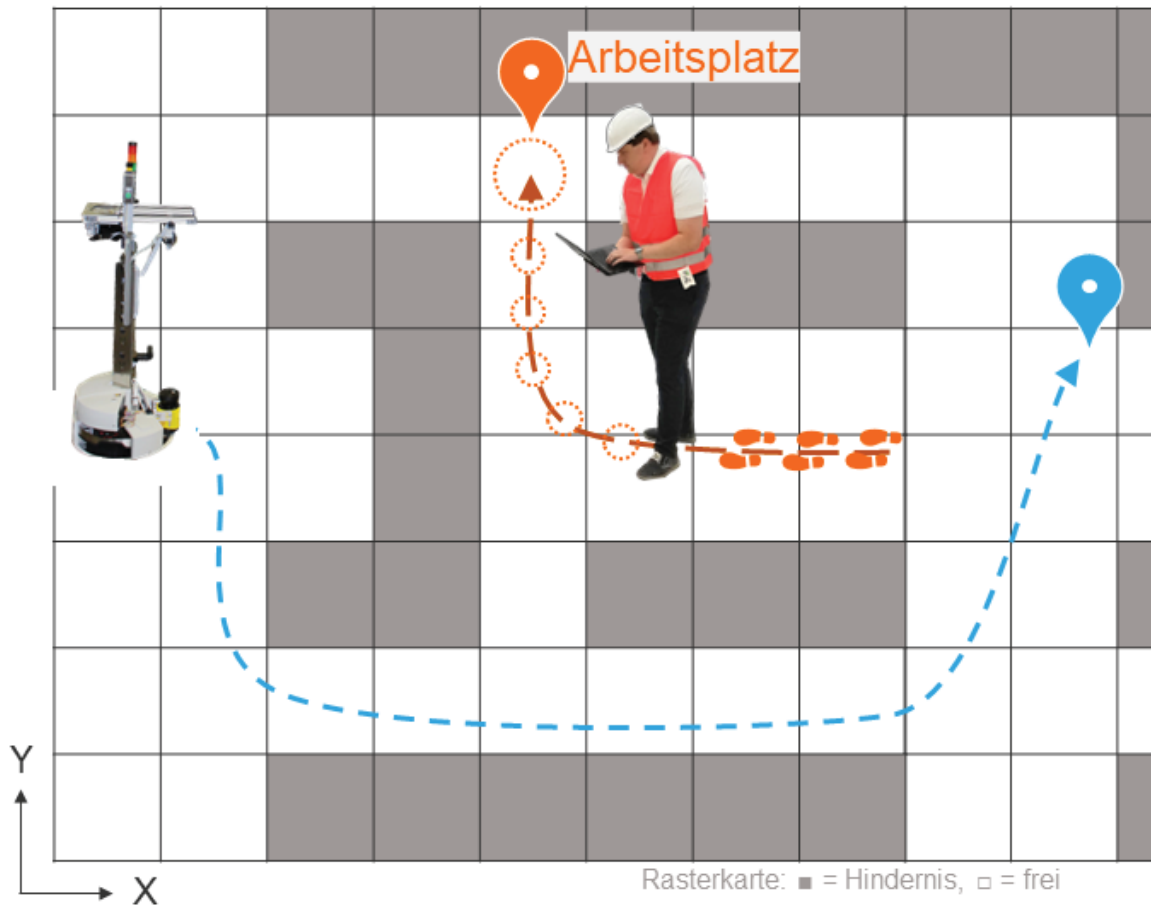
## FORSCHUNGSTHEMA

### Simulations-basierte Assistenten für den Anlagenbetrieb

Bearbeiter: Franz Georg Listl

Intelligente virtuelle Assistenten wie Alexa, Siri und Co. und die Vorteile, die sie mit sich bringen, sind mittlerweile aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Dennoch wurde die Entwicklung dieser persönlichen Assistenten im Produktionsbereich bisher nur in geringem Umfang genutzt, so dass sich die Fähigkeiten der persönlichen Assistenten meist nur auf sehr simple Aufgaben beschränken. Gleichzeitig sind Simulationen längst ein unverzichtbares technologisches Werkzeug für die erfolgreiche Umsetzung der digitalen Fertigung. Dabei wird die Simulation in Produktionssystemen vor allem in der Planungsphase verwendet, während die Nutzung während des Betriebs als noch sehr gering eingeschätzt wird. Dies liegt vor allem daran, dass die Entwicklung dieser spezifischen und meist auf ein konkretes Problem zugeschnittenen Simulationsmodelle sehr umfangreich ist und Domänen-Experten und Simulation-Ingenieuren obliegt.

Zur Bewältigung dieser Herausforderungen soll ein Konzept für ein Betriebsassistenzsystem entwickelt werden, welches unterschiedliche Anwendungsgruppen, die am Betrieb einer Anlage oder Fabrik beteiligt sind, bei der Entscheidungsfindung für ein konkretes Problem durch Ausführung geeigneter Simulationen unterstützt. Dafür sind unter anderem die Aufbereitung und Darstellung des Simulationswissens in einem Knowledge Graph und die automatische Identifizierung und Parametrierung geeigneter Daten und Simulationen zur Beantwortung spezifischer Fragestellungen notwendig. Das Konzept dieser Aufbereitung umfasst fünf Schritte. Zuerst wird über ein Mapping von einem Szenarien-basierten Meta-Modell auf ein spezifisches Simulationstool sowie die benötigten Daten der Produktion geschlossen. Anschließend können diese Daten innerhalb eines Domänenmodells in Relation zueinander gesetzt werden. Über das Domänenmodell wird in einem weiteren Schritt auf konkrete Klassen innerhalb der Simulation Tool Ontologie geschlossen und so bereits ein abstraktes Simulationsmodell dargestellt. Im vierten und fünften Schritt kann dieses Simulationsmodell nun in einem konkreten Tool generiert und ausgeführt werden.



Roboter berücksichtigt bei der eigenen Trajektorienplanung auch zukünftige, vorhergesagte Positionen von Menschen



## FORSCHUNGSTHEMA

### Methodik zur modularen und datensensitiven Trajektorienvorhersage autonomer Einheiten

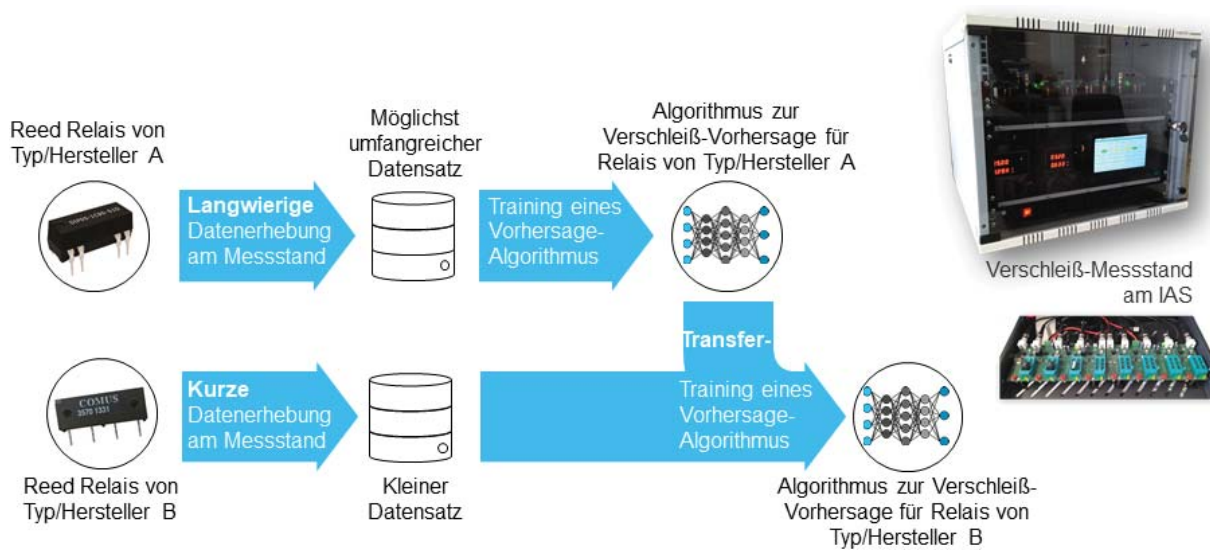
Bearbeiter: Andreas Löcklin

In der Produktion werden immer mehr mobile Roboter zum automatisierten Transport von Waren und Werkzeugen eingesetzt. Sogenannte Automated Guided Vehicle (AGV) oder Autonomous Mobile Robots (AMR) können bestehende Verkehrsflächen gemeinsam mit Menschen nutzen und stellen eine smarte, einfach zu integrierende Automatisierungsmöglichkeit dar. Um ein sicheres Miteinander zwischen Menschen und Maschinen zu gewährleisten, müssen solche Roboter - obwohl diese meist deutlich schneller könnten - sehr langsam fahren. Dadurch ist der Transportdurchsatz solcher Systeme nicht mit klassischen Förderbändern vergleichbar.

Es wird daher an Methoden zur Verbesserung des Erfassungsbereichs und Sichtweite solcher Roboter geforscht. Durch bessere Fähigkeiten zur Antizipation können höhere Roboter-Geschwindigkeiten und weniger Staus erreicht werden. Dabei reicht für eine sichere und reibungslose Intralogistik die Berücksichtigung von rein statischen Hindernissen durch die Roboter nicht aus. Stattdessen müssen auch die aktuellen sowie zukünftigen Positionen von anderen aktiven Verkehrsteilnehmern einkalkuliert werden. Eine besondere Herausforderung ist dabei der Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration, da Menschen autonom handeln und ihre Absichten nicht digitalisiert vorliegen.

Während Roboter für die Eigenlokalisierung und grundsätzliche Kollisionsvermeidung meist Laserscanner und SLAM-Algorithmen nutzen, wird zusätzliche Sensorik zur Lokalisierung von Menschen eingesetzt. Die darauf aufbauende Methodik zur modularen und datensensitiven Trajektorienvorhersage dient der Vorhersage zukünftiger Positionen von Menschen. Für eine automatisierte Vorhersage mit großem Vorhersagehorizont im Sekundenbereich muss die aktuelle Situation bestmöglich nachvollzogen und interpretiert werden. Dabei können unterschiedlichste Informationen und Daten entscheidend sein, um präzise Vorhersagen zu ermöglichen. Die angestrebte Methodik verknüpft dabei verschiedenste Ansätze zur Trajektorienvorhersage und wählt je nach verfügbaren Daten den am besten geeigneten Ansatz aus. So reichen Positionsdaten bereits aus, um einfache Vorhersagen zu erstellen. Mit zusätzlichen Kartendaten oder gar dem Wissen um aktuell in Bearbeitung stehende Aufträge können weiterführende Modellierungsansätze genutzt werden. Mit zusätzlichen Daten können Fragen automatisiert nach dem Grund einer Bewegung analysiert und entsprechend bei der Vorhersage berücksichtigt werden.





Beispiel-Anwendung für industrielles Transfer-Lernen:  
 Verschleißvorhersage für Reed-Relais über verschiedene Typen/Hersteller hinweg



## FORSCHUNGSTHEMA

### Industrielles Transfer-Lernen

Bearbeiter: Benjamin Maschler

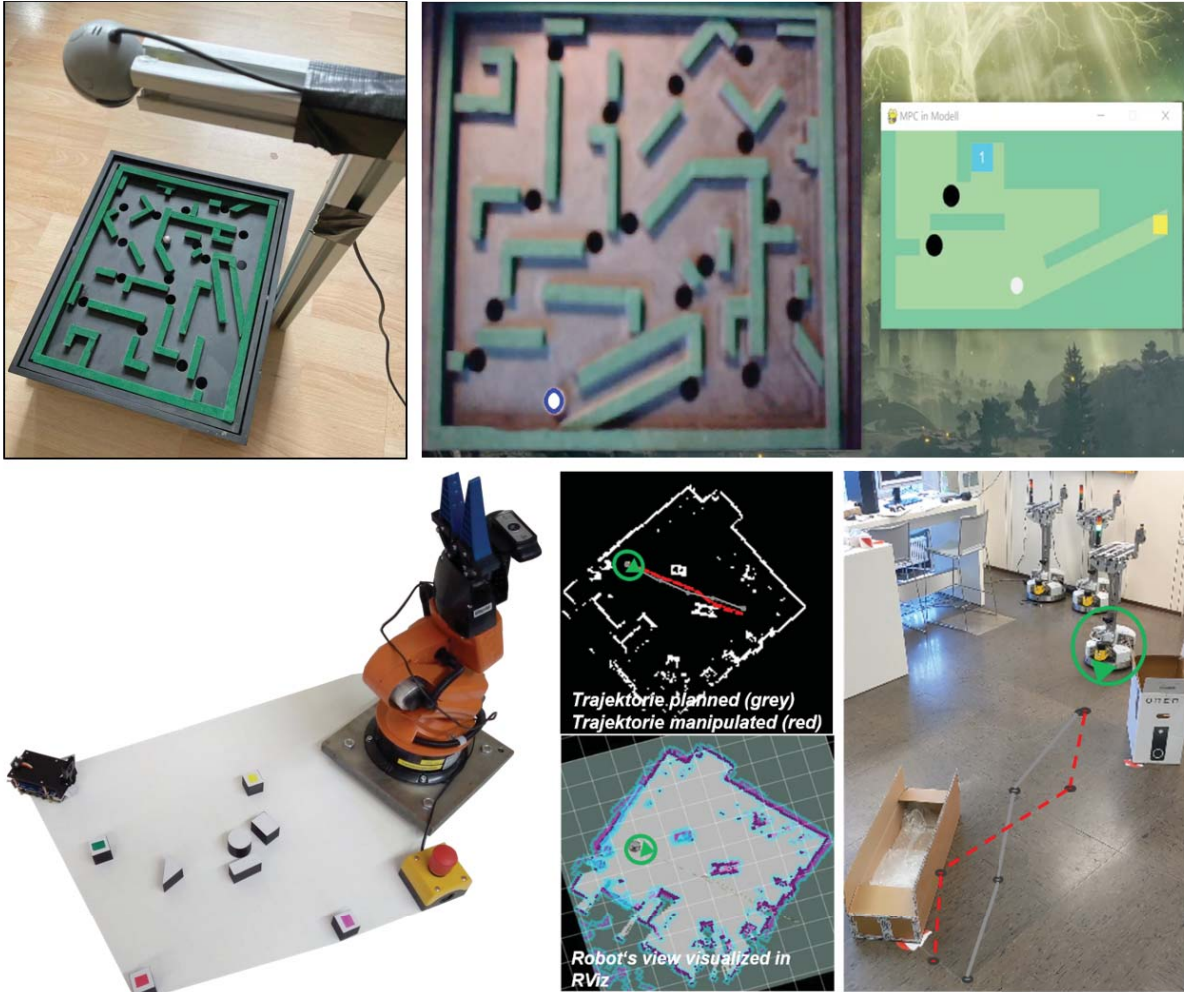
Industrielles Transfer-Lernen verspricht die Lösung vieler Probleme in Entwurf, Betrieb und Rekonfiguration automatisierter Systeme. Ein Vorteil solcher Lösungen wäre, dass sie datenbasiert erfolgen und damit deutlich weniger Anpassungen durch menschliche Experten benötigen.

Demgegenüber stoßen konventionelle Methoden des Deep Learnings, also des maschinellen Lernens mittels mehrschichtiger neuronaler Netze, bei den in der Industrie üblichen vielfach kleinen Trainingsdatensätze und dynamischen Probleme schnell an ihre Grenzen - trotz ihrer durch eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien belegten großen Potentiale. Der Vergleich mit „natürlicher Intelligenz“ zeigt jedoch: Menschen lernen besser, wenn sie auf Vorwissen aufbauen können. Mittels eines Wissenstransfers zwischen Algorithmen könnte also auch Maschinen robustes und effizientes Deep Learning über verschiedene Standorte, Lebenszyklusphasen oder Nutzungsszenarien hinweg ermöglicht werden.

Diesem Ansatz folgend wird unter dem Oberbegriff des Transfer-Lernens versucht, möglichst viel Wissen zwischen verschiedenen Algorithmen und Anwendungsfällen zu transferieren, um die Anforderungen an problem-spezifische Datensätze sowie den Aufwand für regelmäßige Aktualisierungen zu reduzieren. Derartige Algorithmen existieren dabei in Ansätzen vielfach bereits heute, die Herausforderung liegt jedoch in ihrer Anpassung an die in Produktivumgebungen herrschenden Rahmenbedingungen, wie bspw. mangelnde Daten, deren berechtigter, hoher Schutz oder zu große Problem-Dynamiken.

Diesen besonderen Bedingungen trägt die am IAS erstellte Architektur für industrielles Transfer-Lernen Rechnung: ein modularer, mehrstufiger Lernalgorithmus erlaubt datensparsames Lernen auf heterogenen Datenbasen über verschiedene Anwendungsfälle hinweg. Anpassungen sind dabei einfach und mit geringem Rechenaufwand realisierbar, um auch in der Peripherie ausgeführt werden zu können. Eine Evaluierung auf unterschiedlichen, Industrie-typischen Problemen ergab signifikante Verbesserungen gegenüber konventionellen Ansätzen.

Die Dissertation zu diesem Thema befindet sich in der Endphase und wird Anfang 2022 zum Abschluss kommen.



Demonstratoren zur Erforschung situationsbezogener Risikoabschätzung Autonomer Systeme



## FORSCHUNGSTHEMA

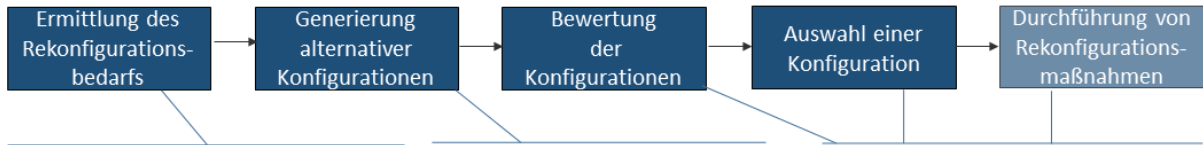
### Situationsbezogene Risikoabschätzung Autonomer Systeme während des Betriebs

Bearbeiter: Manuel Müller

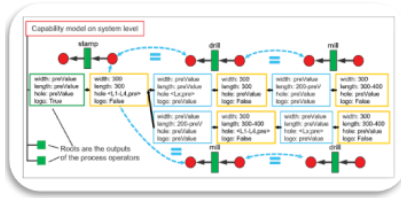
Bereits verfügbare hochautomatisierte Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie in weiten Bereichen hervorragend funktionieren, in manchen Situationen jedoch scheitern. Um die nächsten Stufen der Autonomie erreichen zu können, müssen diese Systeme eigenständig einschätzen können, wie gut sie mit der aktuellen Situation umgehen können, d. h. wie hoch das aktuelle, situationsbezogene Risiko ist. Deshalb stellt sich hier die Frage, wie hochautomatisierte System oder sogar Autonome Systeme das situationsbezogene Risiko zur Laufzeit abschätzen können.

Um diese Fragestellung zu adressieren, wird ein Ansatz basierend auf Multi-Agent Adversarial Reinforcement Learning erforscht. Bei diesem Ansatz wetteifern zwei Agenten mit widersprüchlichen Zielen um die Kontrolle des Systems. Dabei agiert die eine Partei als Fehlerinjektor, während die andere Partei versucht, diese Fehler zu kompensieren. In einer anschließenden What-If-Simulation wird die resultierende Handlung des Systems anschließend prognostiziert. So kann eine Aussage über die Sicherheit der entsprechenden Handlung getroffen werden. Dabei wird die Stärke der Agenten durch die situationsbezogenen Randbedingungen bestimmt. Eine Synchronisation garantiert die Zuverlässigkeit der Simulationsergebnisse.

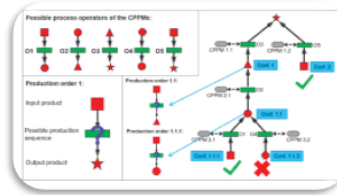
Konkret wird diese Fragestellung an drei Modellprozessen erforscht: einer autonomen Logistikeinheit Robotino, einem Roboterarm Youbot und dem automatisierten Kugellabyrinth. Die Abbildung visualisiert diese Demonstratoren. Hier gilt es, die geplanten Trajektorien sicherheitstechnisch zu bewerten. Dazu werden mögliche Wahrnehmungslücken - verursacht z. B. durch ein Hindernis oder durch Signalstörungen - ermittelt, mithilfe der Reinforcement Learning Agenten eine Worst-Case-Abweichung berechnet und davon ausgehend das Risiko abgeschätzt.



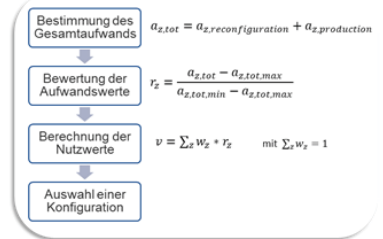
### Fähigkeitsmodell



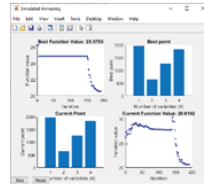
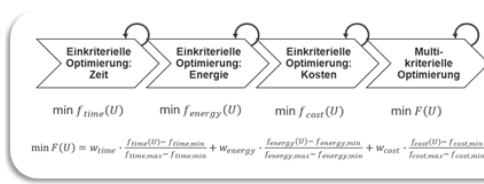
### Ermittlung aller alternativen Systemkonfigurationen



### Cost-utility analysis



### Simulationsbasierte multikriterielle Optimierung



### Geeignete Konfiguration



Selbstorganisiertes Rekonfigurationsmanagement von Produktionssystemen



## FORSCHUNGSTHEMA

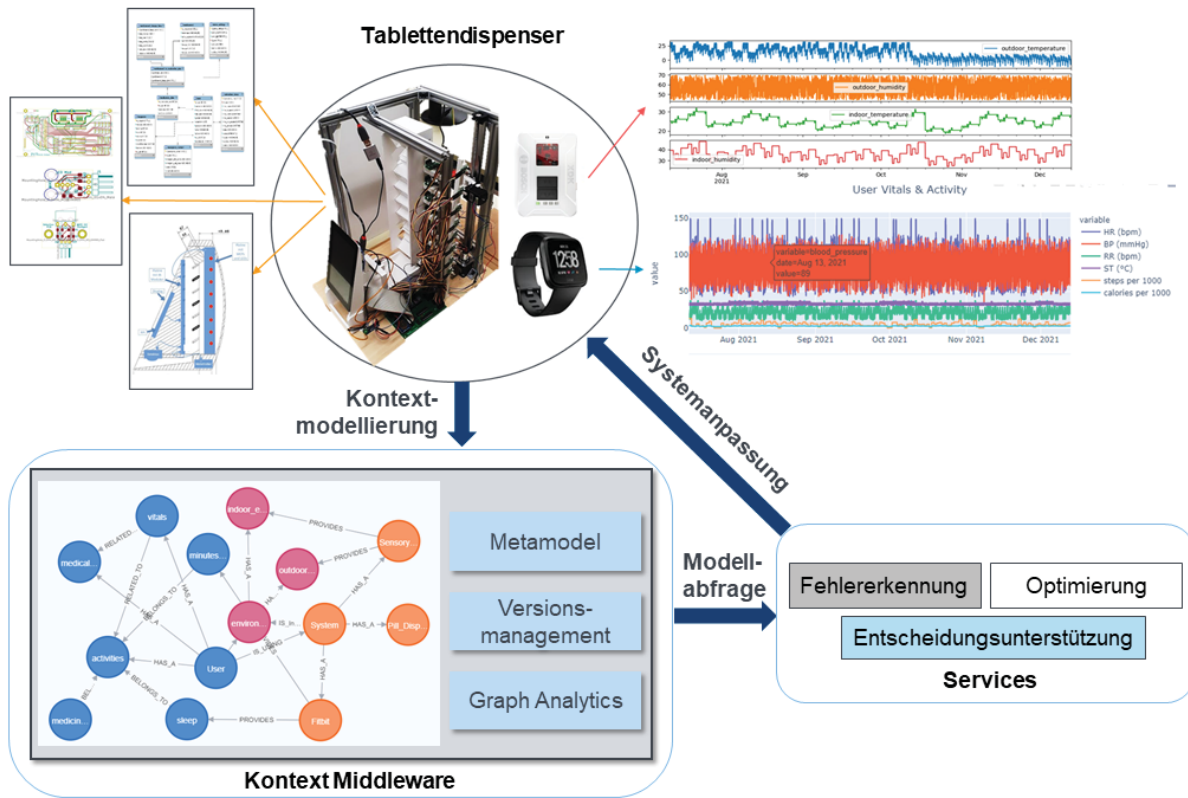
### Selbstorganisiertes Rekonfigurationsmanagement von Produktionssystemen

Bearbeiter: Timo Müller

Die Häufigkeit von Änderungen der Produktionsanforderungen nimmt aufgrund wirtschaftlicher Volatilität, kürzerer Innovationszyklen und Produktlebenszyklen kontinuierlich zu. Daher ist eine Vorhersage aller möglichen Ziele eines Produktionssystems zur Entwurfszeit unmöglich und es ergibt sich ein erhöhter Rekonfigurationsbedarf zur Betriebszeit. Die Rekonfiguration geschieht heutzutage im Rahmen von einem zeitaufwendigen und fehleranfälligen Prozess, der größtenteils individuell und manuell durchgeführt wird. Weiterhin führt die Abhängigkeit des Rekonfigurations-Findungs-Prozesses von der Erfahrung des Menschen dazu, dass nur eine Teilmenge der möglichen Lösungen betrachtet wird und diese auch nicht anhand von objektiven Kriterien ausgewählt wird. Daher ergibt sich die Forschungsfrage: Wie können Produktionssysteme um die Fähigkeit eines selbstorganisierten Rekonfigurationsmanagements bereichert werden?

Die definierte Methodik basiert dabei zunächst auf einer Modellierung nach der formalisierten Prozessbeschreibung. Zunächst wird die Ermittlung des Rekonfigurationsbedarfs unter Verwendung des Fähigkeitsmodells durchgeführt. Sobald diese aufzeigt, dass eine Rekonfiguration vonnöten ist, wird die Rekonfigurationsplanung bestehend aus der Generierung alternativer Konfigurationen, der Bewertung der Konfigurationen und der Auswahl einer Konfiguration durchgeführt.

Bei der Ermittlung aller alternativen Systemkonfigurationen wird der Lösungsraum systematisch in einem dezentralen, parallelisierbaren Verfahren aufgespannt, an welches sich eine simulationsbasierte multikriterielle Optimierung anschließt. Diese realisiert z. B. durch die Anwendung der Methode der gewichteten Summe in Verbindung mit einem Simulated Annealing-Algorithmus eine Multiple Objective Decision Making (MODM)-Methode. Anschließend werden die optimierten Systemkonfigurationen basierend auf der Bewertung durch eine cost-utility analysis, welche eine Multiple Attribute Decision Making (MADM)-Methode umsetzt, verglichen und die geeignetste Konfiguration wird ausgewählt.



Kontextmodellierung für den Tablettendispenser: aus verschiedenen Datenquellen bildet sich das Kontextmodell innerhalb der Middleware, welches anschließend von verschiedenen Services abgefragt wird, um eine kontext-adaptive und nutzerzentrierte Assistenz zu ermöglichen





## FORSCHUNGSTHEMA

### Eine Methodik zur Entwicklung kontextbewusster Cyber-physischer Systeme

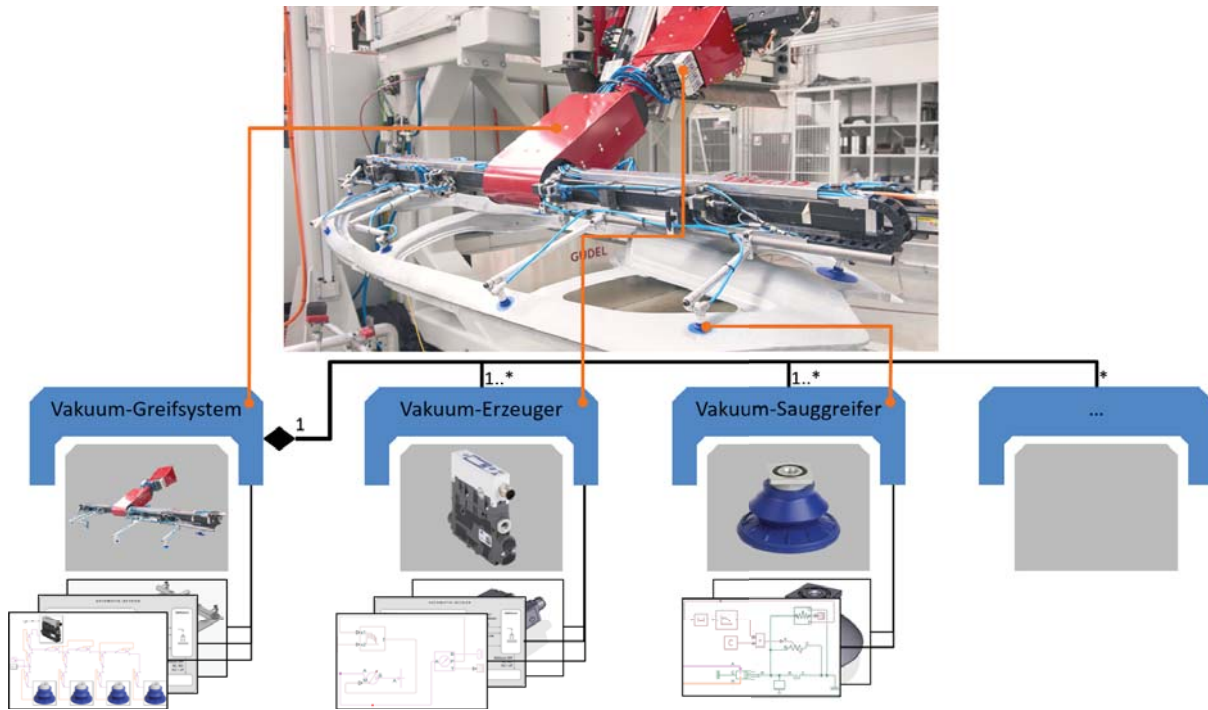
Bearbeiterin: Nada Sahlab

Automatisierungssysteme werden ständig von Umgebungsfaktoren beeinflusst, die meist nicht berücksichtigt werden. Demzufolge ist eine Berücksichtigung dieser umgebenden Einflussfaktoren für die Datenanalyse und dementsprechend für die Steigerung der System-Anpassungsfähigkeit notwendig. Daten, die außerhalb des Systems liegen und der Beschreibung seines Zustands dienen, sind sogenannte Kontextdaten. Kontextbewusste Systeme sind Softwaresysteme, die einen eingebetteten Zyklus aus Datenerfassung, Kontextverarbeitung und Kontextanwendung haben. Das Ermöglichen von Kontextbewusstheit für Automatisierungssysteme stellt einen Ansatz zur Nutzung von Umgebungs- und Situationsfaktoren als Entscheidungsunterstützung zur Laufzeit dar. Hierfür ergibt sich ein Forschungsbedarf für holistische und effiziente Kontextmodellierung unter Berücksichtigung von heterogenen Datenquellen sowie dynamischen Änderungen.

Dieses Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit einer Methodik zur zeitbasierten Modellierung und Verwaltung von Kontextmodellen der Cyber-physischen Systeme. Hierbei wird ein systembezogener und wiederverwendbarer Ansatz zur dynamischen Modellierung des internen Systemkontextes (Systemparameter, Schnittstellen, Funktionen) in Zusammenhang mit dem externen Kontext (Umgebungs-Nutzer und kollaborierende Systemparameter) auf Basis eines graph-basierten Metamodells erarbeitet. Das Kontextmodell wird innerhalb einer Middleware instanziiert und verwaltet. Dieses dient als Zwischenschicht zwischen einer erweiterbaren Datenerfassungsschicht und einer Anwendungsschicht, durch die verschiedene Anwendungen auf die Kontextmodelle zugreifen können. Das Konzept wird für ein benutzerzentriertes Assistenzsystem im gesundheitlichen Bereich, nämlich einen intelligenten Tablettendispenser gezeigt, auf dessen Grundlage sowohl die Rolle als auch die skalierbare Anwendbarkeit des Kontextmodells dargestellt wird. Anwendungen des Kontextmodells sind hierfür eine vorgeschlagene Anpassung der Alarmeinrichtungen ausgehend vom Nutzerverhalten bei vorherigen Medikamentenentnahmen sowie von relevanten Umgebungsparametern wie Helligkeit und Geräusche. Eine weitere Anwendung erzielt eine Erhöhung der Systemverfügbarkeit durch die Überwachung des Motors und der Steuerungseinheit und die Analyse der Parameter unter Berücksichtigung des Nutzungskontextes.

Darüber hinaus wird das Konzept an weiteren Modellprozessen wie z. B. einem Waschtrockner für eine kontextbewusste Diagnose sowie an einem intelligenten Lager für die flexible Produktion im Forschungscampus ARENA2036 erprobt.





Konzeptioneller Ansatz zur konsistenten Verwendung Digitaler Zwillinge aus Sicht eines Komponentenherstellers



## FORSCHUNGSTHEMA

### Digitale Zwillinge für Vakuum-Komponenten und -Greifsysteme

Bearbeiter: Valentin Stegmaier

Um die Vorteile der Industrie 4.0 über den gesamten Lebenszyklus von Maschinen und Anlagen nutzen zu können, werden möglichst realitätsnahe digitale Abbilder der realen Komponenten benötigt, sogenannte Digitale Zwillinge. Dieser Trend lässt sich auch im Bereich der Automatisierung von Materialflüssen mit Vakuum-Greifsystemen erkennen.

Neben der Struktur von Digitalen Zwillingen für Vakuum-Komponenten und -Greifsysteme sowie der Datenerfassung für Entwicklungs- und Betriebsdaten fehlen zudem Verhaltensmodelle, welche die technisch-physikalische Realität hinreichend genau abbilden und mittels verbreiteter Schnittstellen-Formate in gängigen Systemen zur Systemsimulation, virtuellen Inbetriebnahme und weiteren Anwendungsfällen integriert werden können.

Auf Basis bestehender Architekturen von Digitalen Zwillingen soll ein Konzept für Vakuum-Komponenten und -Greifsysteme erstellt werden, das für verschiedene Anwendungsfälle entlang des Lebenszyklus konsistent verwendet werden kann. Wichtig ist zum einen die durchgängige Datenhaltung und -erfassung der Entwicklungs- und Betriebsdaten über den gesamten Lebenszyklus und zum anderen die Integration aller relevanten Modelle aus den unterschiedlichen im Entwicklungsprozess beteiligten Disziplinen.

Zum einen sollen in experimentellen Untersuchungen relevante Einflussgrößen identifiziert und auf Basis dieser anschließend die fehlenden Verhaltensmodelle aufgebaut werden. Zum anderen ist die Erstellung und Konfiguration der benötigten Verhaltensmodelle ein stark manuell getriebener Prozess. Hierfür sollen bestehende Datenquellen genutzt werden, um einzelne Komponenten und ganze Vakuum-Greifsysteme automatisch zu erstellen.



Die von uns entwickelte Methodik hat das Bild eines PKW so verändert, dass ein ansonsten gut funktionierender KI-Bilderkenner nicht mehr in der Lage ist, einen PKW zu erkennen. Dadurch hat unsere Methodik aufgedeckt, dass der KI-Bilderkenner Farben und Texturen überbewertet und charakteristische Formen ignoriert. Bevor er eingesetzt werden kann, soll er verbessert werden.



## FORSCHUNGSTHEMA

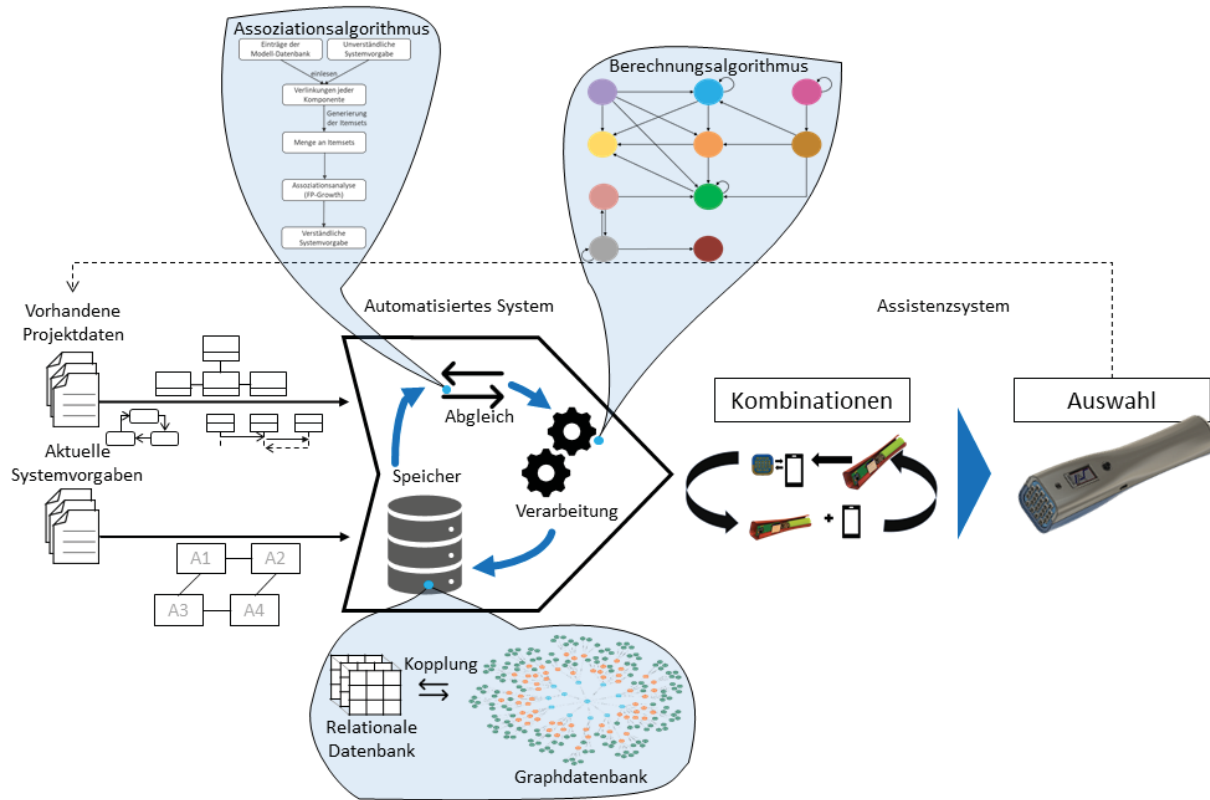
### Automatisiertes Identifizieren und Schließen von Kognitionslücken in mit Bilddaten trainierenden Systemen

Bearbeiter: Hannes Vietz

In den vergangenen Jahren hat die Bedeutung von datenbasiertem maschinellem Lernen in der Automatisierungstechnik stark zugenommen. Die Methoden sollen ermöglichen, Probleme datenbasiert mit generischen Ansätzen zu lösen und versprechen, damit aufwendig entwickelte Spezialsoftware zu ersetzen. Ein typisches Anwendungsbeispiel ist die automatisierte Objekterkennung in Bilddaten, die zum Beispiel bei visueller Qualitätssicherung, dem autonomen Fahren und in der robotischen Intralogistik eine wichtige Rolle spielt. Allerdings sind die mit Daten trainierten Algorithmen nur so gut wie ihre Trainingsdaten.

Gesammelte Trainingsdaten enthalten hauptsächlich Situationen, die häufig vorkommen. So viele Daten zu sammeln, bis alle möglichen Situationen in den Trainingsdaten repräsentiert sind, ist teuer, langwierig und damit unpraktikabel. Wenn das trainierte System Eingangsdaten erhält, die sich zu sehr von den Trainingsdaten unterscheiden, funktioniert es nicht mehr korrekt. Oft ist dieses Verhalten durch menschliche Beobachtung nicht nachvollziehbar; in diesem Fall wird dieses Eingangsdatum in der Scientific Community als „adversarial“ bezeichnet. Es zeigt eine Lücke in der kognitiven Fähigkeit des trainierten Systems auf. Ziel unserer Forschung ist es, solche Lücken automatisiert zu identifizieren und zu schließen. Nebenstehend ist ein adversariales Bild zu sehen, das durch eine von uns entwickelte Methodik, basierend auf adversarialen Suchmethoden, generiert wurde. Das trainierte System kann den PKW nicht mehr erkennen, weil sich die Textur und die Farbe des Lacks geändert hat. Durch automatisiertes Finden und Schließen solcher Kognitionslücken könnte der Engineering-Prozess von mit Bilddaten trainierenden Systemen kostengünstiger und praktikabler werden, weil nicht mehr so viele Daten gesammelt werden müssen, bis auch sehr selten auftretende Situation in den Trainingsdaten enthalten sind.

Wir arbeiten daran, Kognitionslücken in mit Bilddaten trainierenden Systemen durch adversariale Suchmethoden automatisiert zu identifizieren und zu schließen.



Methoden im Assistenzkonzept zur softwaregestützten Variantengenerierung



## FORSCHUNGSTHEMA

### Softwaregestütztes Assistenzkonzept für eine intelligente Variantengenerierung im modellbasierten Systems Engineering

Bearbeiter: Dustin White

Die Individualisierung findet immer stärkere Berücksichtigung bei der Produktentwicklung. Gleichzeitig wächst dadurch der Einsatz des modellbasierten Systems Engineerings, um der zunehmenden Komplexität Herr zu werden und um die Entwicklungsprozesse vollständig zu digitalisieren. In diesem Zuge werden verstärkt Modelle eingesetzt, um für den Menschen die einzelnen Bestandteile eines Systems verständlich darzustellen. Darüber hinaus bieten Modelle den Benefit, Teile der in der frühen Entwicklungsphase generierten Information zu formalisieren und maschinenlesbar zu machen.

Dabei werden Softwaretools benötigt, die den Systemingenieur oder die Systemingenieurin unterstützen, das Produkt und seine Bestandteile auf einem hohen Abstraktionslevel zu betrachten. Auf abstrakter Ebene nimmt jedoch die Variantenanzahl eines Systems immens zu. Trotz vorhandener Variantenmanagement-Werkzeuge ist der vollständige Lösungsraum somit nicht abbildbar. Gerade durch die Zunahme von Softwarekomponenten in der Automobilbranche erhöht sich dabei der Variantenreichtum und die Kombinationsvielfalt der Systeme und ihrer Komponenten.

Um die Komplexität dieser Vielfalt für die Systemingenieurin bzw. den Systemingenieur handhabbar zu machen, braucht es ein Wissensmanagement, das die Systembestandteile und ihre Relationen untereinander kennt sowie in unterschiedlichen Kombinationen bewerten kann. Hierfür hat sich eine Graphdatenbank als sinnvolle Ablage der Daten erwiesen, wodurch sowohl die Systeminformationen hinterlegt als auch statistische Informationen und Bewertungen je Systemkomponente angefügt werden können. Ein solches Wissensmodell lässt sich durch ein Assistenzsystem und Nutzung einer standardisierten Modellierungssprache wie z. B. SysML optimal in den modellbasierten Systementwicklungsprozess integrieren und unterstützt die Systemingenieurin bzw. den Systemingenieur dabei, geeignete Varianten eines Systems zu erzeugen und Strukturbrüche über den gesamten Systementwicklungsprozess zu vermeiden.



## KI-basierte hybride Modelle zur Lebensdauerabschätzung von komplexen elektronischen Systemen

Bearbeiter: Maurice Paul Artelt

Elektronische Systeme ermöglichen den Komfort unseres modernen Lebens. Dementsprechend stellt sich bei jeder Investition, in der elektronische Systeme enthalten sind, die Frage, ob das Gerät die anvisierte Lebensdauer erreichen wird. Beim Einsatz von Automatisierungstechnik ist dies auch immer mit dem Gedanken der Ausfallzeitminimierung verknüpft. Eine Lebensdauerabschätzung ermöglicht, die Planbarkeit zu erhöhen. Für die Lebensdauer des Systems spielen dabei mannigfaltige Faktoren eine Rolle. Die Zusammenhänge dieser Faktoren sind für den Menschen nicht analytisch zu kombinieren. Dank des industriellen Internet of Things stehen umfassende Daten über die Betriebs- und Umgebungsbedingungen bereit, um Machine Learning-Algorithmen trainieren zu können. Durch Künstliche Intelligenz basierte hybride Modelle soll der eingesetzte Algorithmus deutlich zutreffender sein und auch bei multiplen Eingangsparametern die gewünschte Performance erzielen.

Dieses Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit dem Einsatz von Machine Learning-Algorithmen wie beispielsweise Long short-term Memory Netzen in Kombination mit physikalischen Modellen zur Lebensdauerabschätzung.



## HINZUKOMMENDE FORSCHUNGSTHEMEN

### Echtzeitfähige Verfahren zur Realisierung des dynamischen Wissenstransfers in Fahrzeugen

Bearbeiter: Falk Dettinger

Die zunehmende Digitalisierung stellt die Automobilindustrie vor neue Herausforderungen. So müssen sowohl die Elektronik- und Softwarearchitekturen als auch die Entwicklungsmethoden an die neuen Anforderungen angepasst werden. Ferner nimmt aufgrund stetig wachsender Nachhaltigkeitsanforderungen die Notwendigkeit zur kontinuierlichen Verbesserung und Erweiterung von software-orientierten Fahrzeugfunktionen zu. Dies setzt jedoch die Möglichkeit zur Erfassung und Auswertung von Betriebsdaten der Zielfahrzeuge sowie die Ermittlung möglicher Aktionen im Fahrzeugverbund in Echtzeit voraus.

Die Forschung beschäftigt sich in diesem Zusammenhang mit den Möglichkeiten zur Analyse der erfassten Echtzeitdaten in Backendkomponenten wie beispielsweise der Cloud und der Nutzung der erzeugten Informationen zur Erzeugung neuer Services.





## Anwendungsoptimierte Modelladaption des Digitalen Zwillings während der Betriebsphase

Bearbeiter: Daniel Dittler

Die verschiedenen Modelle (z. B. Verhaltens- und Strukturmodelle) für die vorhergesehenen Anwendungs- und Betriebsszenarien entstehen in der Entwicklungsphase einer Anlage. Ohne manuelle Präventionsmaßnahmen zur Modellpflege kommt es während der Betriebsphase jedoch zu einem wachsenden Modelldrift (z. B. durch neue Betriebsszenarien, unerwartete Umwelteinflüsse oder neue Anwendungsszenarien), der die Realitätsnähe des Digitalen Zwillings zur physischen Anlage verschlechtert. Die Modellpflege im Sinne einer Modelladaption wird meist in einem manuellen und kostenintensiven Prozess durchgeführt, der erschwert durch eine heterogene Modelllandschaft fehleranfällig ist. Damit die verschiedensten Applikationen z. B. für die Wartung, die Optimierung oder zur Qualitätsvorhersage sinnvolle Ergebnisse liefern können, muss der Digitale Zwilling stets ein jeweils möglichst optimales, anwendungsspezifisches Modell zur Verfügung stellen können.

Ziel ist die Entwicklung eines neuartigen Ansatzes, um bei Veränderungen während der Betriebsphase automatisiert einen Modelldrift des Digitalen Zwillings zu erkennen, dann in einem anwendungsoptimierten Modelladaptionsansatz diesen Modelldrift zu reduzieren und anschließend eine Modellvalidierung durchzuführen. Für die Evaluation des Konzepts wird eine dezentrale Prozessanlage mit den Beispiel-Anwendungen ‚Prognose‘, ‚Optimierung‘ und ‚Hardware-in-the-Loop basierte virtuelle Inbetriebnahme‘ herangezogen.



## HINZUKOMMENDE FORSCHUNGSTHEMEN

### The Greenlight: Safe Exoskeleton

Bearbeiter: Tagir Fabarisov

Previously, via extensive fault injection experiments we evaluated fault compensation capabilities of the supportive exoskeleton system EXO-LEGS. We discovered the spatial and temporal tolerable thresholds for different fault types such as sensor freeze and stuck-at-0. This system was developed for elderly users and rehabilitation purposes. Along with the Simulink model it was provided by our partners from the KIT, Institut für Anthropomatik und Robotik. Next, we developed a DL-based failure prevention system. Evaluated in firm real-time manner on a case study Simulink model, this system proved the feasibility of the proposed method. It increased the tolerable fault duration from 0.3 seconds up to 1.25. Now, the final part of this project comes in play. This research received the 1st place award in the graduate category of the ASME SERAD Student Safety Innovation Challenge at the IMECE 2021 conference.

Although this method showed its fault mitigation capabilities, it has several constraints. It should be noted however, that the DL-based time-series data predictor itself operated immaculately. Taking into account the limitations of wearable robotics and following the recent trend for Deep Learning inference on computational resource-limited platforms, we deployed two trained LSTM models on a lightweight and low-powered edge Tensor Processing Unit. And still, the average cumulative time delay between the Simulink model sending input vectors to the fault mitigator and mitigated signals being sent back for erroneous values replacement was 0.035 seconds. Summarizing, the limitations of this system are not in DL-based software but in its mechanism itself. As such, it is necessary to come up with more smart approach to the fault mitigation.

The exoskeleton system has continuously changing fail-safe states that depend on the current state of locomotion. On the other hand, these fail-state states are also depended on a given user biomechanical constraints. For example, if an emergent situation is being detected and the controller stops the system during the start of the forward movement, the momentum will force the user to fall forward. With the main goal of the EXO-LEGS being a support for elderly patients, such emergency brake could lead to a critical injury. As such, we will develop a higher-level guard system for smart fault mitigation. Using the real EXO-LEGS system, we will investigate realistic fault characteristics. We will also formalize safe protocols for transitioning the system to safe states. These protocols will be based on the biomechanics of the user perspective. Such a smart mitigation system will train on a given user movement gate patterns. And will mitigate faults safely, preventing hazardous emergency brake situations.



## Online automated risk analysis for flexible SDM systems with AI components

Bearbeiter: Philipp Grimmeisen

Traditional production systems are characterized by features such as traditional SW components, rare software updates, static systems, and fixed production lines. To analyze these systems in terms of risk, safety, reliability, or dependability, traditional methods were applied. These methods are usually based on manual risk analysis, with traditional risk models such as fault trees, event trees, or FMEA. The risk analysis is conducted once after system assembly and before operation. In SDM systems new features such as frequent SW updates, AI components, digital twins, and flexible production are deployed. This requires a new approach to risk analysis.

The aim of this research project is the development of a new approach to online automated risk analysis for flexible SDM systems with AI components. For this purpose, the automated generation of hybrid risk models and model-to-model transformation methods are being developed. The integration and synchronization of the risk analysis module with the digital twin shall be investigated. AI-based methods are used to extract the required inputs for risk models from the digital twin. A combination of formal methods and fault injection will be studied to evaluate the risk of AI SW components.



## HINZUKOMMENDE FORSCHUNGSTHEMEN

### Reliability Assurance of Safety-Critical Systems and AI

Bearbeiter: Joachim Grimstad

Historically, advances, standards, and legislation in the discipline of safety engineering are often preceded by major safety incidents, such advances have also often been national and specific to the preceding incident. However, with the widespread adaptation of Programmable Electronic Systems (PES) in safetycritical systems, the international and generic IEC 61508 was developed, and from this multiple international industry specific standards have been derived. It has now been 10 years since the latest edition of IEC 61508 and the standards brief and only mention of artificial intelligence is as a non-recommended support activity for fault detection. In these same years the complexity of traditional systems, the maturity, and popularity of machine learning techniques have all increased. This leaves several interesting questions unanswered.

In safety engineering, failures are divided into safe and dangerous failures, and further subdivided into detectable and undetectable failures. The most critical failures are dangerous and undetectable failures that are only revealed on demand or during proof testing, as shown in the figure. Consequently, Safety Integrity Level (SIL) certified hardware come with extensive proof testing procedures that are often included when evaluating a Safety Instrumented System (SIS) or specific Safety Instrumented Function (SIF). While programmable electronics often come with self diagnostic features. The utilization of artificial intelligence for anomaly detection is currently a popular research topic, and in my research I aim to investigate the application of such techniques both as a diagnostic tool to detect previously undetectable dangerous failures and as an analytic tool for full- or partial proof testing to increase test coverage. In our research we plan to focus on a number of natural questions, such as:

- How to quantify the reliability and determine the SIL of SIFs using integrated artificial components?
- Is it possible to develop a generic testing scheme or toolbox with quantifiable test coverage for a SIFs integrated artificial intelligence components?
- To leverage the power of artificial intelligence, a steady stream of data is required. It is therefore easy to imagine a scenario where a safety instrumented system may receive data from sensors used by a process control system, breaking the fundamental principle of independence between such systems. How to evaluate safety in such a scenario?



## Online automated risk analysis for flexible SDM systems with AI components

Bearbeiter: Yuliang Ma

Traditional production systems are characterized by features such as traditional SW components, rare software updates, static systems, and fixed production lines. To analyze these systems in terms of risk, safety, reliability, or dependability, traditional methods were applied. These methods are usually based on manual risk analysis, with traditional risk models such as fault trees, event trees, or FMEA. The risk analysis is conducted once after system assembly and before operation. In SDM systems new features such as frequent SW updates, AI components, digital twins, and flexible production are deployed. This requires a new approach to risk analysis.

The aim of this research project is the development of a new approach to online automated risk analysis for flexible SDM systems with AI components. For this purpose, the automated generation of hybrid risk models and model-to-model transformation methods are being developed. The integration and synchronization of the risk analysis module with the digital twin shall be investigated. AI-based methods are used to extract the required inputs for risk models from the digital twin. A combination of formal methods and fault injection will be studied to evaluate the risk of AI SW components.



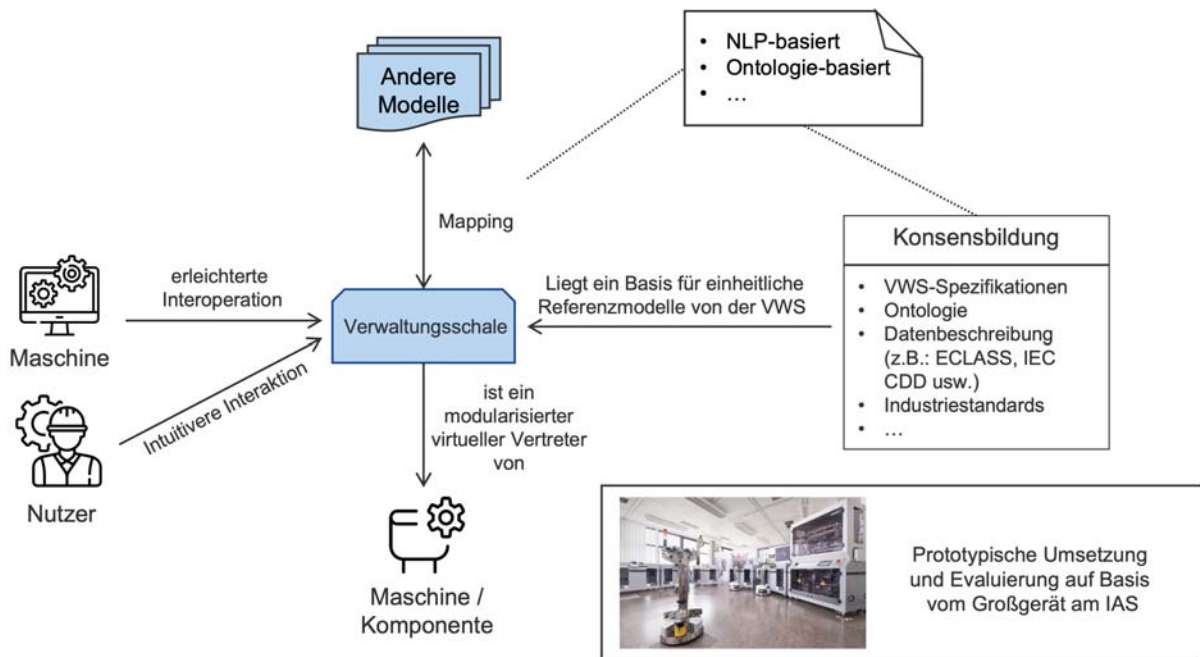
## HINZUKOMMENDE FORSCHUNGSTHEMEN

### Integration agiler DevOps-Methoden in die softwarebasierte Fahrzeugentwicklung

Bearbeiter: Matthias Weiß

Die voranschreitende Digitalisierung und wachsende Anforderungen an moderne Produkte führen zu einer immer größeren Zahl von softwareintensiven und kommunikationsfähigen Systemen. Insbesondere bei komplexen Produkten mit einem langen Lebenszyklus ist dabei charakteristisch, dass ihre Software regelmäßig mit neuen Funktionen oder Sicherheitsverbesserungen aktualisiert wird. Hierfür sind agile Prozesse notwendig, in deren Rahmen Updates möglichst einfach entwickelt und ausgerollt werden können.

Dieser Wandel stellt traditionelle Industrien, beispielsweise die Automobilbranche, vor die Herausforderung, ihre Prozesse und die Architekturen der gefertigten Produkte an die neuen Gegebenheiten anzupassen. Ein zentraler Aspekt ist dabei eine bestmögliche Automatisierung des Auslieferungsprozesses neuer Software. Zu diesem Zweck wird im Rahmen der Forschung untersucht, inwiefern sich klassische Methoden und Techniken aus dem Bereich der Continuous Integration und Continuous Delivery (CI/CD) in die Entwicklung einer neuartigen, serviceorientierten IT-Architektur für moderne Fahrzeuge übertragen lassen. Im Fokus steht hier insbesondere, inwieweit über KI-gestützte Methoden repetitive Aufgaben erkannt und automatisiert werden können. Ebenfalls soll untersucht werden, wie auf Basis von aus dem laufenden Betrieb gewonnenen Daten automatisch eingeschätzt werden kann, ob Änderungen an der Software die gewünschten Effekte erzielt haben.



Die Verwaltungsschale dient als kommunikationsfähiger virtueller Vertreter einer physischen Komponente



## HINZUKOMMENDE FORSCHUNGSTHEMEN

### Semantische Interoperabilität im modularisierten Digitalen Zwilling: Weiterentwicklung der Verwaltungsschalen für Automatisierungssysteme im Kontext der Industrie 4.0 während der Betriebsphase

Bearbeiter: Yuchen Xia

In der digitalen Transformation sind die produzierenden Unternehmen auf der Suche nach Daten aus dem Produktionsumfeld. Leider besteht die Produktionsanlage oft aus heterogenen Komponententypen verschiedener Hersteller und die Informationssysteme verwenden häufig unterschiedliche Schnittstellen und Datenmodelle, wobei eine eindeutige Bedeutung der Daten oft nicht gewährleistet ist und die Prozeduren zum Datenabrufen und zur -integration aufwendig sind. Diese Faktoren beeinträchtigen die Austauschbarkeit von Informationen (Interoperabilität).

Die Verwaltungsschale ist in diesem Zusammenhang eine standardisierte Umsetzungsform des Digitalen Zwillings. Ein Meta-Modell zur Strukturierung von Informationen und Funktionen in der Verwaltungsschale ist zwar definiert, aber bei der Modellierung komplexer Komponenten und Systeme (z. B. im Kontext der Produktionsautomatisierung in der Automobilindustrie) sind die Teilmodelle der Verwaltungsschale heute immer noch heterogen.

In diesem Forschungsvorhaben wird untersucht, wie die Verwaltungsschale eine homogene, konsistente und semantisch aussagekräftige Sicht auf die Daten ermöglichen kann und wie die Verwaltungsschale die Daten aus den heterogenen Datenquellen in einer modularisierten und portierbaren Form organisieren und verwalten kann, um nicht nur die Daten für die Menschen leichter zugänglich und verständlicher zu machen, sondern auch eine flexiblere Interaktion zwischen heterogenen Komponenten zu ermöglichen. Folgende Forschungsfragen sind hierbei interessant: Wie können verschiedene Industriestandards zur einheitlichen Semantik der Daten in der Verwaltungsschale beitragen (Konsensbildung)? Wie können die Daten in der Verwaltungsschale durch die Verwendung von Ontologien aussagekräftiger und besser verwaltbar gemacht werden? Wie kann die Qualität eines Digitalen Zwillings durch den Einsatz der Verwaltungsschale systematisch verbessert werden? Um diese Forschungsfragen zu beantworten, sind neuartige Konzepte und Methoden zu entwickeln.





© BOSCH

Software-definierte Fahrzeuge unterstützen den Transformationsprozess hin zu einer umweltfreundlichen, vernetzten und automatisierten Mobilität

Gefördert durch:



## FORSCHUNGSPROJEKT SofDCar

### Software-Defined Car (SofDCar)

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projektes „SofDCar“ widmet sich das IAS im Zusammenspiel mit sechs anderen Instituten der Universität Stuttgart und 12 weiteren Partnern der Zukunft der Automobilsoftware.

Die IT im Auto kommt einem Orchester gleich, zu dem immer mehr Musiker stoßen, die aber alle ohne Dirigenten spielen. Entwickler aus Industrie und Wissenschaft wollen nun unter der Federführung von Bosch standardisierte Regeln und Prozesse schaffen, damit die elektronischen Mitspieler im Fahrzeug nicht aus dem Takt kommen. Das Ziel: neue Funktionen im und um das Fahrzeug sollen künftig schneller entwickelt werden und zu den Autofahrinnen und Autofahrern kommen.

Ein wesentlicher Beitrag der Universität Stuttgart zum Gesamtprojekt ist dabei der Aufbau des hybriden Demonstrators „Campus Vaihingen“: Mittels einer 5G-Teststrecke auf der Ringstraße des Campus können unter realitätsnahen Bedingungen Testfahrzeuge und andere Testaufbauten aller Partner auf und abseits der Straße getestet werden. Durch die Anbindung der verschiedenen am Projekt beteiligten Institute der Universität Stuttgart sowie des FKFS (Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart) nebst der dazugehörigen Labore (bspw. Dash-Board-Labor, Fahrsimulator, Vehicle-in-the-Loop-Prüfstand) sind darüber hinaus für alle Partner auch nicht-straßentaugliche Aufbauten test- und analysierbar. Mittels eines Versuchsfahrzeuges, des Vehicle-in-the-Loop-Prüfstands sowie des Dash-Board-Labors sind auch Software-Komponenten und Entwicklungsprozesse von Partnern ohne eigene Fahrzeuge testbar. Damit wird eine durchgängige Test- und Experimentierumgebung von der Ebene einzelner Komponenten über (Teil-)Systeme bis hin zu kompletten Fahrzeug(-flott-)en im Straßenverkehr oder im Fahrsimulator gewährleistet.



## Realisierung einer dezentralen Steuerung für die Fluide Produktion

Das vom BMBF geförderte Projekt FluPro („**Fluide Produktion**“) widmet sich der Entwicklung und Implementierung eines menschenzentrierten, cyber-physischen Produktionskonzepts. Die Produktionsmittel werden hierzu in ortsflexible Module aufgespalten, sodass diese flexibel entsprechend dem Bedarf neu kombiniert werden können. Die bisherige Trennung zwischen Wertschöpfung und Logistik wird aufgehoben. Die Einführung der Module ermöglicht eine Gestaltung derselben mit der Rolle des Menschen als aktivem Gestalter im Fokus.

Das IAS beteiligt sich am Gesamtvorhaben mit der Erforschung einer dezentralen Steuerung mit Service-Orientierung des Produktionsablaufs und erforscht die dezentrale Steuerung für die Produktion ohne Band und festen Takt. Das Produkt durchläuft auf seinem individuellen Weg die Produktion. Diese passt sich kontinuierlich den Anforderungen durch Produkte an. Hierbei fordert die kontinuierliche Anpassungsfähigkeit ein Bewusstsein der einzelnen Produktionsmodule für zugesagte Produktionstermine. Diese Termine beschreiben die Festlegung auf einen definierten Weg. In der Fluiden Produktion ist diese Festlegung zu einem späteren Zeitpunkt möglich als es in der klassischen Produktion der Fall wäre. Zur Terminfestlegung kommt ein Terminplanungsassistent zum Einsatz. Der Assistent betrachtet den Arbeitsplan des Produktes und versucht, mithilfe der bereitgestellten Informationen der Produktionsmodule einen Weg durch den Shopfloor zu finden. Hierbei kann anhand eines Vorrang-Graphen auf die Priorisierung der einzelnen Produkte eingewirkt werden.

Gefördert durch:



## FORSCHUNGSPROJEKT SesiM

### Selbstvalidierung komplexer elektronischer Systeme in sicherheitskritischen Mobilitätsanwendungen auf Basis von Grey Box-Modellen (SesiM)

Das vom BMWi geförderte Projekt „SesiM“ soll einen elementaren Beitrag bei der Vermeidung von Ausfällen im Bereich der Mobilitätsanwendungen leisten. Der Fokus des IAS liegt auf der Kombination von datengetriebenen (z. B. LSTM Netzwerke) und physikalischen Modellen zu einem hybriden Modell, um die zur Verfügung stehenden Daten des digitalen Fingerabdrucks effizient verwenden zu können.

Ziel des Projektes ist es, eine KI-basierte Zustandsüberwachung zu realisieren, mit der im Betrieb von komplexen elektronischen Systemen in Anwendungsbereichen wie beispielsweise der Bahn- und Automobiltechnik dynamisch auf Verschleißerscheinungen reagiert werden kann. Dabei wird ein die elektronischen Baugruppen beschreibender digitaler Fingerabdruck eingesetzt, der die für die innovative Modellbildung benötigten Prozess-, Qualitäts- und Belastungsdaten bereithält.

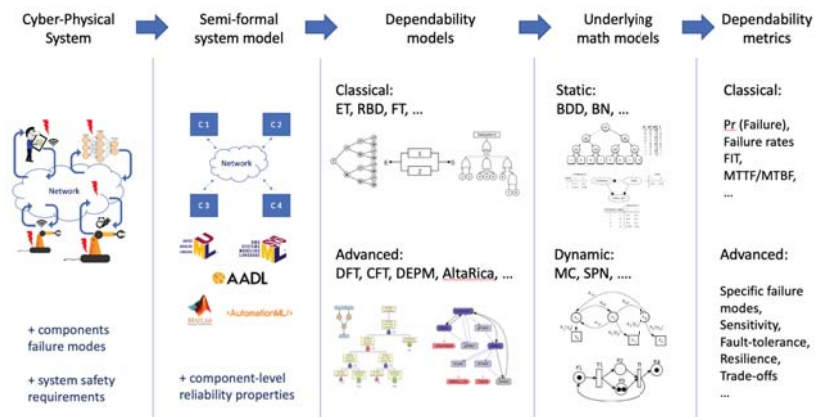
In der ersten Projektphase beschäftigt sich das IAS mit der Identifizierung und Konzeption der relevanten Modelle zur Zusammenstellung zu hybriden Modellen aufgrund der selektierten, die elektronische Baugruppe beschreibende Parameter des digitalen Fingerabdrucks. Das IAS leitet dabei die Arbeitspakete zur Erstellung eines Konzepts zur eindeutigen Systemcharakterisierung während der Nutzungsphase sowie der Erstellung der hybriden Modellierung für die Musteranwendungen. Mit diesen Modellen sollen in Echtzeit automatisch Entscheidungen auf Grundlage der vorhandenen Informationen getroffen werden. Hier soll auch der Stand der Forschung in Bezug auf die KI-Modelle vorangetrieben und die Modelle weiter optimiert werden.

## SI4: Risk Analysis of Industrial CPS

Cyber-Physical Systems (CPS) are advanced interconnected systems that are one key characteristic of the emerging trend towards Industry 4.0 in automation engineering. As with any industrial production system, risk analysis is one of the key challenges of the design of CPS. Classical risk analysis exploits several well-known methods for evaluating the dependability and resilience properties of production systems. However, Industry 4.0 implies that the Industrial CPS are more complex from a structural and behavioral points of view and consist of distributed heterogeneous components. Classical methods cannot adequately describe sophisticated failure scenarios of modern highly dynamic, autonomous, and adaptive Industrial CPS. That is particularly true for Artificial Intelligence, especially Deep Learning, being employed for more broad types of safety-critical applications within systems. It is necessary then to revisit the classical Risk Assessment Methods (RAM) and extend them with the most promising advanced techniques that cover in-creased complexity.

The SI4 project is supported by the Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). The main project goal is to evaluate the applicability of modern model-based RAMs for the analysis of Industrial CPS with machine learning components. Firstly, we will perform an extensive systematic review of the available methods and tools for risk assessment and evaluate the applicability of these methods for Industrial CPS. We will define the list of evaluation criteria. After that, we will assess available risk methods and tools that support these methods. As the second phase of the project, we will carry out an extensive systematic review of modern system modeling paradigms, and model-

based risk analysis approaches. We will address two aspects: fault-tolerance of ML components that are becoming integral parts of modern industrial CPS and application of ML methods to improve the reliability and safety of Industrial CPS. As the final phase of the SI4 project, we will define the criteria catalog for the case study. After that, we will develop the case study industrial CPS according to the defined criteria and evaluate the methods discovered in previous steps of the project.



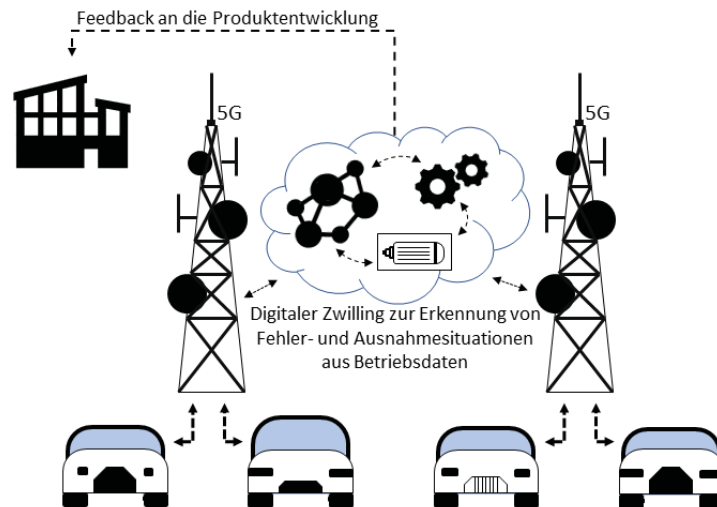
Model-based risk assessment of industrial Cyber-Physical Systems

### Vernetzte E-Fahrzeuge: Verbesserung von Produktentstehung und Betrieb durch Erkennen von Fehler- und Ausnahmesituationen in Antriebsstrang und Fahrdynamik

Das Land Baden-Württemberg stärkt mit diesem Projekt im Rahmen des Förderprogramms Innovationscampus Mobilität (ICM) die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Instituten des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Universität Stuttgart. Im Projekt ICM SD-Mobi1 widmet sich das IAS zusammen mit vier weiteren Instituten der Universität Stuttgart und dem KIT den Themen der vernetzten E-Fahrzeuge.

Thematisch beschäftigt sich dieses Projekt mit E-Fahrzeugen, die durch die Verfügbarkeit von vernetzter Information zahlreiche Vorteile bieten, die genutzt werden können, um Schwierigkeiten in der funktionalen Sicherheit - d. h. Fehler- und Ausnahmesituationen in Antriebsstrang und Fahrdynamik - im Vergleich mit anderen Fahrzeugen frühzeitig zu erkennen, im Betrieb durch Softwareupdates zu verbessern und in die Produktentwicklung zurückzuspielen.

Im Rahmen des Projektes besteht das Ziel, die Produktentwicklung und den Betrieb durch Erkennen von Fehler- und Ausnahmesituationen in Antriebsstrang und Fahrdynamik zu verbessern. Dazu sollen Fahrzeuge und deren Komponenten mithilfe von 5G und einem Digitalen Zwilling vernetzt werden, um dann „online“ und in der Simulation Einschätzungen vorzunehmen und Verbesserungen durchzuführen.



Übersichtsbild des Vorhabens ICM SD-Mobi1



H<sub>2</sub>Mare - Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe direkt auf dem Meer produzieren  
Grafik: Projektträger Jülich im Auftrag des BMBF

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## FORSCHUNGSPROJEKT PtX-Wind - H<sub>2</sub>Mare

### Übergreifendes Prozessleit- und Betriebsführungssystem für eine Offshore-PtX-Plattform

Das im Frühjahr 2021 gestartete Projekt H<sub>2</sub>Mare ist eines der drei vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Wasserstoff-Leitprojekte, die einen zentralen Beitrag zur Umsetzung der nationalen Wasserstoffstrategie liefern sollen. Im Rahmen des Leitprojektes H<sub>2</sub>Mare soll künftig ein völlig neuer Anlagentyp auf dem Meer seinen Platz finden - eine Lösung, die einen Elektrolyseur zur direkten Wandlung des elektrischen Stromes in grünen Wasserstoff und Power-to-X-Module zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe und Energieträger auf einer Offshore-Plattform bereitstellt. Das IAS beschäftigt sich in diesem Kontext mit den Themen Prozessleitsystem, Teleoperation und Digitaler Zwilling, um die Grundbausteine für einen stabilen, sicheren und wirtschaftlichen Prozess zur Verfügung zu stellen.

Dabei stehen in der ersten Phase des Projektes insbesondere die Definition und Abstimmung der Anforderungen und Schnittstellen in den vom IAS federgeführten Arbeitspaketen im Fokus. Den ersten Meilenstein stellt dabei die Ausschreibung und die Unterbeauftragung eines Prozessleitsystems für eine Versuchsplattform dar. Mit dieser Plattform sollen erste Betriebserfahrungen im Sinne des Hardware-in-the-Loop Ansatzes gesammelt werden, um darauf basierend die Konzeption der Forschungsanteile zu ermöglichen. Anschließend wird der Fokus im Arbeitspaket zum Digitalen Zwilling auf die Bereitstellung einer Software-Infrastruktur gelegt, um die Prozessfenster in der Simulation und deren Wechselwirkung mit der Prozessleittechnik zu erforschen. Des Weiteren wird in dem Arbeitspaket Teleoperationssystem die Just-in-Time Bedienung zur Analyse und Wartung unter Offshore-Bedingungen untersucht.



## FORSCHUNGSPROJEKT 5G - SynergieRegion

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Verkehr und  
digitale Infrastruktur

### Dynamische Not-Aus Schutzräume durch 5G Lokalisierung für die Intralogistik

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderten Verbundprojektes „5G - SynergieRegion“, werden Transferpotenziale vernetzter Produktionstechnologien und der Smart City durch 5G-Anwendungen untersucht. Dabei forscht das IAS zusammen mit den Projektpartnern NAISE, Nokia Bell Labs und Fraunhofer IPA an einem dynamischen Not-Aus System über 5G in Produktions- und Logistikhallen.

In modernen Produktions- und Lagerhallen kommen oftmals Automated Guided Vehicles (AGVs) zum Einsatz. Kommt es zu einem Störfall an einem AGV, müssen in der Nähe befindliche AGVs abgeschaltet werden, um insbesondere eine Gefährdung von Menschen zu verhindern. Hierzu muss das jeweilige Gefährdungspotential, abhängig vom Hallenbereich, der Konstellation der AGVs zueinander und deren jeweilige Ladung bewertet und eine Unterscheidung in gefährliche (Not-Aus) und teils-gefährliche Events getroffen und entsprechend reagiert werden. Dabei wird das Not-Aus Signal über 5G im „Ultra-high reliability“-Modus übertragen, um zu untersuchen, ob die neue 5G-Technologie den Anforderungen an ein sicherheitskritisches Not-Aus Signal standhält.

Um im Falle eines Not-Aus eine möglichst hohe Verfügbarkeit des Produktionssystems gewährleisten zu können, ist die Einführung intelligent gewählter, dynamischer und auf 5G Lokalisierung basierender Schutzräume wichtig. Das heißt, dass alle AGVs in direkter Nähe mit Gefährdungspotential abgeschaltet werden, während alle anderen AGVs weiterfahren bzw. diesen Bereich umfahren und bei Annäherung an die Gefahrensituation ebenfalls abgeschaltet werden.

Das IAS arbeitet an einem Konzept zur Einschätzung der Gefährdungspotenziale und Realisierung der dynamischen Not-Aus Schutzräume durch 5G.

Gefördert durch:

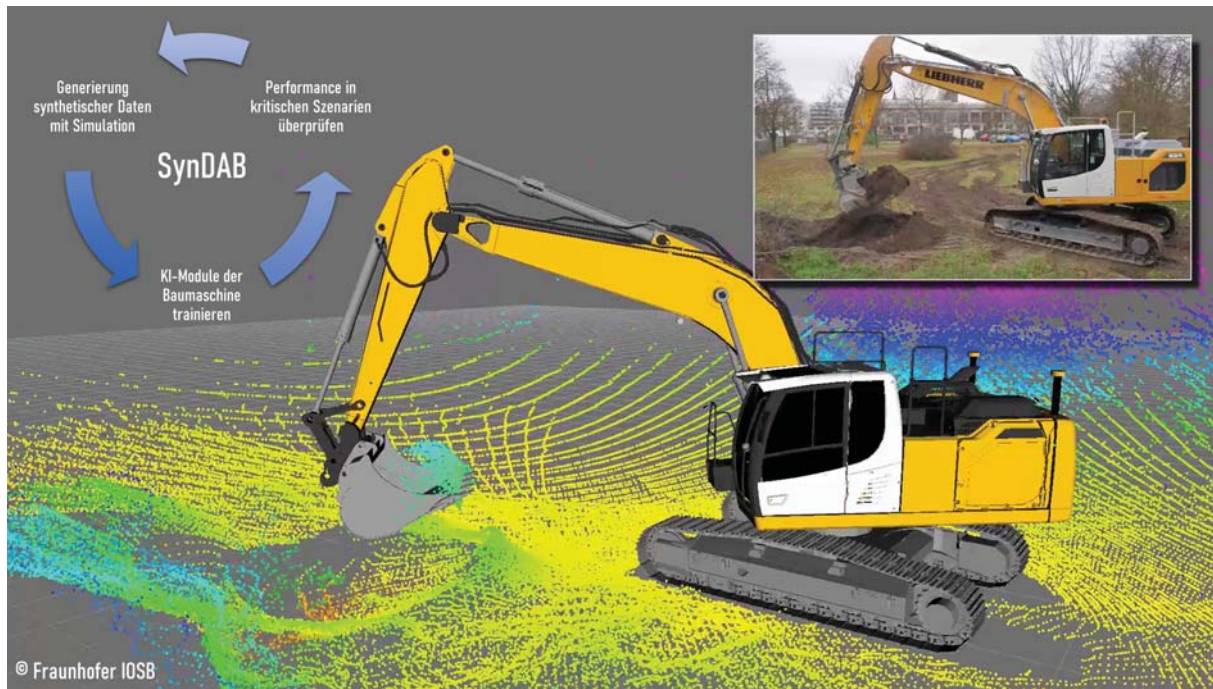


## FORSCHUNGSPROJEKT SDM4FZI

### Automatisierte Online-Risikoanalyse für wandlungsfähige Software-definierte Fertigungssysteme

Das Forschungsprojekt SDM4FZI (**S**oftware **d**efined **m**anufacturing (SDM) **f**ür die **F**ahrzeug- und **Z**ulieferindustrie) wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des Förderprogramms „Zukunftsinvestitionen in der Fahrzeugindustrie“ gefördert. Das übergeordnete Ziel dieses Projektes ist, die Erforschung wandlungsfähiger Fabriken für die Fahrzeug- und Zulieferindustrie. Dabei wird die Produktion rein über Software definiert und dadurch dynamisch anpassbar gestaltet. Das IAS erforscht im Rahmen des Projektes mit der Risikoanalyse für SDM-Systeme.

Software-Defined Manufacturing erfordert einen neuen Ansatz für die Risikoanalyse. Da SDM-Systeme ihr Verhalten mit jedem Software-Update ändern, muss die Risikoanalyse vor jedem Software-Update online durchgeführt werden. Dazu ist es notwendig, neue fortgeschrittene hybride und flexible Risikomodelle zu entwickeln. Diese Modelle werden automatisch generiert und mit Digitalen Zwillingen synchronisiert. Die Risikoanalyse von KI-Komponenten ist ein entscheidender Bestandteil der Risikoanalyse von SDM-Systemen. Die entwickelten Risikomodelle werden im Gegensatz zu klassischen Risikoanalyse in der Lage sein, sich an das Verhalten wandlungsfähiger Produktionssysteme anzupassen.



Erzeugung synthetischer Daten für autonome KI-basierte Systeme

© Fraunhofer IOSB

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## FORSCHUNGSPROJEKT SynDAB

### Verbundprojekt SynDAB: Synthetische Daten für die Entwicklung von autonomen Bau- und Arbeitsmaschinen

Autonome Bau- und Arbeitsmaschinen haben aufgrund von Arbeitskräftemangel und insbesondere Einsätzen in gefährlichen Umgebungen ein sehr breites zukünftiges Anwendungsfeld im Hoch- und Tiefbau.

Studien zufolge wächst der weltweite Markt für Bauausrüstung bis 2025 jedes Jahr um 5 % auf dann rund 160 Milliarden Euro. Bau- und Arbeitsmaschinen sowie angrenzende Applikationsbereiche, z. B. im Bereich Mining oder Landmaschinen, stellen ein sehr wichtiges Anwendungsgebiet für autonome Systeme dar. Für autonome und KI-gesteuerte Systeme ist meist ein Betrieb auf abgegrenztem, privatem Gelände gegeben. Dadurch erübrigen sich komplexe rechtliche Fragen der Verkehrsgesetzgebung für den autonomen Betrieb im öffentlichen Raum. Umso mehr rücken jedoch Fragen der zuverlässigen Funktion, des Unfallschutzes und der Haftung in den Vordergrund. Allerdings ist es gerade in diesem Bereich nicht möglich, für die vielschichtigen Szenarien von autonomen Bau- und Arbeitsmaschinen reale Datensätze zu erzeugen, die hinreichend viele Fälle enthalten, mit denen entsprechende Entwicklungen und anschließende Zulassungsnachweise erbracht werden könnten.

Bei Zertifizierungstests für autonome Bau- und Arbeitsmaschinen sind beispielsweise Szenarien mit Hindernissen im Fahrweg oder nachgebendem bzw. instabilem Grund typisch. Auf Basis eines offenen synthetischen Datensatzes, welcher mit einem Datengenerator angepasst werden kann, wird das wichtige Zukunftsfeld vorangebracht. Dabei wird der Test von autonomen Funktionalitäten auf KI-Basis ermöglicht, wodurch insbesondere die Gefährdungsrisiken bei der Arbeit deutlich gesenkt werden können, da seltene, aber kritische Unfallszenarien umfassend in der Simulation mit synthetischen Daten überprüft werden können.

Das reale Erzeugen von kritischen Zuständen bei einer autonomen Bau- oder Arbeitsmaschine ist aufgrund von hohen Kosten und Sicherheitsrisiken praktisch nicht umsetzbar, da diese im begrenzten Aufzeichnungszeitraum in realen Daten kaum vorzufinden sind. Daher ist es notwendig, synthetische Daten zu erzeugen, die diese kritischen Zustände abbilden. So entsteht im Vergleich zu internationalen Herstellern ein Alleinstellungsmerkmal, da die auf Basis von synthetischen Daten entwickelten autonomen Bau- und Arbeitsmaschinen auch kritische Szenarien abdecken.

Das Verbundprojekt SynDAB wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Förderkennzeichen: 01IS21057A) und ist assoziiertes Projekt des Cluster of Excellence Integrative Computational Design and Construction for Architecture (IntCDC).

## FORSCHUNGSPROJEKT KoMEp und SAINET2

### Konzeptuntersuchungen für modellbasierte Entwicklungsprozesse

In der Automobilindustrie sind modellbasierte Entwicklungsprozesse von entscheidender Bedeutung, um die interne Digitalisierung in der Entwicklung voranzutreiben. Insbesondere der abstrakte modellbasierte Systementwicklungsprozess, der in der Luft- und Raumfahrtindustrie schon lange Standard ist, findet jetzt bei der maschinenbaugeprägten Automobilindustrie Einzug. Aufgrund der stetig steigenden Komplexität der Teilsysteme eines Automobils, die zudem immer software-orientierter wird, müssen Konzepte gefunden werden, die diese Komplexität interdisziplinär kontrollieren.

Während, aufbauend auf der modellbasierten Entwicklung, die modellgetriebene Entwicklung anhand eines Beispielobjektes detailliert analysiert wird, werden insbesondere die Aspekte des Variantenmanagements und die optimale Auswahl einer Systemarchitektur untersucht.

### Simulation zur Absicherung der Integration von automatisierten Systemen in vernetzten Umgebungen

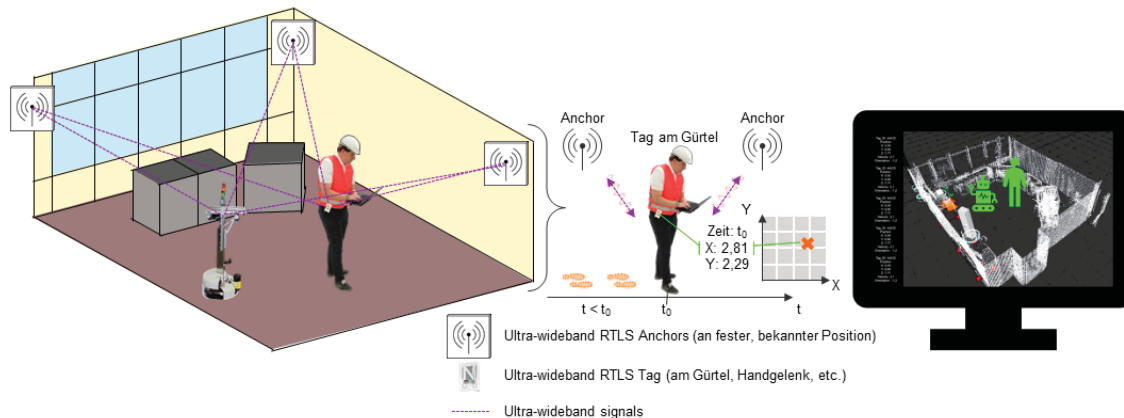
In der Fortführung des Projektes wird das bisher entwickelte, neuartige Co-Simulationskonzept für Internet-der-Dinge-Szenarien in ein bestehendes kommerzielles Simulationstool integriert. Hierbei wird ermittelt, welche Voraussetzungen in diesem Simulationstool für eine Integration geschaffen werden müssen und anschließend werden die notwendigen Schnittstellen definiert und prototypisch implementiert.



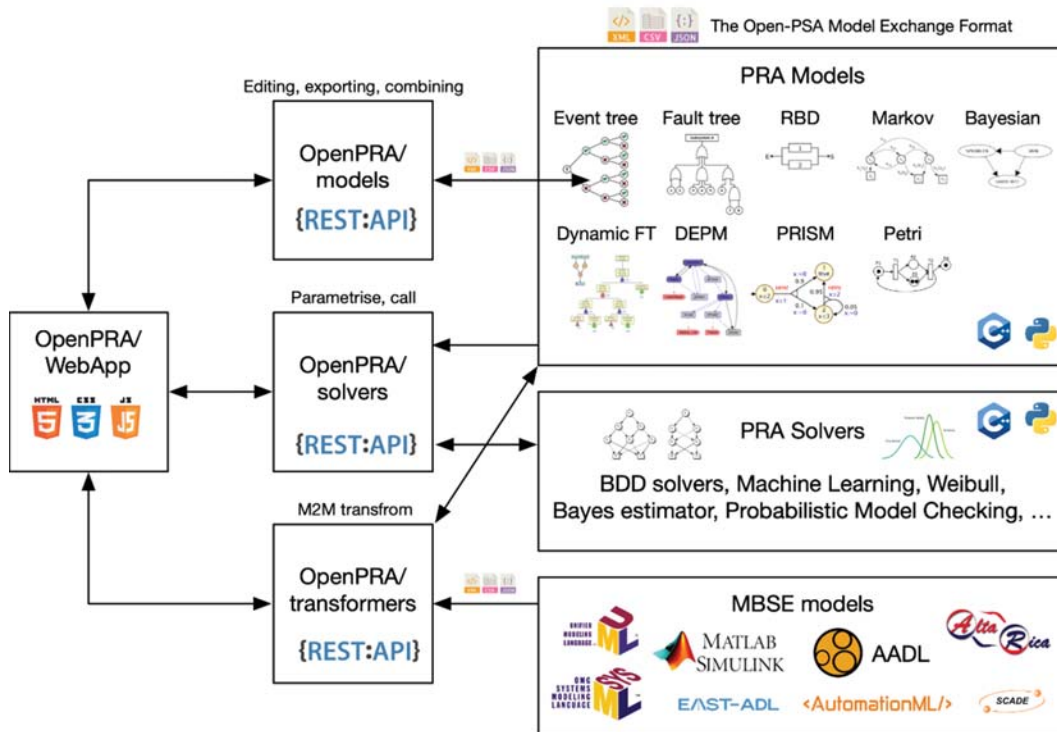
## Echtzeit-Lokalisierungssysteme in der Produktion

Im Rahmen des durch die EU geförderten EUREKA OMTRTLS-Projektes wird in einer deutsch-ungarischen Kooperation zusammen mit zwei Industriepartnern an neuen Einsatzmöglichkeiten von Real-Time Locating Systems (RTLS) in der Fertigungsindustrie geforscht. In diesem vom deutschen BMBF und ungarischen NRDI-Office geförderten Projekt entsteht ein intelligentes Assistenzsystem zur einfachen Anwendung von Positionsdaten für die Vorhersage zukünftiger Positionen autonomer Einheiten.

RTLS ermöglichen die Ermittlung und Nutzung von Positionsdaten auch in geschlossenen Räumen. Auf Ultra-Breitband-Technologie basierende RTLS haben eine hohe Positionierungsgenauigkeit im Bereich 10 - 50 cm. Zum Vergleich: die uns aus dem Alltag bekannte und z. B. für die Automobilnavigation verwendete satellitengestützte Lokalisierung mittels GPS bzw. Galileo, GLONASS oder Beidou funktioniert nur im Freien und hat eine Positionierungsgenauigkeit von 3 - 8 m. Ultra-Breitband-basierte RTLS bieten daher hochwertige Positionsdaten, in Echtzeit stehen alle 50 ms (5 Hz) aktualisierte Positionsdaten zur Verfügung. Die Nachrüstung eines RTLS in eine bestehende Produktionsanlage oder Lagerhalle ist vergleichsweise einfach und kostengünstig möglich. Gleichzeitig ergeben sich mit Echtzeit-Positionsdaten vielfältige Möglichkeiten der positionsabhängigen Automatisierung. Insbesondere in Bereichen mit hoher Dynamik, etwa in der Robotik, bieten Ultra-Breitband-basierte RTLS viele Vorteile. Das IAS realisiert aktuell das Framework zur Vereinfachung von daten-basierten Automatisierungslösungen. Eine Erprobung soll dann im Forschungscampus ARENA2036 durchgeführt werden.



Ultra-Breitband-basierte RTSL erlauben die Lokalisierung auf bis zu 0,2 m genau bei 5 Hz Messwiederholfrequenz



General architecture of the open-source framework for probabilistic risk analysis

### OpenPRA: Open-source Framework for Probabilistic Risk Analysis

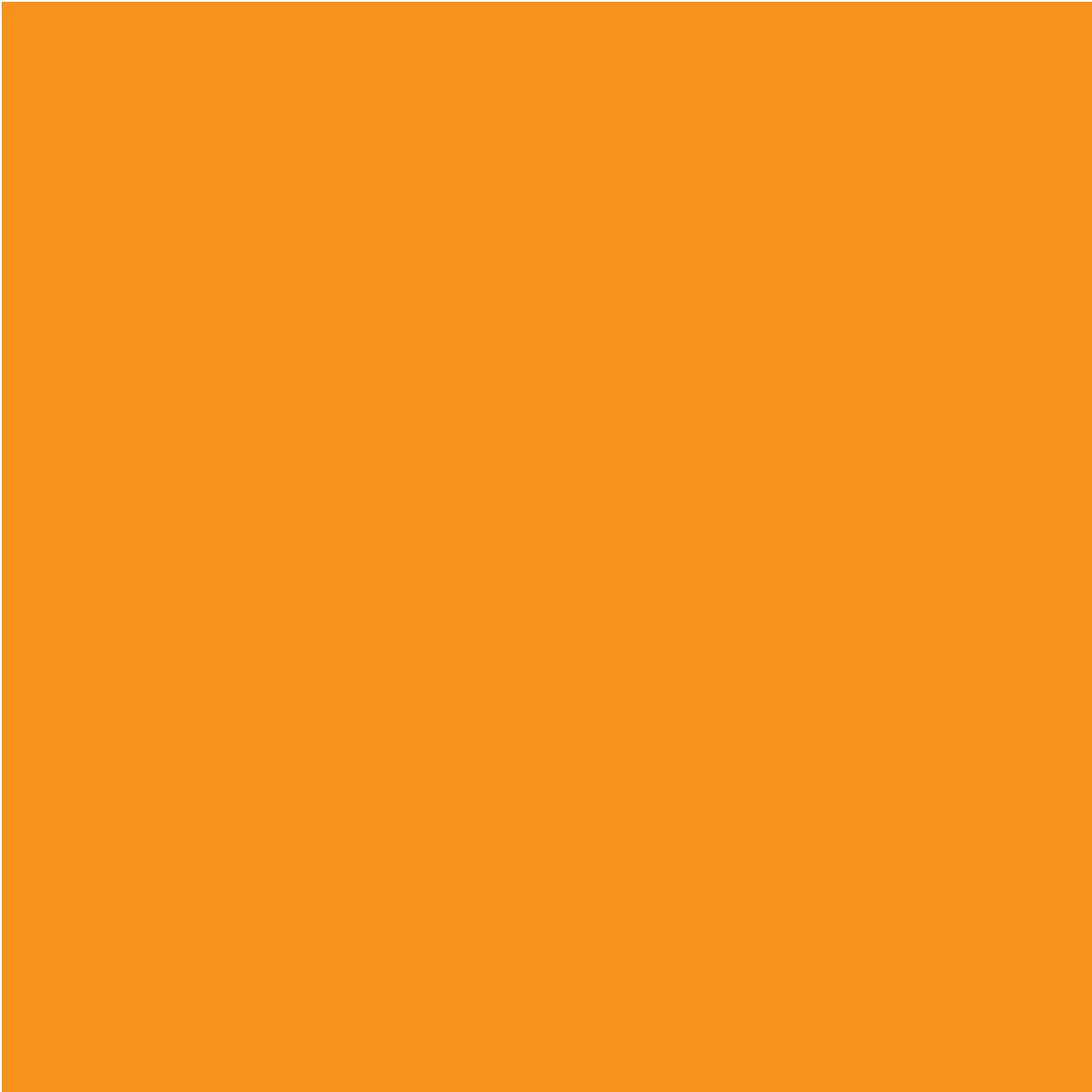
IAS, together with international partners, continues the work on the OpenPRA project. Our students participate in the project in the frame of their research, bachelor, and master theses. During this year, they have developed several new solvers for fault trees, event trees and Bayesian networks.

Probabilistic Risk Analysis (PRA) is a mandatory procedure for all safety-critical domains, including transportation, industrial automation, medical devices, energy, and many more. PRA exploits well-known methods for evaluating the dependability and resilience properties of technical systems. These methods usually include classical Event trees, Fault trees, Bayesian networks, Markov chains, and their numerous extensions and combinations. The OpenPRA initiative aims to provide a unique platform for integrating the multiple PRA methods and tools into a holistic, easy to use, and highly customizable framework.

Partners:

- University of Stuttgart (DE)
- North Carolina State University (US)
- Technische Universität Dresden (DE)
- Ufa State Aviation Technical University (RU).



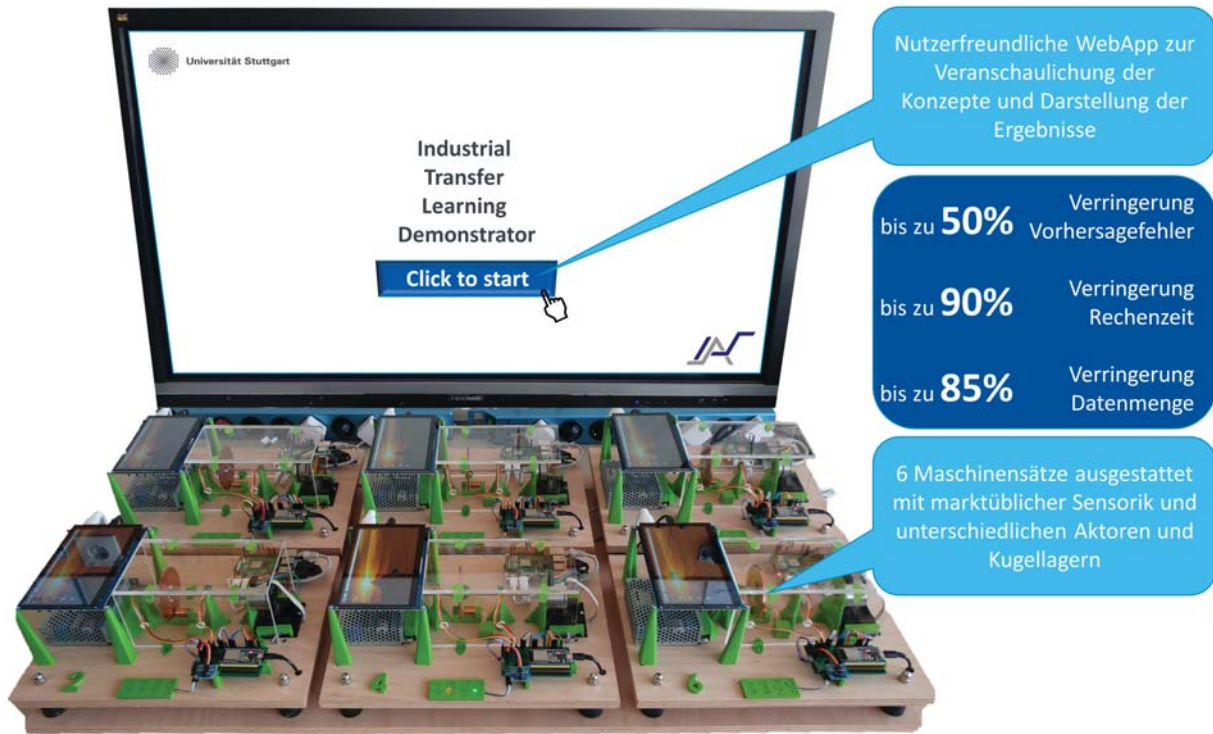


## DEMONSTRATOREN

Ein wesentlicher Aspekt der Forschung am IAS ist die Anwendungsorientierung. Es ist uns daher sehr wichtig, unsere Forschungserkenntnisse und -ergebnisse anschaulich zu präsentieren. In diesem Zusammenhang haben wir auch in diesem Jahr neue Demonstratoren entwickelt bzw. bestehende Modellprozesse modifiziert und erweitert.

- Der Demonstrator „Industrielles Transfer-Lernen“, um die Konzepte und Potentiale industriellen Transfer-Lernens zu veranschaulichen
- Der Smart-Home-Demonstrator ist im Aufbau, um die Aspekte der Kontextmodellierung und prädiktive Wartung zu erforschen
- Der Demonstrator „Assistive exoskeleton SafeLegs“, um Cyber-physische Systeme evaluieren zu können
- Ein mobiler Roboter (Robotino) von unserem „Forschungsgroßgerät“ wurde mit einem Lernsystem für intelligente Bilderkennung erweitert. Dieses erlaubt es dem Roboter, Menschen zu erkennen und mit diesen zu interagieren, beispielsweise ihnen zu folgen
- Erweiterung und Ergänzung des Tablettendispensers um Kontextmodellierung und Wissensmanagement
- Ergänzung einer Webapp-Software beim Demonstrator zum szenarienbasierten Testen autonomer Fahrfunktionen, welche für die Steuerung der Funktionen und die Datenerhebung zuständig ist
- Integration eines Echtzeitlokalisierungssystems und Erweiterung um ein RFID-System der flexiblen Produktionsanlage im Forschungscampus ARENA2036

Auf den folgenden Seiten stellen wir Ihnen diese Demonstratoren vor.



Industrieller Transfer-Lern-Demonstrator  
Ein Mini-Motorenprüfstand erlaubt die Erprobung der Transfer-Lernarchitektur

### Industrielles Transfer-Lernen

Bei diesem Demonstrator geht es darum, die Konzepte und Potentiale industriellen Transfer-Lernens zu veranschaulichen. Dazu wurden sechs Maschinenstränge als modellhafte Beispiele für typische Industriemaschinen wie beispielsweise CNC-Fräsen aufgebaut und mit Sensorik ausgestattet. In jedem Maschinenstrang wird eine Welle von einem Elektromotor angetrieben. Sie ist in zwei Kugellagern gelagert und mit einer Schwungmasse versehen. Das Szenario ist nun, dass eine praktikable Lösung für die Verschleißvorhersage bei Kugellagern mittels maschinellen Lernens gefunden werden soll. Diese Lösung sollte in der Lage sein, über verschiedene Betriebszustände hinweg zu lernen und dabei auch ungelabelte Daten zu nutzen.

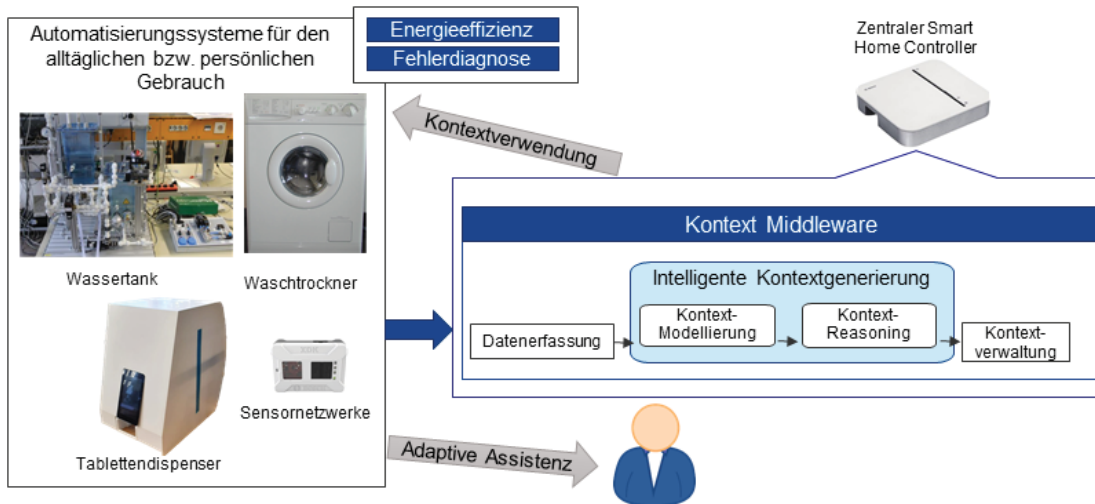
Das IAS hat zur Umsetzung des Projektes eine neuartige Transfer-Lernen-Architektur entwickelt. Darin werden Eingangsdaten zuerst mittels einer Merkmalsextraktion in ihrer Komplexität reduziert. Anschließend werden mittels einer regressiven Domänen-Adaption bekannte Zusammenhänge auf neue Betriebsbedingungen übertragen.

Über eine WebApp werden den Betrachterinnen und Betrachtern die Konzepte und Potentiale des verwendeten Ansatzes auf dem zugehörigen Bildschirm vermittelt.

## Smart-Home-Demonstrator

Bei diesem zu entwickelnden Demonstrator geht es darum, einen Verbund aus existierenden Automatisierungssystemen sowie Datenquellen zur Umgebungserfassung über einen zentralisierten Internet of Things-Controller auf Datenebene zu verbinden. Die einheitliche Datenrepräsentation über ein Kontextmodell soll den Smart-Home-Demonstrator um intelligente Funktionen wie beispielsweise Energieoptimierung erweitern. Aus der Vernetzung und dem Datenaustausch wird übergeordnetes Wissen zur aktuellen Situation verarbeitet, was wiederum von den einzelnen Systemen zur adaptiven Nutzerunterstützung sowie einen optimalen Systembetrieb verwendet werden kann.

Für die Modellierung und Auswertung der Sensordaten sowie deren Beziehungen ist eine Betrachtung der Modellrelationen und des sogenannten variablen Kontextes notwendig. Es soll ein „Context as a Service“ Cloudsystem aufgebaut werden, welches aus mehreren Raspberry Pi-Einplatinencomputern und einem leistungsstarken PC besteht. Der leistungsstarke PC bietet die Vorhersagen seiner trainierten Modelle durch eine moderne Machine Learning-Deployment-Pipeline als Service an. Durch die Anwendung weiterer Sensoren zur Umgebungserfassung soll die erfassbare Datenbasis erweitert werden. Mithilfe eines Tablets soll die angesprochene Modellierung für die Benutzerinnen und Benutzer zugänglich gemacht werden. Darüber hinaus sollen die Daten unterschiedlicher Sensorik live über eine zu entwickelnde App visualisierbar gemacht werden.



Schematische Darstellung von existierenden Automatisierungssystemen sowie Datenquellen zur Umgebungserfassung

## Neue Demonstratoren am IAS

### Assistive exoskeleton SafeLegs

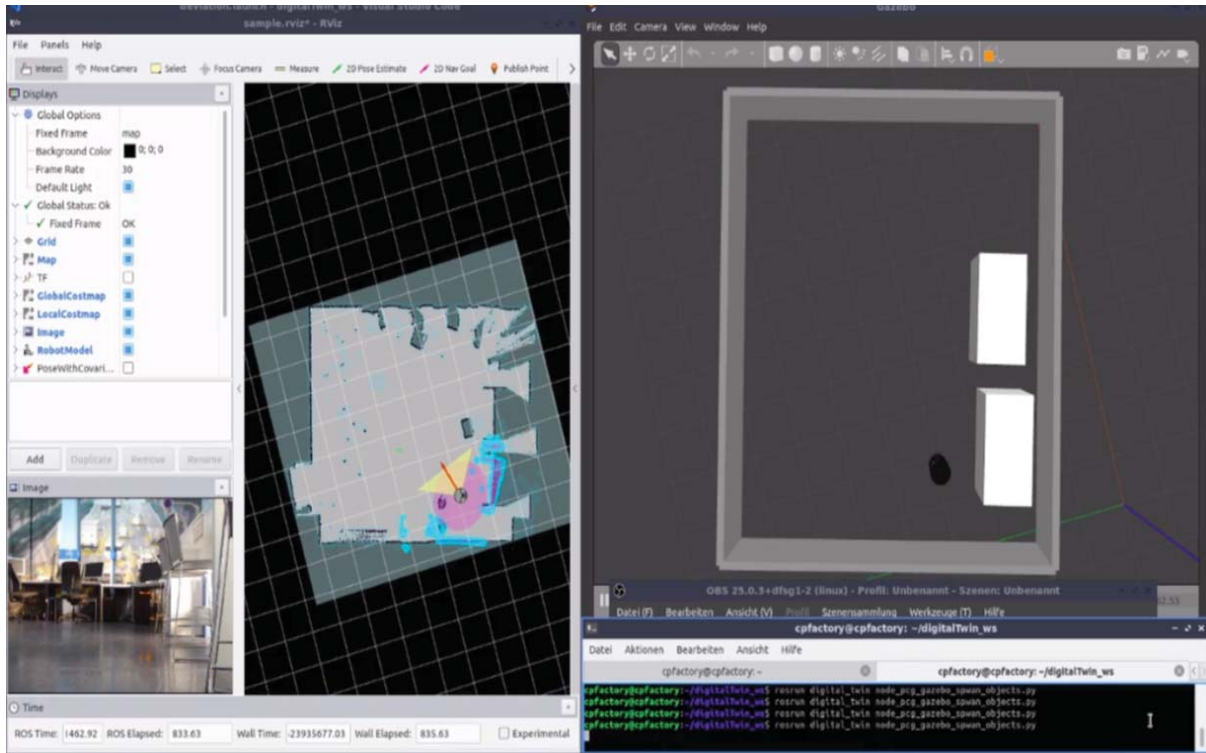
In order to evaluate projects dealing with Cyber-Physical Systems, it is necessary to apply them to a representative case study. To justify an application of risk assessment or safety assurance methods, such a system should be of safety critical domain. The SafeLegs is a lower-limb 6-DOF supportive exoskeleton system. This system along with the Simulink model is courtesy of KIT, Dr. Ilshat Mamaev. The goal of this system is to assist elderly users in their day-to-day activities. Particularly, it should aid the user during the straight walking motion. The high-level controller is realized on a single-board computer connected to the joint controllers via the CAN bus using CANopen protocol. The model-based DMP-based control were realized using MATLAB/Simulink and Hardware-in-the-Loop methods.

This case study system has been used twice so far. First, to evaluate a new implementation of our model-based fault injection method as a custom Simulink Fault Injection Block (FIBlock). We used the FIBlock for the fault injection experiments for the safety assessment of the SafeLegs. Upon the evaluation of the results, we discovered that the ability of the DMP-based controller to compensate for the error values mostly depends not only on a fault duration but also on the fault occurrence frequency. Then we developed a new Deep Learning-based approach for system failure prevention. We developed and trained two LSTM models on angular position and angular velocity signals of the exoskeleton system. Considering the limitations of wearable robotics, we quantized said LSTM models and deployed them on a Raspberry Pi 4B coupled with the Google Coral USB edge TPU device. For this system, it takes on average 0.035 seconds to predict one step. As the result, this system increased tolerable fault duration from the previous 0.3 seconds up to 1.25 seconds.

The SafeLegs equipped with an AI component is the perfect example of a modern Cyber-Physical System. It has to fulfill high safety standard, it consists of heterogeneous components that are prone to faults of different nature: rotary encoders that are prone to sensor stuck-at, joint controllers connected via CAN bus that are prone to network faults, as well as Deep Learning-based fault mitigation software, that is yet to be evaluate in terms of safety. Following, it will be used in the Greenlight project where we will develop higher-level guard system for smart fault mitigation.



Prototype of SafeLegs (KIT)



Simulationsdarstellung des Digitalen Zwillings

### Flexible Einzelstückfertigung für die Produktion der Zukunft

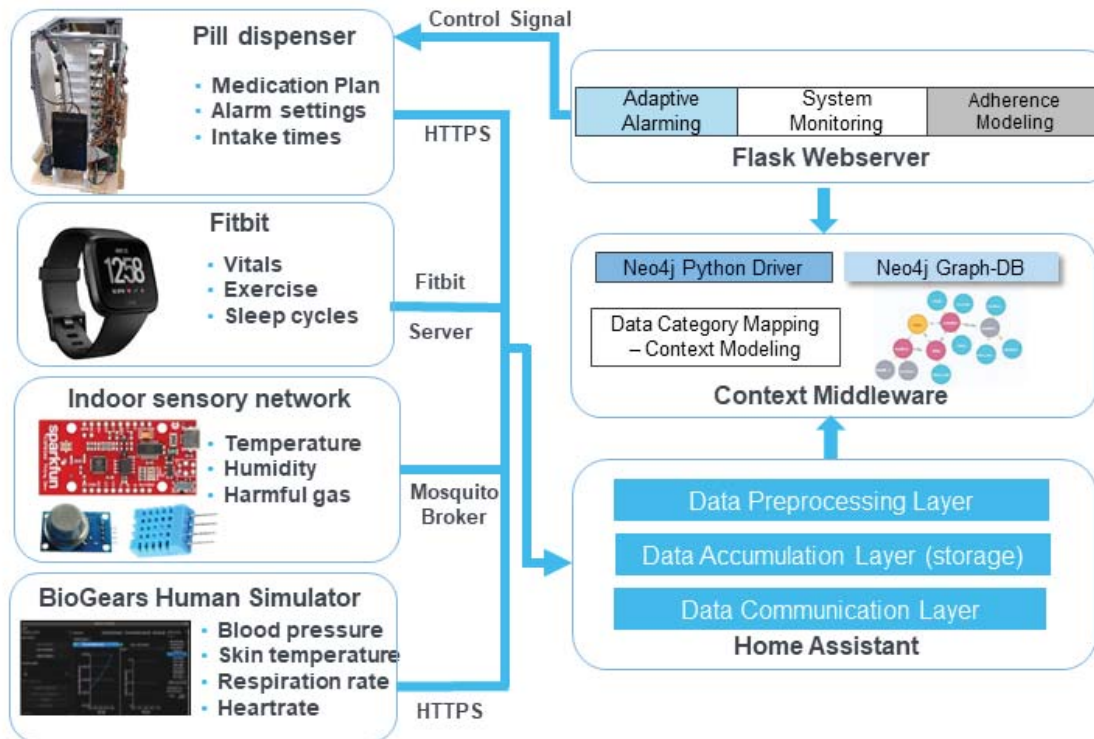
Bei diesem Demonstrator, der im Rahmen eines DFG-Großgeräte-Antrags angeschafft wurde, geht es um die Erforschung der flexiblen Produktion der Zukunft. In einem intelligenten Hochregallager werden Produkte und Ressourcen unterschiedlicher Reifegrade aufbewahrt. Alle Produktinformationen sind im zugehörigen Warenträger hinterlegt. Sobald Produktionskapazitäten frei werden, wird das am höchsten priorisierte Zwischenprodukt automatisch ausgewählt und in den Produktionsprozess gegeben. Ebenso wird mit Ressourcen verfahren: eine mobile Intralogistik-Einheit, ein sogenannter Robotino, holt das Zwischenprodukt ab und fährt es zur nächsten freien Produktionseinheit, wo das Zwischenprodukt weiterverarbeitet wird. Ist ein Produktionsabschnitt abgeschlossen, wird das entsprechende Teil wieder von einem Robotino abgeholt und im Lager kommissioniert.

Der Demonstrator wurde im vergangenen Jahr um einen Digitalen Zwilling erweitert, sodass neue effizienzsteigernde Innovationen in Simulation erprobt werden können. Außerdem wurde das Konzept der Erkennung der eigenen Grenzen eines Modells an diesem Demonstrator prototypisch implementiert.

Im Bild ist der Digitale Zwilling auf dem Monitor visualisiert, welcher die Fahrt des mobilen Roboters vom Hochregallager (rechts im Bild) zur Bearbeitungsstation (links im Bild) darstellt. Des Weiteren wurde ein eigenes, flexibles MES-System und ein Flottenmanagement-Programm entwickelt. Hier sollen weitere Entwicklungen insbesondere in Bezug auf die Robotinos im nächsten Jahr integriert werden.







Assistenzoptimierung durch Kontextbewusstheit des Tablettendispensers

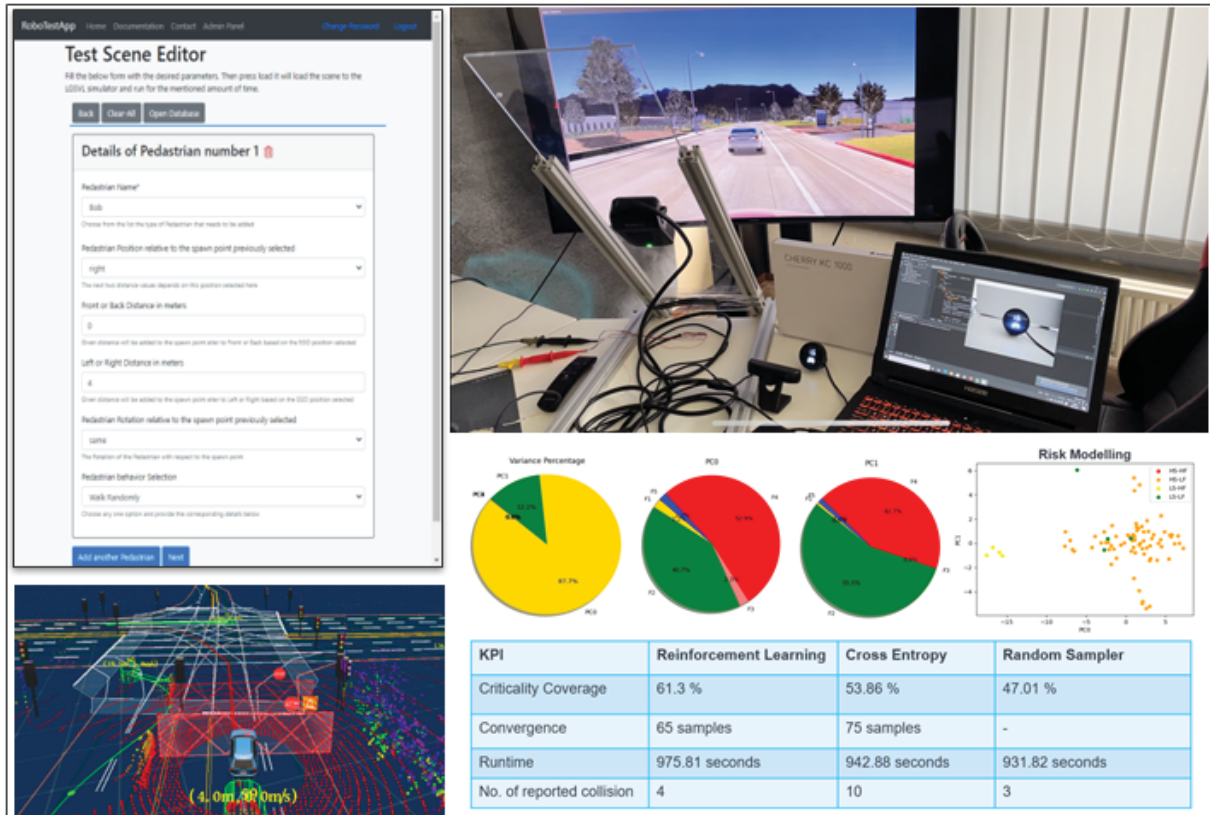
### Medizinisches Assistenzsystem zur nutzeradaptiven Unterstützung

Medizinische cyber-physische Automatisierungssysteme gewinnen aufgrund des demografischen Wandels und der Notwendigkeit von effizienten und nutzerzentrierten Methoden zur Erhaltung der Gesundheit an Bedeutung. Der Einsatz vernetzter CPS und KI-basierter Ansätze ist eine vielversprechende Lösung zur nutzeradaptiven Unterstützung. Das persönliche Medikamentenmanagement ist hierbei ein signifikanter Bereich, um eine effektive Medikation zu ermöglichen, insbesondere bei der Behandlung von mehrfach auftretenden chronischen Erkrankungen.

Das entwickelte Assistenzsystem berücksichtigt Altersgerechtigkeit durch die umgesetzte Usability-Design Aspekte des automatisierten Systems. Der Grad der Automatisierung und die multimodale Benutzungsschnittstelle unterstützen und entlasten besonders die älteren Nutzerinnen und Nutzer bei der Befüllung von Tabletten sowie bei der Tablettenausgabe.

Um eine nutzeradaptive Unterstützung zu ermöglichen, wird nun das System um ein Kontextmodell innerhalb einer Kontextmiddleware-basierten Architektur erweitert. Das Kontextmodell repräsentiert sowohl das Assistenzsystem als auch den Nutzer und die gemeinsame Umgebung durch System-, Nutzer- und Umgebungsparameter. Diese werden aus heterogenen Datenquellen erfasst, strukturiert und zur graph-basierten Kontextmodellierung zur Middleware weitergeleitet. Das Kontextmodell wird als zeitbasiertes Semantic-Labeled Property Graph umgesetzt und durch die Anwendung von graph-zentrierten Algorithmen kontinuierlich verbessert. Über die Anwendungsschicht greifen verschiedene Anwendungen auf die Graph-Datenbank zu, wo Instanzen des Kontextmodells verwaltet werden.

Drei Anwendungsfälle werden auf Basis dieses Demonstrators erarbeitet. Der erste Anwendungsfall adressiert die iterative Auswertung von Alarmeinstellung und Tablettenentnahmezeiten zur Aktualisierung der Alarmeinstellung basierend auf das tatsächliche Patientenverhalten. Der zweite Anwendungsfall adressiert die kontextbasierte Analyse der Vitaldaten in Zusammenhang mit den Aktivitäten und dem Medikationsplan. Der dritte Anwendungsfall adressiert die Ermittlung, Berechnung sowie die Verbesserung der eigenen medizinischen Adhärenz, was bisher auf generischer und unsystematischer Weise erfolgt.



Demonstrator zur intelligenten Indizierung von Testfällen für Autonome Systeme



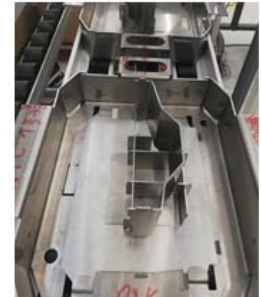
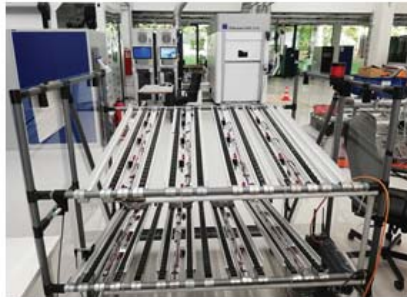
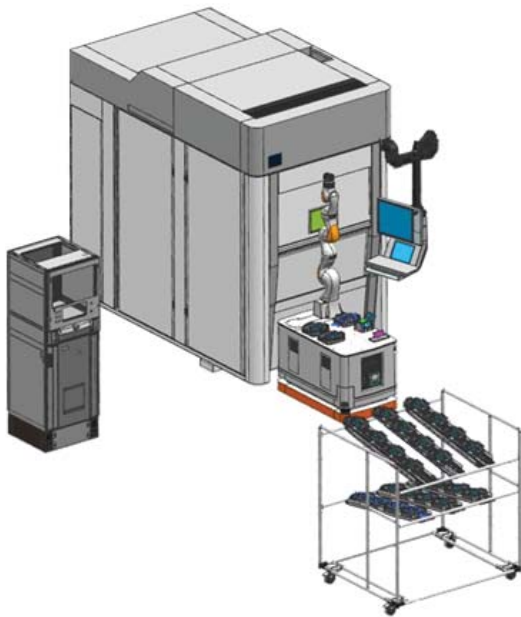
## Weiterentwickelte Demonstratoren am IAS

### Szenarienbasiertes Testen autonomer Fahrfunktionen

Im Rahmen des Stuttgarter ChangeLabs wurde am IAS ein Demonstrator für autonome Fahrfunktionen realisiert. In Verbindung mit der aufgebauten Hardware wurde eine ergänzende Software entwickelt. Bei der Software handelt es sich um eine Webapp, welche für die Steuerung der Funktionen und die Datenerhebung zuständig ist. Es können entweder manuell Testfälle und Szenarien erstellt werden oder über ein Tool automatisch generierte Testszenarien durchgeführt werden.

Die Szenarien können über diverse Parameter verfeinert und speziell auf Testfälle zugeschnitten werden und setzen sich aus Lichtverhältnissen, Witterungsbedingungen, Fahrzeugeigenschaften und weiteren Dimensionen zusammen. Der Simulator kann über eine entwickelte Schnittstelle direkt durch die Webapp gesteuert werden.

Die in solchen Szenarien gelernten Zusammenhänge konnten für Folgeversuche weiterverwendet werden, sodass ein inkrementeller Lernprozess realisiert wurde. Weiterhin wurde der Demonstrator um moderne Fahrassistenzsysteme in Form einer risikobewerteten Frontkamera ergänzt. Durch die Kombination von Fahrassistenzsystem und dem Demonstrator können autonom agierende Fahrzeug-Algorithmen untersucht werden und simultan eine Aussage über die Genauigkeit der verwendeten Fahrassistenzsysteme getroffen werden.



Weiterentwicklung der flexiblen Produktionsanlage im Forschungscampus ARENA2036

### Flexible Produktionsanlage in der ARENA2036 mit ihrem Digitalen Zwilling

Im Forschungscampus ARENA2036 (**A**ctive **R**esearch **E**nvironment for the **N**ext Generation of **A**utomobile) wurde zusammen mit den Unternehmen Siemens, Kuka und Trumpf eine flexible Produktionsanlage im Kooperationsprojekt „FlexCell“ entwickelt. Das flexible Produktionssystem besteht aus drei automatisierten, autonom agierenden Systemen, dem intelligenten Lager (iLager), der Schweißmaschine und einem mobilen Roboter. Mit diesen Komponenten wurde gezeigt, dass eine feste Anordnung in einer klassischen Linienproduktion aufgelöst und Produkte flexibel nach Bedarf durch den Roboter hergestellt werden können. Eine übergeordnete Steuerung ordnet die Produktionsaufträge und Subtasks den Teilsystemen zur Bearbeitung zu. Außerdem wird die Anlage verwendet, um die Vorteile einer durchgängigen Digitalisierung des Lebenszyklus der Anlage und dem Einsatz eines Digitalen Zwillings zu demonstrieren.

Das IAS hat in diesem Projekt das iLager digital entworfen, die Steuerung programmiert und schließlich als reale Anlagenkomponente aufgebaut. Das iLager bevorratet die vorgefertigten Blecheinzelteile, welche dem mobilen Roboter in Werkstückträgern zur Verfügung gestellt werden. Die mechanischen, elektrischen und Software Modelle wurden mit verschiedenen Tools auf einem PLM Server erstellt und zum Digitalen Zwilling des iLagers integriert.

Des Weiteren wurde ein Echtzeitlokalisierungssystem (RTLS) integriert, um das Fahrverhalten des mobilen Roboters dynamisch zu optimieren und die Positionen des Materials zu überwachen. Zuletzt wurde das iLager um ein RFID-System erweitert, das eine Identifikation des Materials ermöglicht. Dadurch kann die bisher bestehende sortenreine Lagerung im Lager aufgelöst werden und mehr als vier Bauteile in den vier Lagerreihen für den Roboter vorgehalten werden. Damit wurde das Ziel erreicht, flexibel neue Fahrzeugbauteile integrieren zu können, ohne dass das iLager mechanisch erweitert werden muss. Diese RTLS- und RFID-Daten über das Produktionssystem sind außerdem ein Teil der Forschung zur nachträglichen, automatisierten Erstellung eines Digitalen Zwillings für bestehende Systeme.

## ÜBERSICHT ZU DEN IAS-VERÖFFENTLICHUNGEN AUS DEM JAHR 2021

Weitere Informationen, Papers, Texte und Bilder finden Sie auf der IAS-Webseite [www.ias.uni-stuttgart.de](http://www.ias.uni-stuttgart.de)  
⇒ Veröffentlichungen oder auf ResearchGate [https://www.researchgate.net/profile/Michael\\_Weyrich](https://www.researchgate.net/profile/Michael_Weyrich)

In diesem Jahr wurden 47 Beiträge neu veröffentlicht:

### A concept for the automated layout generation of an existing production line within the Digital Twin

D. Braun, F. Biesinger, N. Jazdi and M. Weyrich

*8th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems, 29 Sept.-1 Oct. 2020, Athens, Greece, 2021*

### A Fault Modeling Based Runtime Diagnostic Mechanism for Vehicular Distributed Control Systems

A. dos Santos Roque, N. Jazdi, E. Pignaton de Freitas and C. E. Pereira

*In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, pp.1-13, Apr. 2021, 2021.*

### A Hybrid Modelling Approach for Parameter Estimation of Analytical Reflection Models in the Failure Analysis Process of Semiconductors

S. Kamm, K. Sharma, N. Jazdi and M. Weyrich

*17th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 23-27 Aug. 2021, Lyon, France, pp. 417-422, 2021*

### A Methodology to Identify Cognition Gaps in Visual Recognition Applications Based on Convolutional Neural Network

H. Vietz, T. Rauch, A. Löcklin, N. Jazdi and M. Weyrich

*17th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 23-27 Aug. 2021, Lyon, France, pp. 2045-2050, 2021.*

### An Approach for Context-Aware Cyber-Physical Automation Systems

N. Sahlab, N. Jazdi and M. Weyrich

*4th IFAC Conference on Embedded Systems, Computational Intelligence and Telematics in Control, 5-7 Jul. 2021, Valenciennes, France, pp. 171-176, 2021.*

### Anomaly Detection for Cyber-Physical Systems Using Transformers

Y. Ma, A. Morozov and S. Ding

*ASME 2021 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE 2021), 1.-5. Nov. 2021, 2021.*

### Artificial Intelligence and Data Analytics in Resilient Autonomous Systems

C. A. Thieme, A. Morozov, S. Blindheim and R. Maidana

*In: Proceedings of the International Workshop on Autonomous Systems Safety (IWASS 2021), 20.-21. and 28. Apr. 2021, pp. 36-44, 2021.*



## PUBLIKATIONEN

### A survey on anomaly detection for technical systems using LSTM networks

B. Lindemann, B. Maschler, N. Sahlab and M. Weyrich

*In: Computers in Industry, vol. 131, pp. 103498, June 2021, 2021.*

### A Tier-based Model for Realizing Context-Awareness of Digital Twins

N. Sahlab, D. Braun, T. Jung, N. Jazdi and M. Weyrich

*26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 07-10 Sept. 2021, Västerås, Sweden, 2021.*

### Architecture of a Human-Digital Twin as Common Interface for Operator 4.0 Applications

A. Löcklin, T. Jung, N. Jazdi, T. Ruppert and M. Weyrich

*In: Procedia CIRP, Vol. 104, pp. 458-463, Sept. 2021, 2021.*

### Aspects of Industrial CPS critical for Risk Assessment Methods

T. Fabarisov, G. Siedel, S. Vock and A. Morozov

*Системная инженерия и информационные технологии (SIIT), ISSN 2686-7044 (Online), 2658-5014 (Print), 2021*

### Automated data-driven creation of the Digital Twin of a brownfield plant

D. Braun, W. Schloegl and M. Weyrich

*26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 07-10 Sept. 2021, Västerås, Sweden, 2021*

### Automated Hardening of Deep Neural Network Architectures

M. Beyer, C. Schorn, T. Fabarisov, A. Morozov and K. Janschek

*ASME 2021 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE 2021), 1.-5. Nov. 2021, 2021.*

### Automated Transformation of uml/sysml Behavioral Diagrams for Stochastic Error Propagation Analysis of Autonomous Systems

A. Morozov, T. Mutzke and K. Ding

*ASCE - ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering, Vol. RISK-21-1024, Sept. 2022, 8(3): 031102 (12 pages), published online: 24. Sept. 2021, 2021*

### Automatisierte Datenintegration für den Fehleranalyseprozess von Halbleiterbauelementen mithilfe von Ontologien und Graphen

S. Kamm, N. Jazdi and M. Weyrich

*VDI-Kongress Automation 2021, 22. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik, 29-30 Jun. 2021.*



### Cyber-physical production systems: enhancement with a self-organized reconfiguration management

T. Müller, N. Jazdi, J.-P. Schmidt and M. Weyrich

*14th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (ICME), 15-17 Jul. 2020, Gulf of Naples, Italy, in: Procedia CIRP, vol. 99, 2021, pp. 549-554, 2021.*

### Data administration shell for data-science-driven development

A. Löcklin, H. Vietz, D. White, T. Ruppert, N. Jazdi and M. Weyrich

*In: Procedia CIRP, vol. 100, May 2021, pp. 115-120, 2021.*

### Decision Support on the Shop Floor Using Digital Twins: Architecture and Functional Components for Simulation-Based Assistance

F. G. Listl, J. Fischer, R. Rosen, A. Sohr, J. C. Wehrstedt and M. Weyrich

*International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS), Nantes, France, 5-9 Sept. 2021, 2021, published in: Dolgui A., Bernard A., Lemoine D., von Cieminski G., Romero D. (eds) Advances in Production Management Systems, IFIPACT, vol 630., pp. 284-292, Springer, Cham, 2021.*

### Deep industrial transfer learning at runtime for image recognition

B. Maschler, S. Kamm and M. Weyrich

*In: at - Automatisierungstechnik, vol. 69, no. 3, Mar. 2021, pp. 211-220, 2021.*

### Deep Learning-based Error Mitigation for Assistive Exoskeleton with Computational-Resource-Limited Platform and Edge Tensor Processing Unit

T. Fabarisov, I. Mamaev, A. Morozov and K. Janschek

*ASME 2021 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE 2021), 1-5 Nov. 2021, 2021.*

### Deep Transfer Learning for Industrial Automation

B. Maschler and M. Weyrich

*In: IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 15, no. 2, Jun. 2021, pp. 65-75, 2021.*

### Demonstration of a Limited Scope Probabilistic Risk Assessment for Autonomous Warehouse Robots With OpenPRA

P. Grimmeisen, A. Karimov, M. A. Diaconeasa and A. Morozov

*ASME 2021 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE 2021), 1-5 Nov. 2021, 2021.*

### Eine Methodik zur Erstellung multi-dimensionaler Modelle des Digitalen Zwillings für automatisierte Produktionssysteme

D. Braun, W. Schlögl and M. Weyrich

*Automation 2021, VDI Verlag GmbH Düsseldorf, pp. 29-42, 29-30 Jun. 2021, 2021.*

## PUBLIKATIONEN

### Enhancing an Intelligent Digital Twin with a Self-organized Reconfiguration Management based on Adaptive Process Models

T. Müller, B. Lindemann, T. Jung, N. Jazdi and M. Weyrich  
*54th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 22-24 Sept. 2021, Athens, Greece, 2021.*

### Environment modeling for evaluating system variants in model-based systems engineering

D. White, N. Sahlab, N. Jazdi and M. Weyrich  
*54th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 22-24 Sept. 2021, Athens, Greece, 2021*

### Evaluation of graphic data corruptions impact on artificial intelligence applications

O. Molokovich, A. Morozov, N. Yusupova and K.Janschek  
*In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1069, no. 1, pp. 012010, 2021.*

### Identification of Reconfiguration Demand and Generation of Alternative Configurations for Cyber-Physical Production Systems

T. Müller, S. Walth, N. Jazdi and M. Weyrich  
*In: Advances in Automotive Production Technology - Theory and Application, Jun. 2021, 2021.*

### Industrial autonomous systems: a survey on definitions, characteristics and abilities

M. Müller, T. Müller, B. A. Talkhestani, P. Marks, N. Jazdi and M. Weyrich  
*In: at - Automatisierungstechnik, vol. 69, no. 1, Jan. 2021, pp. 3-13, 2021.*

### Integration of data and software into the Digital Twin via AML

D. Braun, B. Ashtari and M. Weyrich  
*In: AutomationML, Chapter: 29, pp.521-538, Jul. 2021, 2021.*

### Key Technologies of Automation - A Short Journey

M. Weyrich  
*Festveranstaltung zum 100 jährigen Jubiläum der DonNTU (Donezker Nationale Technische Universität - G.J.-Pukhov-Institut für Simulationsprobleme in Energetik), NAW Ukraine, Programm der wissenschaftlichen Jubiläumskonferenz SIMULATION UND COMPUTER-GRAFIK, 27. May 2021, 2021.*

### Knowledge Discovery in Heterogeneous and Unstructured Data of Industry 4.0 Systems: Challenges and Approaches

S. Kamm, N. Jazdi and M. Weyrich  
*54th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 22-24 Sept. 2021, Athens, Greece, 2021*

#### Knowledge Graphs as Enhancers of Intelligent Digital Twins

N. Sahlab, S. Kamm, T. Müller, N. Jazdi and M. Weyrich

*4th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), 10-13 May 2021, Victoria, BC, Canada, pp. 19-24, 2021.*

#### KrakenBox: Deep Learning-Based Error Detector for Industrial Cyber-Physical Systems

S. Ding, A. Morozov, T. Fabarisov and S. Vock

*ASME 2021 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE 2021), 1-5 Nov. 2021, 2021.*

#### Non-Destructive Failure Analysis of Power Devices via Time- Domain Reflectometry

K. Sharma, S. Kamm, V. Afanasenko, K. M. Barón and I. Kallfass

*17th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 23-27 Aug. 2021, Lyon, France, pp. 423-428, 2021.*

#### Regularization-based Continual Learning for Anomaly Detection in Discrete Manufacturing

B. Maschler, T. T. H. Pham and M. Weyrich

*54th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 22-24 Sept. 2021, Athens, Greece, vol. 104, Nov. 2021, pp. 452-457, 2021.*

#### Regularization-based Continual Learning for Fault Prediction in Lithium-Ion Batteries

B. Maschler, S. Tatiyosyan and K. Janschek

*30th European Safety and Reliability Conference (ESREL), 1-5 Nov. 2020, Venice, Italy, 2020.*

#### Model-Based Error Detection for Industrial Automation Systems Using LSTM Networks

S. Ding, A. Morozov, S. Vock and M. Weyrich

*15th CIRP Conference on Intelligent Computation and Manufacturing Engineering (ICME), Jul. 2021, Gulf of Naples, Italy, 2021.*

#### Systematisches Testen für autonomes Fahren

C. Ebert, M. Weyrich, B. Lindemann, and S. P. Chandrasekar

*In: ATZ elektronik, vol. 16, no. 3, pp. 26-30, 2021.*

#### System-theoretic approach to the reliability assessment of the vessel autopilot system

W. Tengfei, M. Y. Zhang, M. A. Diaconeasa and A. Morozov

*The 6th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS 2021), Accepted paper.*

#### Tailored digitization with real-time locating systems: Ultra-wideband RTLS for production and logistics

A. Löcklin, K. Przybysz-Herz, T. Ruppert, R. Libert, L. Jakab, N. Jazdi and M. Weyrich

*In: atp magazin, vol. 63, no. 3, pp. 76-83, Mar. 2021, 2021.*

## PUBLIKATIONEN

### Testen 4.0 in der Automatisierungstechnik: Agiles modellbasiertes Testen vernetzter Systeme und Komponenten

A. Löcklin, C. Kotsch, K. Krüning, M. Rentschler, C. Ebert, M. Müller and M. Weyrich  
*Automation 2021, VDI Verlag GmbH Düsseldorf, 29-30 Jun. 2021, pp. 335-352, 2021.*

### Towards Deep Industrial Transfer Learning for Anomaly Detection on Time Series Data

B. Maschler, T. Knodel and M. Weyrich  
*26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 07-10 Sept. 2021, Västerås, Sweden, 2021.*

### Towards establishing formal verification and inductive code synthesis in the PLC domain

M. Weiß, P. Marks, B. Maschler, D. White, P. Kesseli and M. Weyrich  
*19th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Palma de Mallorca, Spain, Jul. 2021, 2021.*

### Transfer Learning as an Enabler of the Intelligent Digital Twin

B. Maschler, D. Braun, N. Jazdi and M. Weyrich  
*31st CIRP Design Conference, Enschede, The Netherlands, May 2021, 2021.*

### Transfer Learning as an Enhancement for Reconfiguration Management of Cyber-Physical Production Systems

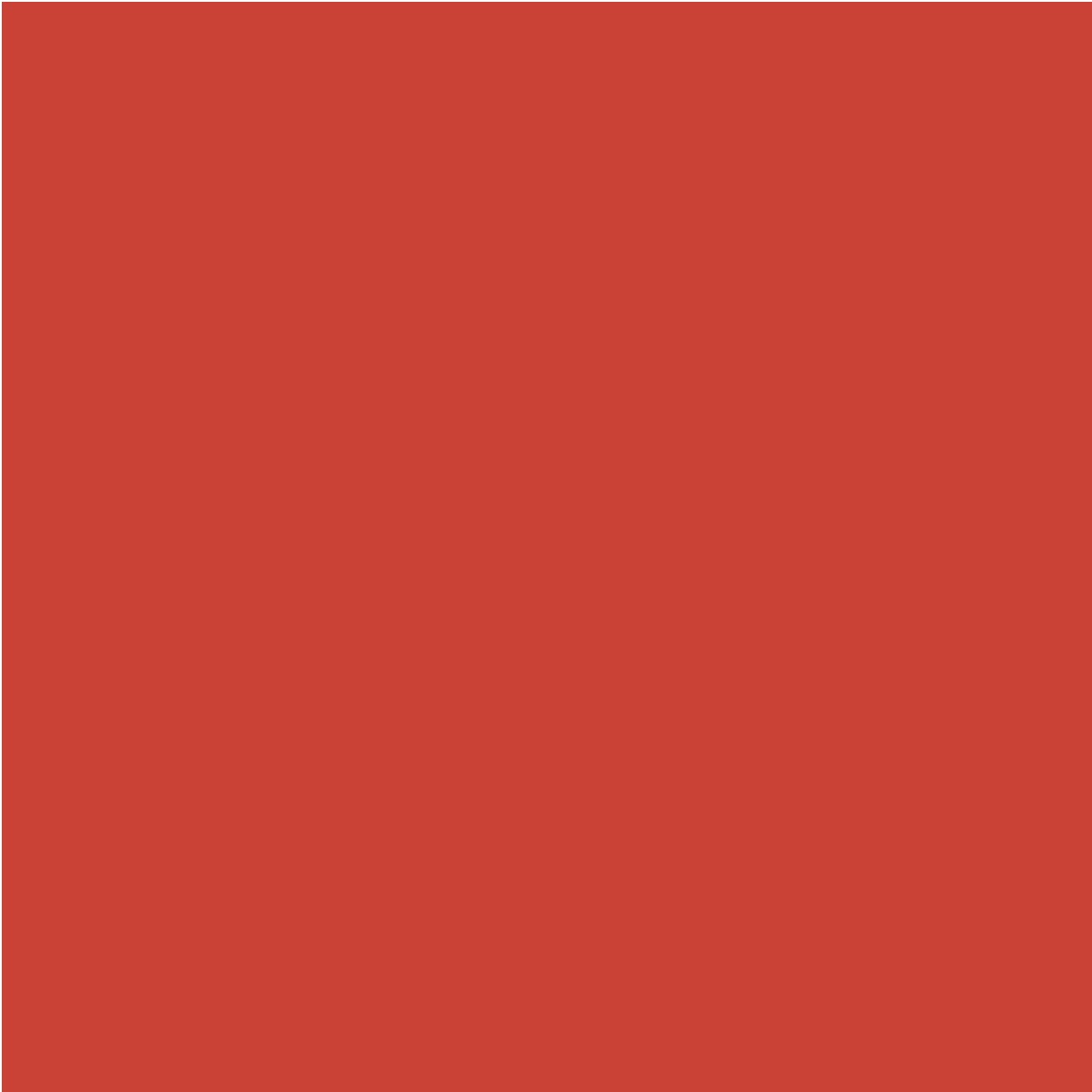
B. Maschler, T. Müller, A. Löcklin and M. Weyrich  
*15th CIRP Conference on Intelligent Computation and Manufacturing Engineering, July 2021, Gulf of Naples, Italy, 2021.*

### Validation of Autonomous System

C. Ebert, B. Lindemann and M. Weyrich  
*OOP, SOFTWARE MEETS BUSINESS, Die Konferenz für Software-Architektur, 08-12 Feb. 2021, 2021.*

### Werkstückverfolgung und adaptive Steuerung beim Gesenkschmieden

M. Liewald, C. Karadogan, A. Felde, N. Jazdi, B. Lindemann and M. Weyrich  
*In: Fachzeitschrift Massivumformung, Industrieverband Massivumformung e. V., Ausgabe Mar. 2021, 2021.*



# LEHRE

## LEHRE IN BESONDEREN ZEITEN

Die Vorlesungen am IAS wurden im Sommersemester 2021 komplett online durchgeführt, wobei einige der Labore mit Sondergenehmigung in Präsenz stattfanden.

Im Wintersemester 2021/22 folgte dann der sog. Hybridmodus. Dabei werden sogenannte „Ankervorlesungen“, die für Studierende der ersten Semester in Bachelor oder Master von besonderer Bedeutung sind, wieder in Präsenz (also im Hörsaal) durchgeführt. Ebenfalls in Präsenz werden nun auch wieder alle Fachlabore veranstaltet, da diese einen Zugang zu besonderen Geräten benötigen. Bei solchen Präsenzveranstaltungen gelten besondere Abstandsregeln bzw. nur eine hälftige Belegung der Hörsäle sowie eine Maskenpflicht. Diese Präsenz-Vorlesungen werden außerdem live übertragen und aufgezeichnet.

Die anderen Vorlesungen in höheren Semestern werden „online“ gehalten, d. h. zum Termin im Internet übertragen und zusätzlich aufgezeichnet. Diese Vorlesungen werden durch Sprechstunden in Präsenz ergänzt, die von Zeit zu Zeit stattfinden.

Am IAS kommen wir so im Wintersemester auf eine Quote von über 50 % Präsenzterminen.

## MASTERSTUDIENGANG AUTONOME SYSTEME

Neben dem Lehrgebiet Automatisierungstechnik und dem Lehrgebiet Softwaresysteme ist der im vorletzten Jahr neu geschaffene Masterstudiengang Autonome Systeme bei der Fakultät 5 angesiedelt und wird von Prof. Weyrich in seiner Funktion als Studiendekan betreut. Der Studiengang ist in zwei wählbaren Profilen Vernetzte Intelligenz und Intelligente Automatisierung in Kombination mit fünf vertiefenden Anwendungsfächern organisiert, an denen Institute aus den Bereichen Maschinenbau, Technische Kybernetik, Elektro- und Informationstechnik und Informatik mitwirken.

Die Studierendenzahlen im Studiengang nehmen seit dessen Eröffnung zum Wintersemester 2019 stetig zu und es finden sehr gute Studierende den Weg nach Stuttgart.

# VORLESUNGEN

## Grundlagen der Softwaresysteme

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Dustin White, M. Sc.

Inhaltlich behandelt die Vorlesung weiterhin die Grundlagen der objektorientierten Softwareentwicklung, die heute in einer Vielzahl industrieller Softwareprojekte zum Einsatz kommt. Die Vorlesung umfasst die Basiskonzepte der objektorientierten Denkweise, die objektorientierte Analyse, den objektorientierten Entwurf bis hin zur Implementierung objektorientierter Softwaresysteme. Als Notation kommt dabei die Unified Modeling Language (UML) zum Einsatz.

## Automatisierungstechnik I

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Benjamin Maschler, M. Sc.

Vorlesungen und Übungen der Automatisierungstechnik I wurden auch dieses Jahr Pandemie-bedingt komplett digital nach der Methode des „Flipped Classroom“ durchgeführt. Dabei werden den Studierenden mittels voraufgezeichneter Videos und umfangreicher Skripte die Lehrinhalte zugänglich gemacht. Zusätzlich gibt es digital abgehaltene Sprechstunden, in denen die Studierenden Fragen stellen und das Gelernte mit den Dozierenden diskutieren können.

Ausgebaut wurden die im Vorjahr neu eingeführten Fallstudien, anhand derer die Studierenden die Möglichkeit bekamen, sich anhand realer Problemstellungen aus den Bereichen der Automotive IT, der Prozessautomatisierung sowie der Standardisierung mit dem Lernstoff auseinanderzusetzen.

Der Fokus der Lehrveranstaltung liegt auf informationstechnischen Echtzeitanwendungen für Steuerungsaufgaben. Inhaltlich liegt der Schwerpunkt auf den grundlegenden Begriffen der Automatisierungstechnik, Automatisierungs-Gerätesystemen und deren Topographien, Schnittstellen zwischen dem Automatisierungscomputersystem und dem technischen Prozess, Grundlagen zu Kommunikationssystemen in der Automatisierungstechnik, Grundlagen der Echtzeitprogrammierung sowie Programmiersprachen für die Automatisierungstechnik.

Die Vorlesung richtet sich an Studierende der Fachrichtungen Elektrotechnik, Informationstechnik, Mechatronik, Maschinenbau sowie Medizintechnik und wird dabei sowohl von Bachelor- als auch von Masterstudierenden besucht.

## Automatisierungstechnik II

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Manuel Müller, M. Sc.

Im Rahmen der Vorlesung Automatisierungstechnik II lernen die Studierenden, Automatisierungsprojekte unter Einhaltung der geforderten Sicherheitsnormen fachgerecht durchzuführen. Die Vorlesung vermittelt etablierte Entwicklungsmethoden und Rechnerwerkzeuge, Modellierungstechniken, Algorithmen zur Informationsverarbeitung und zum maschinellen Lernen und gibt einen Ausblick auf aktuelle Themen der Automatisierungstechnik. Dabei wendet sich die Vorlesung an Studierende verschiedener Studiengänge, unter anderem der Elektrotechnik und Informationstechnik, der Mechatronik, der Elektromobilität, der Medizintechnik und Nachhaltige Elektrische Energieversorgung.

Die Vorlesung Automatisierungstechnik II baut auf Inhalte der Vorlesung Automatisierungstechnik I auf. Dieses Semester kamen neue Inhalte zur Vertiefung des Themas der Neuronale Netzwerke hinzu. Außerdem wurde das Thema der Wissensverarbeitung um Knowledge Graphs erweitert und das Thema der Ontologien vertieft. Das Thema Fuzzy-Control wurde dafür aus der Automatisierungstechnik II herausgenommen.

## Verlässlichkeit intelligenter verteilter Automatisierungssysteme

Dozent und Ansprechpartner: Dr.-Ing. Nasser Jazdi

Seit 2019 wird die Vorlesung Verlässlichkeit intelligenter verteilter Automatisierungssysteme mit 6 Leistungspunkten angeboten. Im Rahmen dieser Vorlesung werden die Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechniken gelehrt und mit dynamischer Berechnung der Zuverlässigkeit im Kontext von Internet of Things ergänzt. Neben der schriftlichen Prüfung müssen die Studierenden eine Projektarbeit durchführen. In der Projektarbeit werden die aktuellen Forschungsthemen wie „KI in der Automatisierung“, „Digital Twin“, „Cyber Physical Systems“ und „Einsatz von maschinellem Lernen in der Automatisierung“ untersucht und das Ergebnis in einer Ausarbeitung zusammengefasst.



# VORLESUNGEN

## Technologien und Methoden der Softwaresysteme I

Dozent: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Andrey Morozov

Ansprechpartner: Sheng Ding, M. Sc.

Die Vorlesung Technologien und Methoden der Softwaresysteme I behandelt die standardisierte, ingenieurmäßige Herstellung von Software und die damit verbundenen Technologien und Methoden. Softwaretechnik umfasst eine Vielzahl von Teilgebieten, die in ihrer Gesamtheit den gesamten Entwicklungsprozess von der Planung bis zum Testen und dem „Rollout“ begleiten.

Jun.-Prof. Andrey Morozov und Sheng Ding haben in diesem Jahr die Vorlesungen und Übungen übernommen. Der Inhalt des Kurses bleibt aktuell nahezu unverändert. Basis des Lehrprozesses sind wegen der COVID-Beschränkung zunächst aufgezeichnete Videos, Jun.-Prof. Morozov hat hierzu neue Videos vorbereitet. Zusätzlich führt er wöchentliche Sprechstunden durch, in denen er Schlüsselpunkte des Kurses im Detail erklärt und Fragen der Studierenden beantwortet.

## Technologien und Methoden der Softwaresysteme II

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Nasser Jazdi

Im Rahmen der Vorlesung Technologien und Methoden der Softwaresysteme II werden aktuelle Themen aus dem Bereich der Softwaretechnik präsentiert. Während die Vorlesung TMS I verstärkt Themen aus dem Bereich Entwicklung von Software behandelt, beantwortet der zweite Teil vorrangig Fragen aus dem Umfeld der Softwareentwicklung, z. B. mit welchen Maßnahmen und Mitteln die Qualität von Softwaresystemen erhöht werden kann, welche Möglichkeiten bei der Wartung bzw. Weiterentwicklung von bestehenden Softwaresystemen zur Verfügung stehen und welche aktuellen Themen und Techniken die zukünftige Weiterentwicklung der Softwaretechnik prägen.

Die Struktur der Vorlesung wurde überarbeitet. Hierzu wurde ein neues Kapitel „Systems Engineering“ eingeführt. Außerdem wurde das neue Thema „Serviceorientierte Architektur“ (SOA) aufgenommen. Dieses Thema bildet neben den Themen „Softwarewiederverwendung“ und „Agentenbasierte Softwareentwicklung“ den Inhalt des neu eingeführten Kapitels „Komplexitätsbeherrschung in der Software-Entwicklung“.

## Seminar Intelligente cyber-physische Systeme

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Timo Müller, M. Sc.

Im Seminar Intelligente cyber-physische Systeme lernen Studierende, spezielle Themenstellungen aus dem Bereich intelligenter cyber-physischer Systeme wissenschaftlich zu bearbeiten. Sie recherchieren hierzu die in wissenschaftlichen Datenbanken angebotene Fachliteratur. Dabei erlernen sie die Analyse bzw. Extraktion von wesentlichen Zusammenhängen, Methoden, Verfahren sowie Tools. Weiterhin beurteilen die Studierenden ihre Ergebnisse und stellen diese sowohl in Form einer schriftlichen Ausarbeitung als auch in Form einer Fachpräsentation vor.

Das Seminar ging im Wintersemester 2021/22 in seine zweite Runde. Während Prof. Weyrich und das IAS die Hauptorganisation sowie die technischen Aspekte verantworten, werden unter Anleitung von Dr. Eric Heintze vom Institut für Entrepreneurship und Innovationsforschung „Stakeholder und Value Proposition“-Aspekte behandelt, um den Horizont der Studierenden in dieser Hinsicht zu erweitern.

## Industrial Automation Systems

Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Contact Person: Nada Sahlab, M. Sc.

The Industrial Automation Systems lecture addresses basic concepts and foundations related to industrial automation and introduces emerging innovations such as Industry 4.0 concepts. These are represented by fundamental terms of automation technology, automation device systems and their topologies, interfaces between the automation systems and the technical process, basics of communication systems in automation technology, basics of real-time programming as well as programming languages for automation technology. The inter-relations between these topics and keywords such as machine-to-machine communication, Internet-of- Things, Industrial Internet, Real Time Operation etc. are shown. Furthermore, students have the chance to work on practical case studies addressing concurrent challenges in industrial automation and discuss their findings during the lecture.

The lecture is aimed at international students of electrical engineering, information technology, mechatronic and mechanical engineering backgrounds and is attended by master students.

## Software Engineering for Real-Time Systems

Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Christof Ebert

Contact Person: Simon Kamm, M. Sc.

Die Vorlesung „Software Engineering for Real-Time Systems“ wird von Prof. Dr.-Ing. Christof Ebert (Fa. Vector Consulting Services GmbH) im Rahmen des internationalen Studiengangs INFOTECH gehalten. Die Studierenden bewerten die Vorlesung immer wieder sehr gut, denn anders als in vielen anderen Vorlesungen kommen die Fragestellungen und Vorgehensweisen direkt aus der Industrie.

Der rote Faden der Vorlesung ist die professionelle Entwicklung von Echtzeit-Systemen über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Insbesondere werden unterschiedliche Prozesse und Prozessmodelle sowie aktuelle Software-Entwicklungswerkzeuge vorgestellt. Dabei spannt sich der Bogen vom Requirements Engineering über Design, Implementierung, Verifikation, Validierung bis hin zum Qualitäts- und Projektmanagement. Die Vorlesung beschreitet in jedem Jahr Neuland, derzeit beispielsweise aktuelle Architekturen für Internet of Things und Automotive, Multi-Core Absicherung, Cybersecurity, Validierung Autonomer Systeme, global verteilte Teams sowie die agile Softwareentwicklung kritischer Systeme.

## New course at IAS: Modeling and Analysis of Automation Systems (MAAS)

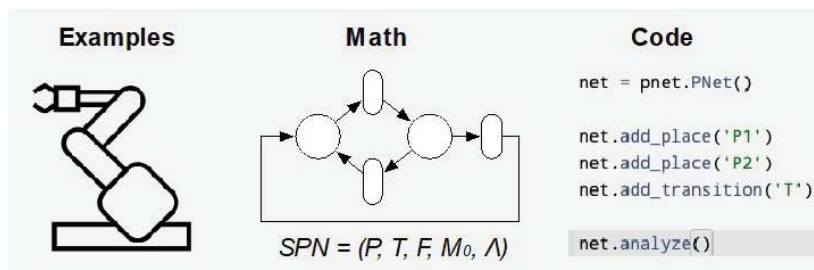
Lecturer: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Andrey Morozov

Contact Person: Tagir Fabarisov, M. Sc.

In the Summer Semester 2021, we have introduced a brand-new IAS course: Modeling and Analysis of Automation Systems (MAAS). The course was given by Jun.-Prof. Andrey Morozov and Tagir Fabarisov.

Design and analysis of modern automation systems require powerful models that are able to cover the complexity of industrial cyber-physical components. MAAS guides our students from basic to advanced system models and demonstrates their features and applications. We start with elements of set theory, graph theory, and Boolean algebra. After that, we talk about discrete system models such as state machines and automata. We learn how to analyze parallel and concurrent systems with Petri nets. We discuss the principles of model checking and temporal logic. The last part of the course is devoted to stochastic models, including Bayesian networks, Markov chains, and stochastic Petri nets.

Three pillars of MAAS are examples, mathematics, and software. MAAS tells our students about essential mathematical concepts that help to design and analyze complex software and hardware. Yet, this course goes far beyond mathematics. In the lectures, the students learn about the advantages and disadvantages of the models, available software tools and libraries, and even some history behind them. In the exercises, we go deeper into the underlying math. We code some of these models and analytical algorithms in Python. All slides, videos, and Jupyter notebooks are available in the ILIAS. Similar to other courses, MAAS was held online this year.



# RINGVORLESUNGEN

## Ringvorlesung Forum Software und Automatisierung

Veranstalter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich, Prof. Dr.-Ing. Christof Ebert

Ansprechpartner: Tobias Jung, M. Sc.

Die Dozentinnen und Dozenten aus der Industrie, die aktuelle Themen der Automatisierungs- und Softwaretechnik aus ihrer Sicht beleuchten, halten ihren Vortrag über eine Webkonferenz und beantworten anschließend Fragen. Dieses zusätzliche Vorlesungsangebot soll vor allem den Bezug der Theorie zur Praxis stärken und Studierenden die Möglichkeit geben, einerseits aktuelle Herausforderungen aus der Praxis kennenzulernen und andererseits Kontakte in die Industrie zu knüpfen. Aus diesem Grund richtet sich das Angebot zwar hauptsächlich an Studierende verschiedener Fachbereiche, allerdings werden auch berufstätige Ingenieurinnen und Ingenieure, die sich einen Überblick über aktuelle Themen der Automatisierungs- und Softwaretechnik verschaffen möchten, gerne willkommen heißen.

- Wohlriechende Software entwickeln, Dr. Michael Wedel, mk-messtechnik GmbH, 28.10.2021
- Industry 4.0 Interoperability with Asset Administration Shell, Dr. Sten Grüner, ABB AG, 04.11.2021
- Auf dem Weg zu autonomen Systemen - Eine Industrie-Sicht auf Autonomie, Dr. Thomas Gamer, ABB AG, 12.11.2020
- Batterieauslegung bei Mercedes, Marco Eller, Daimler AG, 11.11.2021
- 3D-Simulation und virtuelle Inbetriebnahme im Praxistest, Susanne Rösch, Harro Höfliger Verpackungsmaschinen GmbH, 18.11.2021
- Entwicklung von sicheren optischen und abstandsmessenden Sensoren, Dr. Sören Hader, Pilz GmbH & Co. KG, 25.11.2021
- Embedded System Development: Theorie und Praxis, Dr. Natalja Kehl, Robert Bosch GmbH, 02.12.2021
- Production Systems Engineering am Beispiel der Automobilproduktion, Dr. Wolfgang Schlögl, Siemens AG, 09.12.2021
- Automatisierung in der Prozessindustrie, Dr. Marleen Stieler, BASF SE, 16.12.2021
- Grundlagen des Softwarerechts für Entwickler: Softwareverträge, Nutzungsrechte, Open Source Software, Carlo Kunz, Menold Bezler Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 13.01.2022
- Automatische und Autonome Systeme: Testverfahren für effiziente Absicherung, Prof. Dr. Christof Ebert, Vector Consulting Services GmbH, 20.01.2022
- Verwaltungsschale & Digitales Typenschild, Markus Rentschler, Balluff GmbH, 27.01.2022
- KI in der industriellen Anwendung: Voraussetzungen und erfolgreiche Beispiele, Eberhard Klotz, Festo AG & Co. KG, 03.02.2022
- Absicherungsstrategien von Funktionen des Hochautonomen Fahrzeugs im Vergleich zu klassischen Fahrzeugfunktionen, Andreas Bossert, ITK Engineering GmbH, 10.02.2022

## Ringvorlesung Aspekte Autonomer Systeme

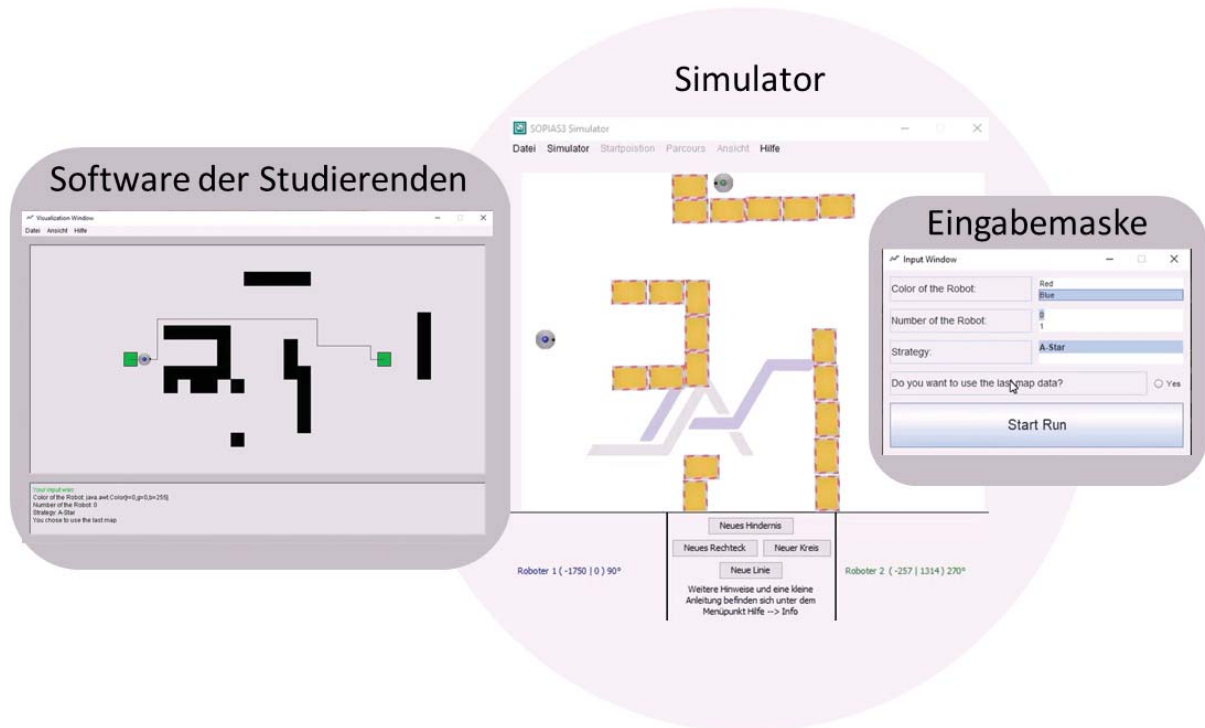
Veranstalter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Hannes Vietz, M. Sc.

Die Vorlesung Aspekte Autonomer Systeme wird im Wintersemester angeboten und ist die zentrale Überblicksvorlesung des Masterstudiengangs Autonome Systeme, die von verschiedenen Dozenten aus Wissenschaft und Industrie gehalten wird. Die wissenschaftlichen Dozenten stammen aus den Fachbereichen Informatik, Luft- und Raumfahrttechnik, Maschinenbau, Kybernetik, Elektro- und Informationstechnik. Bei den industriellen Dozenten handelt es sich um erfahrene Ingenieure mittelständischer und großer Technologieunternehmen aus der Region. Durch die Vorlesung bekommen die Studierenden Einblicke in das breite Themenfeld der wissenschaftlichen Fachgebiete und industriellen Anwendungen, die sich mit Autonomen Systemen beschäftigen. Die Dozenten spiegeln die Anwendungsthemen in den Bereichen Automotive, Luft- und Raumfahrt, Produktion und Energie wider.

- Autonome Systeme - Übersicht zu Methoden und Verfahren, Prof. Weyrich, 21.10.2021, 25.10.2021
- Verteilte Autonome Systeme, Prof. Aiello, IAAS, 28.10.2021, 08.11.2021
- Industry 4.0 Interoperability with Asset Administration Shell , Dr. T. Gamer, ABB AG, 04.11.2021
- Algorithms for Robot Autonomous Motion, Jim Mainprice Ph. D., 11.11.2021
- Security, Privacy, and Cryptography, Prof. Küsters, SEC, 15.11.2021, 18.11.2021
- Kybernetische Methoden für Autonome Systeme, Prof. Allgöwer, IST, 22.11.2021, 25.11.2021
- Kognitive Produktionssysteme, Prof. Huber, IFF, 29.11.2021
- Kognitive Robotik, Prof. Huber, IFF, 02.12.2021
- Perzeption in Automotivanwendungen, Prof. Yang, ISS, 06.12.2021
- Autonome Systeme in der Luftfahrt, Prof. Annighöfer, ILS, Prof. Fichter, IFR, 09.12.2021, 16.12.2021
- Signalverarbeitung und maschinelles Lernen, Prof. Yang, ISS, 13.12.2021
- Autonome Systeme in Fahrzeugen, Dr. Keilhoff, FKFS, 20.12.2021, 10.01.2022
- Autonome Systeme in der Energieversorgung - Einführung und intelligente dezentrale Energiesysteme, Prof. Hufendiek, IER, 13.01.2022 / - Systemstruktur, Eigenschaften, Definitionen, Prof. Rudion, IEH, 17.01.2022
- Automatische und Autonome Systeme: Testverfahren für effiziente Absicherung, Prof. Dr. Christof Ebert, Vector Consulting Services GmbH, 20.01.2022
- Verwaltungsschale & Digitales Typenschild, Markus Rentschler, Balluff GmbH, 24.01.2022
- Autonome Systeme in der Energieversorgung - Intelligente Systeme der Zukunft, Prof. Rudion, IEH, 27.01.2022 / - Systemdynamische und regelungstechnische Aspekte, Prof. Lens, IFK, 31.01.2022
- KI in der industriellen Anwendung: Voraussetzungen und erfolgreiche Beispiele, Eberhard Klotz, Festo AG & Co. KG, 03.02.2022
- Smart Cities: Technologies and Architectures, Prof. Aiello, IAAS, 07.02.2022
- Absicherungsstrategien von Funktionen des Hochautonomen Fahrzeugs im Vergleich zu klassischen Fahrzeugfunktionen, ITK Engineering, 10.02.2022

# PRAKTIKA



Bahnplanungssimulator und Steuerungsoberfläche für die Fahrroboter im Fachpraktikum Softwaretechnik

## Grundlagenpraktikum

Modulverantwortlicher Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Timo Müller, M. Sc.

Das Grundlagenpraktikum ist ein institutsübergreifendes Praktikum im Bachelorstudiengang „Elektrotechnik und Informationstechnik“. Dort werden praktische Grundlagen zum Lehrstoff der grundlegenden Vorlesungen vermittelt.

Für das zweite Semester wird ein Versuch zur Einführung in die „Grundlagen einfacher digitaler Schaltungen“ angeboten. Im Versuch wird den Studierenden die Funktionsweise einfacher digitaler Grundschaltungen vermittelt. Das vermittelte Wissen können die Studierenden dann direkt an einem Beispiel, einem „Elektronischen Würfel“, in die Praxis umsetzen. Neben Grundlagen der Digitaltechnik werden auch handwerkliche Inhalte vermittelt, indem die Studierenden eine vorgefertigte Platine selbst bestücken und verlöten. Anhand eines kleinen Spiels mit dem Würfel können die Studierenden so selbst überprüfen, ob ihre Überlegungen zur digitalen Verschaltung richtig waren.

Aufgrund der Corona-Pandemie wurde das Grundlagenpraktikum im Sommersemester 2021 in einer eigens konzipierten Online-Variante durchgeführt, bei welcher auf Simulationsprogramme zurückgegriffen wurde, um ein Pendant zur physischen Versuchsdurchführung anbieten zu können.

## Fachpraktikum - Softwaretechnik

Modulverantwortlicher: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Dustin White, M. Sc.

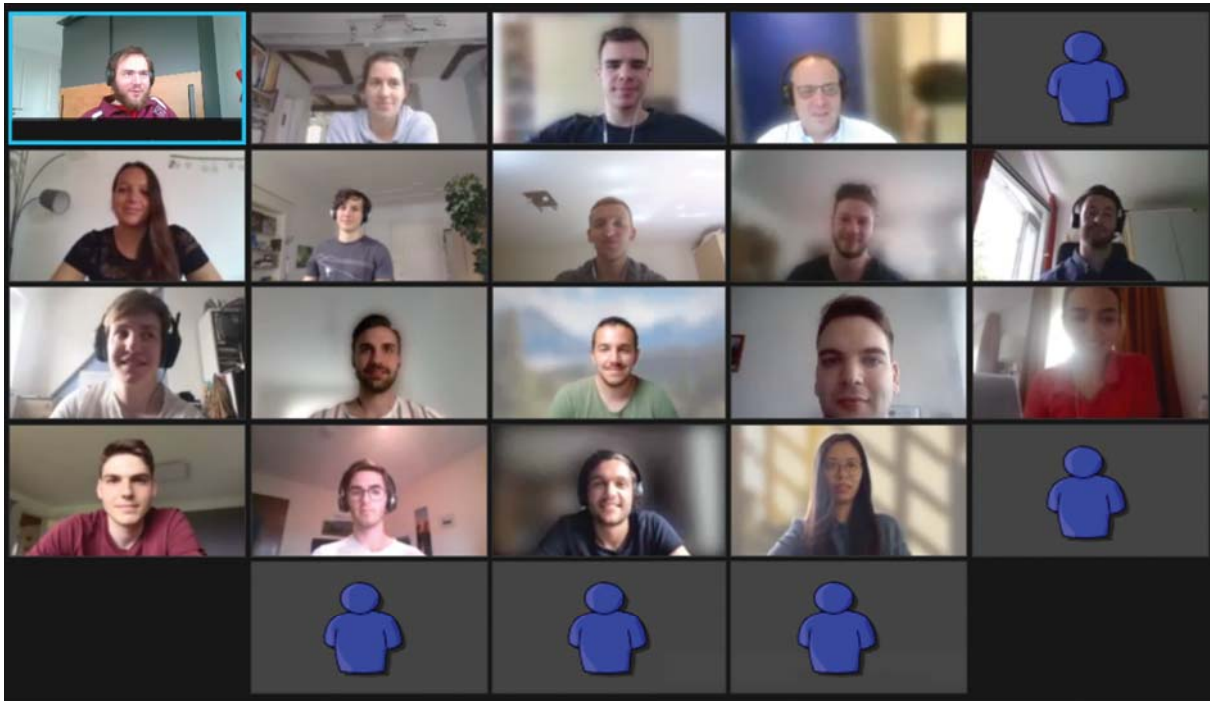
In Teamarbeit wurde wieder ein Softwaresystem zur Steuerung von Fahrrobotern entwickelt. Neben methodischer Softwareentwicklung stehen in dem Fachpraktikum die Lernaspekte Teamarbeit, Projektmanagement und Qualitätssicherung im Vordergrund. Die vier Teams bestanden diesmal aus jeweils fünf Personen. Die Aufgabe der Software ist es, einen Fahrroboter durch einen Hindernisparcours in einen Zielbereich zu steuern.

Das traditionelle Rennen am Ende des Fachpraktikums konnte leider nicht stattfinden. Stattdessen wurden Einzelvorführungen während der letzten Vorlesungswoche durchgeführt. Auch wenn die Roboter nicht das gewünschte Verhalten zeigten, wurden die Vor- und Nachteile simulationsbasierter Softwareentwicklung und die Simulation-to-Reality-Gap didaktisch sehr gut herausgearbeitet und die Studierenden konnten diesen Kurs mit einem erweiterten Verständnis der Softwareentwicklung beenden.

Das Fachpraktikum Softwaretechnik wurde dieses Jahr digital und in Präsenz unter Einhaltung strenger Hygienevorschriften in kleiner Gruppengröße mit Arbeit am Simulator durchgeführt.



# PRAKTIKA



Teilnehmende des Fachpraktikums Einführung in die Microcontroller-Programmierung (Abschlussveranstaltung)

## Fachpraktikum Einführung in die Microcontroller-Programmierung

Modulverantwortlicher: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Manuel Müller, M. Sc.

Das Fachpraktikum Einführung in die Mikrocontroller-Programmierung verfolgt die didaktische Zielstellung, eine konkrete Aufgabe, welche in einem Lastenheft definiert ist, gemeinsam im Team zu bearbeiten. Neben der Vermittlung fachlicher Fertigkeiten erwerben die Teilnehmenden auch Softskills wie Teamfähigkeit und selbstständiges Arbeiten. Es richtet sich an Studierende des Bachelor-Studiengangs Elektrotechnik und Informationstechnik sowie des Master-Studiengangs Medizintechnik.

In diesem Fachpraktikum erhalten die Studierenden Einblicke in die Hardware- und Softwareentwicklung eingebetteter Systeme. Auch in diesem Jahr wurde das Praktikum digital abgehalten, um der Corona-Situation gerecht zu werden. Die Schaltungslayouts und der Programm-Code wurden in verschiedenen Simulations-Tools so detailgetreu wie möglich nachgestellt. Das Experiment, den Versuch vollständig zu digitalisieren wurde von den Studierenden sehr gut angenommen und es wurden tolle Ergebnisse präsentiert

## Fachpraktikum (Master) Automatisierungstechnik

Modulverantwortlicher: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Ansprechpartner: Benjamin Maschler, M. Sc.

Das Fachpraktikum (Master) Automatisierungstechnik vermittelt in den Versuchen Kenntnisse der praktischen Anwendung. Dazu zählen bspw. die Konzipierung und Realisierung von Bussystemen, Entwicklung von Echtzeit-automatisierungssystemen und Rapid-Prototyping-Entwicklungsprozess sowie Testautomatisierung, wobei jeweils auf den Umgang mit aktuellen, Industrie-typischen Entwicklungswerkzeugen Wert gelegt wird.

Das Fachpraktikum (Master) Automatisierungstechnik besteht aus sechs unabhängigen Präsenzversuchen, welche an sechs halben Tagen durchgeführt und durch Tutoren begleitet werden. Auch dieses Jahr wurde durch eine höhere Gruppenzahl die Gruppengröße reduziert und die Versuche auf mehr Räume aufgeteilt, um den Studierenden diese wichtige Praxiserfahrung trotz der Corona-Pandemie ermöglichen zu können.

# DISSERTATIONEN - BACHELORARBEITEN - MASTERARBEITEN - FORSCHUNGSARBEITEN - STUDIENARBEITEN

## 1 Dissertation



Das IAS gratuliert Herrn Dr.-Ing. Benjamin Lindemann herzlich zu seiner am 09.06.2021 mit Auszeichnung bestandenen Doktorprüfung. Herr Benjamin Lindemann hat sich in seiner Dissertation mit dem Thema „Datengetriebene Kompensation anomaler Prozessdynamiken in Automatisierungssystemen auf Basis adaptiver LSTM-Netze“ beschäftigt.

Dr.-Ing. Benjamin Lindemann

## 25 Bachelorarbeiten

- **Ismail Kutlay Acar:** Aufbau eines autonom fahrenden Autonomous Ground Vehicles (AGV) unter Berücksichtigung von Safety-Problemen
- **Stefan Thich:** Kameragestützte Automatisierung des Gesellschaftsspiels Kugellabyrinth mit automatischer Modellbildung und Resistenz gegen Störlichteinflüsse
- **Lara Jovic:** Übertragung von Konzepten der Gabek® - Methode auf die Absicherung autonomer Systeme
- **Johannes Sigel:** Entwurf und Implementierung eines vereinfachten Show-Cases zur simulativen Veranschaulichung der Absicherung einer autonomen Intralogistik-Einheit zur Betriebszeit
- **Marius Häcker:** Reverse-Engineering und Wiederinbetriebnahme des IAS-Modellprozesses KUKA youBot Roboterarm und Dokumentation des Prozesses in einem Assistenzsystem
- **Natalie Schinzel:** Autonome Steuerung eines Roboter-Arms mit intelligenter Risikominimierung zur Laufzeit
- **Adem Kartal:** Entwurf und Realisierung einer sicheren Bilderkennung auf Basis des Prinzips des Adversarial Trainings
- **Daniel Arnold:** Konzept zum Einsatz der Verwaltungsschale für modellbasiertes Testen
- **Tom Dengler:** Entwurf und Implementierung eines vereinfachten Show-Cases zur simulativen Veranschaulichung der Absicherung eines autonomen Roboterarms zur Betriebszeit
- **Timo Liebelt:** Refactoring der Simulation eines modularen Produktionssystems und Erweiterung um Monitoring Aspekte
- **Pashtrik Asani:** Kontext-bewusste Fehlerdiagnose für einen automatisierten Waschtrockner: Konzept und prototypische Umsetzung
- **Weichu Fan:** Entwicklung einer Regelung für einen Autonomen Rennwagen
- **David Thich:** Entwicklung einer Webapplikation zur dynamischen Evaluierung von Modellen zur Trajektorienvorhersage
- **Oliver Dujmovic:** Entwicklung einer Webapplikation zur Visualisierung der Trajektorienvorhersagen von autonomen Einheiten
- **Petar Rasic:** Realisierung eines serviceorientierter Ansatzes zur dynamischen Auswahl von Modellen zur Trajektorienvorhersage

## ABGESCHLOSSENE ARBEITEN 2021

- **Niklas Hug:** Realisierung einer Simulationsumgebung für Roboter zur Evaluierung von Trajektorienvorhersagen
- **Luka Treftz:** Entwicklung und Implementierung einer generischen Schnittstelle für HiL-Testsysteme
- **Felix Brugger:** Aufbau einer digitalen Repräsentanz einer cyber-physischen Fabrik unter Berücksichtigung von Safety-Aspekten
- **Maximilian Beck:** Konzeption und Implementierung von konfigurierbaren Fallbackstrategien für „Connected Vehicles“
- **Petar Rasic:** Realisierung eines serviceorientierter Ansatzes zur dynamischen Auswahl von Modellen zur Trajektorienvorhersage
- **Jonas Pecoroni:** Entwicklung einer WebApp und 3D-Visualisierung für einen Industrial Transfer Learning Demonstrator
- **Jakob Hofmann:** Erweiterung eines intelligenten Lagers um ein RFID-System zur automatisierten Identifizierung des Lagerinhaltes
- **Siddieq Mansour:** Kreuzungsmanagement für das vernetzte automatisierte Fahren im Mischverkehr
- **Tim Braun:** Automatisierte Datenaufbereitung zur Variantengenerierung
- **Thorben Schey:** Implementierung und Integration eines Moduls für Bayes'sche Netze in das probabilistische Risikoanalyse-Framework OpenPRA

### 43 Masterarbeiten

- **Tobias Emmerich:** Entwurf einer effizienten Steuerungsstrategie für ein Smart-Grid
- **Steffen Nöthen:** Modellierung und Simulation einer Produktion zur Generierung von Prozessdaten als Basis für ein maschinelles Lernverfahren
- **Nima Beygi:** Konzeption eines Verfahrens zur Safety-Beurteilung von Problemlösungsstrategien anhand von Multi-Agent Adversarial-Reinforcement Learning
- **Camila Miraglia Ribeiro:** Entwicklung von Methoden zur Erkennung und Klassifizierung von Fehlern in der Integration von mechatronischen Komponenten und Systemen
- **Boram Lim:** Automatisierte Auswertung von Internet-of-Things Daten im Kontext der Heimautomatisierung
- **Madhusmita Sahoo:** Konzeption einer Erweiterung eines Simulationstools (CANoe) um eine dynamische Co-Simulation
- **Shuang Wu:** Hardware in the Loop Testen einer ADAS Kamera
- **Maximilian von Sturm:** Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von maschinellen Lernalgorithmen zur Effizienz- und Produktivitätssteigerung einer Anlage
- **Dinesh Subhuraaj:** Inbetriebnahme eines Echtzeit Lokalisierungssystems für ein automatisiertes System zur Systemmodellierung
- **Alexander Schuster:** Aufbau eines Hard- und Software-Demonstrators für Industrial Transfer Learning
- **Sarah Karolina Graf:** Sicherheitsgerichtete Kollisionserkennung und -vermeidung in der kollaborativen Robotik
- **Nora Gülden Dogan:** Entwicklung eines Konzeptes zur optimierten und zeitbasierten Kontextmodellierung und Konsistenzprüfung mittels Graphen

- **Lili Ji:** Modernisierung eines Simulators zur Verbesserung der Simulationsumgebung für autonomes Fahren
- **Abirami Ravi:** Auswertung der Resilienz der DNN-Architektur bei zufälligen Hardware-Fehlern
- **Sangamesh Sharanabasappa Motagi:** Entwicklung und Validierung eines Konzepts für dynamische und adaptive Modelle zur Absicherung eines autonomen Automated Guided Vehicle
- **Weiyu Zhao:** Entwicklung eines Deep Industrial Transfer Learning Algorithmus zur Vorhersage von Lager-Verschleiß
- **Ching-Chih Lin:** Validierung Autonomer Fahrsysteme
- **Deepika Hanumanthu:** Erkennung der Fehler in intelligenten Transportsystemen mit LSTM, ARIMA & ISOLATION FOREST
- **Thach Vu Trieu:** Modernisierung eines Software-Stacks für autonome Fahrzeuge
- **Stefan Katzschner:** Entwicklung eines Deep Industrial Transfer Learning Algorithmus zur Verschleißvorhersage mittels Domänen-Adaption
- **Likhith Beekannahalli Panchakshari:** Entwurf und Implementierung eines Intelligenten Digitalen Zwillings für den Cyber-physical-Factory-Demonstrator mit Fokus auf Transfer-Learning und Safety
- **Niloy Chakraborty:** Fehlererkennung in UAV durch Machine Learning und Deep Learning
- **Tristan Rauch:** Generierung realistischer Testdaten für Deep-Learning Modelle durch adversariale Suchmethoden
- **Sandra Bickelhaupt:** Entwicklung und Evaluierung eines Machine-Learning-Algorithmus mithilfe von Transfer Learning zur Fehleruntersuchung von Halbleiterbauelementen
- **Matthias Mario Weiß:** Entwicklung und Umsetzung einer Multi-Modell-Datenbank zur integrierten Variantengenerierung
- **Tim Knodel:** Weiterentwicklung eines Deep Industrial Transfer Learning Algorithmus zur Anomalieerkennung
- **Falk Dettinger:** Verbesserung der Trajektorienvorhersage autonomer Einheiten mittels Anwendung von Situationsverständnis
- **Robin Walter:** Neu-Konzeption der simulationsbasierten, multikriteriellen Optimierung von Konfigurationsalternativen eines Cyber-Physischen Produktionssystems
- **Benjamin Fresz:** Weiterentwicklung und Evaluation von Regularisierungs-basierten Continual Learning Methoden für Industrienwendungen
- **Felix Steinle:** Softwareverteilung für mobile Systeme in einer dezentralen Fog-Computing Infrastruktur mit gemischten Rechnerarchitekturen
- **Angel Iliev:** Entwicklung eines Deep Industrial Transfer Learning Algorithmus zur Vorhersage von Relais-Verschleiß
- **Iman Sonji:** Eine Kontext-Lernfunktion für einen zeitvarianten Kontextgraphen
- **Marius Mellinger:** Konzeption und Implementierung einer dezentralen Steuerung sowie Integration in ein Cyber-Physisches Produktionssystem
- **Mingliang Zheng:** Implementierung eines Ensemble Learning Algorithmus für heterogene Produktionsdaten
- **Ilena Gabriela:** Entwicklung eines Kontextmodells und einer Web-Schnittstelle für kontextbewusste Systemdiagnose
- **Michael Riedhammer:** SPS Code Verarbeitung und Modellierung zur Analyse der Korrelationen und Komponentenabgrenzung
- **Vivekanand:** Erstellung eines adaptiven digitalen Zwillings für die Verwendung mit Reinforcement Learning auf dem physischen Marmor-Labyrinth-Demonstrator

- **Yannik Stephan:** Kontextabhängige Laufzeit-Risikobeurteilung der mobilen Roboterplattform Robotino auf Basis von Reinforcement Learning
- **Jonas Schweitzer:** Implementierung und Optimierung eines End-to-end Interpretable Neural Motion Planner
- **Lennard Hettich:** Laufzeit-Risikobeurteilung eines Roboter-Arms mit Hilfe des Intelligenten Digitalen Zwillings und externen Monitoring Tools
- **Deepak Nadagouda:** Laufzeit-Risikobewertung eines Sensor-Fusionsprozesses mittels subjektiver Logik und Agentenmodellierung
- **Divith Bajaj:** Entwicklung einer flexiblen Software-Architektur für das kognitive Testen von autonomen Systemen
- **Shijia Cao:** Einsatz von Methoden des maschinellen Lernens zur dynamischen Modellierung von Einflussparametern

### 31 Forschungsarbeiten

- **Sandra Bickelhaupt:** Entwicklung einer Data Engineering Anwendung mit Abstratenharmonisierung für Human-centered Cyber-Physical Production Systems
- **Gabriel Neuber:** Entwicklung einer Data Administration Shell zur Erhöhung der Zugänglichkeit von Daten
- **Michael Riedhammer:** Erweiterung eines Digitalen Zwillings um Augmented Reality
- **Hamed Soltanzadeh Akhlaghi:** Erprobung von OpenModelica hinsichtlich der Eignung für eine dynamische Co-Simulation
- **Johannes Stümpfle:** Erfassung und KI-basierte Korrelationsanalyse von Prozessdaten eines automatisierten Systems zur Modellgenerierung
- **Robin Walter:** Entwurf eines Assistenzsystems für vorbeugende Wartungsunterstützung mit Anbindung an ein Echtzeit-Positionierungssystem
- **Praveen Kumar:** Risikobeurteilung von Ergebnissen von KI Algorithmen zur Laufzeit
- **Silas Geiger:** Einsatz von Fahrerlosen Transportfahrzeugen zur Kamera-basierten Echtzeit-Positionierung von Menschen
- **Yannik Stephan:** Adaptive Metamodelle für die Szenarienbasierte Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen
- **Lutz Aichele:** Konzeption einer virtuellen Inbetriebnahme basierend auf dem Digitalen Zwilling eines modularen Produktionssystems
- **Tim Knodel:** Entwicklung eines Deep Industrial Transfer Learning Algorithmus zur Anomalieerkennung
- **Angel Iliev:** Software Repository Mining - KI-unterstütztes Data Processing und Visualisierung von Software Abhängigkeiten
- **Marius Mellinger:** Untersuchung und Definition der Architektur und Informationsmodellierung eines Cyber-Physischen Produktionssystems
- **Baran Can Gül:** Einsatz intelligenter Digitaler Zwillinge zur dynamischen Berechnung der Zuverlässigkeit automatisierter Systeme

- **Minh Huy Le:** Konzeption einer automatisierten semantischen Datenintegration für heterogene Datenquellen
- **Julie Ritzal:** Optimierung der Over-the-Air-Update-Prozessdauer in Fahrzeugen durch Parallelisierung von Softwareupdates mittels Scheduling-Methoden
- **Anne Kieneke:** Einsatz einer Graphdatenbank zur Analyse von Trajektorien und Verhaltensmustern
- **Hanjie Li:** Modellierung und Simulation menschlicher Bewegung für verbesserte Trajektorienvorhersage
- **Christian Köhler:** Kontextmodellierung für ein intelligentes Lagerhaus
- **Daniel Binder:** Erfassung des Bewegungszustands autonomer Einheiten mittels Sensorfusion
- **Sebastian Kropatsch:** Erstellung eines Merkmals für die Verwaltungsschale zum Management von Terminen
- **Dilip Arul Prakash:** A Systematic Literature Review on Context-Aware Automation Systems
- **Wenxin Wang:** Untersuchung eines offenen Neural Network Exchange Formats anhand eines Deep Neural Network Klassifikators
- **Valentyna Afanasenko:** Untersuchung eines Deep Reinforcement Learning Ansatzes zur Simulationsansteuerung eines SiC Transistor
- **Gayathri Latha Velayutham:** Untersuchung von Synchronisationsalgorithmen von Co-Simulationen
- **Vo Tran The Bao:** Konzeption und Implementierung einer Feedback-Schleife zum Anlernen von Sicherheitskonzepten an einen Robotino-Roboter
- **Ziyi Peng:** Laufzeit-Risikobewertung auf Basis einer Worst-Case-Abschätzung mit Hilfe von Multi-Agent Adversarial Reinforcement Learnings
- **Tristan Petzold:** Dezentrale Steuerung eines Produktionsnetzwerkes mittels MQTT-Protokoll
- **Lars Schweinbenz:** Implementierung eines Bounding Box Regressions Algorithmus mithilfe Deep Neural Networks
- **Petar Donovan:** Dateneffizientes Training von Machine-Learning-Modellen
- **Hamza Ben Haj Ammar:** Messen der Energieeffizienz beim Training von Deep Learning-Modellen

## 8 Studienarbeiten

- **Ilena Gabriela:** Eine konzeptionelle Untersuchung zum Entwurf kontextbewusster Automatisierungssysteme
- **Bedirhan Keskin:** Extending the Communication Interfaces of a Medication Management Application
- **Iman Sonji:** Optimierung einer Edge-Device-IoT-Integrationsplattform für einen Framework zur Kontextmodellierung
- **Alexander Delestan:** Entwicklung eines Localizing and Mapping Algorithmus für einen Rennwagen der Formula Student Driverless
- **Sruthi Radhakrishnan:** Übersicht über Machine-Learning-Anwendungen, die durch 5G für die industrielle Indoor-Logistik ermöglicht
- **Samira Maleki:** Konzeption und Entwicklung eines Assistenzsystems zur Unterstützung von agilem Engineering und System-Modellierung eines medizinischen Produktes
- **Santhan Raghava Mysore Pavan:** Erfassung und Integration von Streaming-Daten aus einer Abfällanlage
- **Shiwei Wang:** Untersuchung der Co-Simulationsschnittstellen eines Simulationstool von Bus-Systemen (CANoe)

## ABGESCHLOSSENE ARBEITEN 2021 UND PREISE 2021

### Preisverleihungen

Das IAS zeichnet jedes Jahr Mitarbeitende und Studierende aus, die sich mit ihrer wissenschaftlichen Arbeit und ihrem Fachvortrag in besonderem Maße hervorgetan haben. In diesem Jahr wurden folgende Preise vergeben:

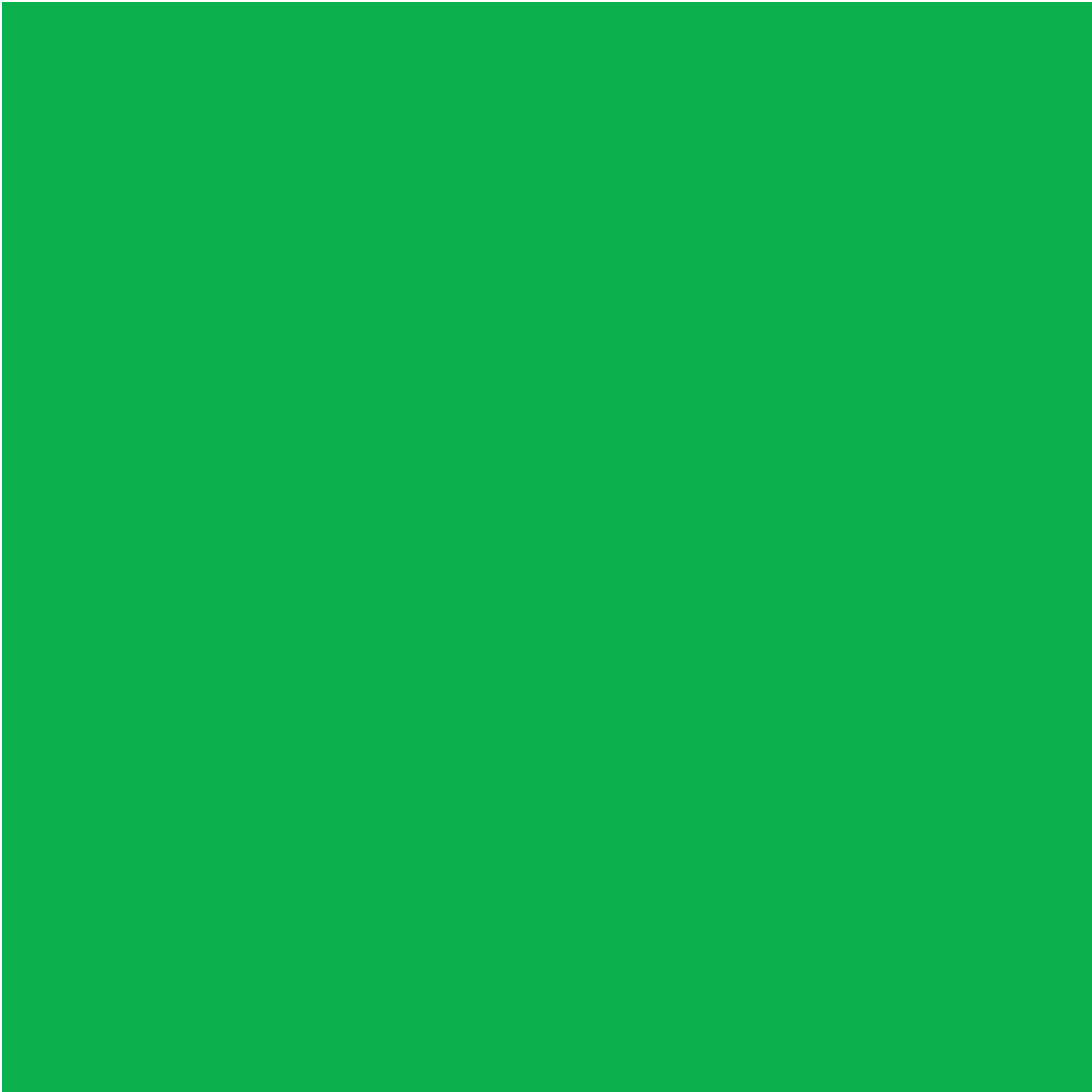
### Exzellente Fachvorträge im IAS-Doktorandenseminar

- **Nada Sahlab:** Eine Methodik zur Entwicklung kontextbewusster Cyber-Physischer Systemen
- **Dominik Braun:** Entwicklung einer Methodik zur Erstellung der Modelle des digitalen Zwillings automatisierter Brownfield-Anlagen für eine diskrete Fertigung
- **Manuel Müller:** Vorstellung des Konzepts zur Absicherung autonomer Systeme im Betrieb

### Exzellente Fachvorträge im IAS-Kolloquium

- **Sarah Graf:** Sicherheitsgerichtete Kollisionserkennung und -vermeidung in der kollaborativen Robotik
- **Tristan Rauch:** Generierung realistischer Testdaten für Deep-Learning Modelle durch adversariale Suchmethoden
- **Stefan Katzschner:** Entwicklung eines Deep Industrial Transfer Learning Algorithmus zur Verschleißvorhersage mittels Domänen-Adaption
- **Matthias Weiß:** Entwicklung und Umsetzung einer Multi-Modell-Datenbank zur integrierten Variantengenerierung
- **Robin Walter:** Neu-Konzeption der simulationsbasierten, mulikriteriellen Optimierung von Konfigurationsalternativen eines Cyber-Physischen Produktionssystems
- **Benjamin Frész:** Weiterentwicklung und Evaluation von Regularisierung-basierten Continual Learning Methoden für Industrieanwendung
- **Iman Sonji:** A Context-Learning Function for a time-versioned Context Graph
- **Falk Dettinger:** Verbesserung der Trajektorienvorhersage autonomer Einheiten mittels Anwendung von Situationsverständnis
- **Gabriela Ilena:** Development of a Context Model and a Web-Interface for Context-Aware System Diagnosis
- **Marius Mellinger:** Konzeption und Implementierung einer dezentralen Steuerung sowie Integration in ein Cyber-Physisches Produktionssystem
- **Angel Ilierv:** Entwicklung eines Deep Industrial Transfer Learning Algorithmus zur Vorhersage von Relais-Verschleiß
- **Michael Riedhammer:** SPS Code Verarbeitung und Modellierung zur Analyse der Korrelationen und Komponentenabgrenzung
- **Yannik Stephan:** Kontextabhängige Laufzeit-Risikobeurteilung der mobilen Roboterplattform Robotino auf Basis von Reinforcement Learning
- **Herrn Shuang Wu:** ADAS Forward-looking camera hardware-in-loop testing development under corner test cases





# IAS-AKTIONEN

Die normalerweise vielfältigen Ereignisse außerhalb des regulären Institutsalltags konnten auch in 2021 größtenteils aus bekanntem Grund leider nicht stattfinden. Lediglich die Veranstaltung TryScience wurde am 04.11.2021 in Präsenz durchgeführt. Außerdem haben die VFIAS-Jahresversammlung und die Schüler-Ingenieur-Akademie (SIA) online und mit großer Beteiligung stattgefunden.

Wir hoffen, dass es bald wieder möglich ist, alle etablierten Veranstaltungen unter normalen Umständen durchführen zu können, um Kinder und Jugendliche für die Automatisierungstechnik zu begeistern.

## TRYSOURCE 04.11.2021

TryScience ist ein Angebot an informativen und praxisnahen Veranstaltungen der Universität Stuttgart für Schülerinnen und Schüler der Oberstufe, um sie bei der Studienauswahl zu unterstützen. Trotz der Coronasituation ist im Jahr 2021 eine Vielfalt aus Präsenz- und Onlineveranstaltungen angeboten worden. Das IAS hat sich am 04.11.2021 mit einem Präsenzworkshop unter Einhaltung der geforderten Hygienemaßnahmen beteiligt.

Im Workshop wurde der Studiengang Elektrotechnik und Informationstechnik vorgestellt und es wurden Fragen zum Studium an der Universität Stuttgart beantwortet. Es folgte ein Institutsrundgang mit Vorführung einiger Demonstratoren und der Möglichkeit, diese selbst auszuprobieren.

An einem praktischen Beispiel gab es anschließend eine Einführung in die Themen Elektronik und Programmierung.

Dieses Wissen wurde für die Realisierung eines mikrocontroller-gesteuerten Lauflichts eingesetzt, welches die Schülerinnen und Schüler am Ende mit nach Hause nehmen durften.



## SCHÜLER-INGENIEUR-AKADEMIE 2021

Das IAS engagiert sich seit 16 Jahren im Projekt Schüler-Ingenieur-Akademie (SIA), einer Initiative des Arbeitgeberverbandes Südwestmetall. Ziel des Projektes ist es, Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe für die Technik und vor allem für das Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik zu begeistern.

Dr. Jazdi hat ein Programm für die Schülerinnen und Schüler des Stiftsgymnasiums Sindelfingen und des Goldberg-Gymnasiums entwickelt und leitet den Kurs seit 2006. Jedes Jahr kommen 16 wissbegierige Jugendliche der beiden Schulen ans IAS, um an sieben Nachmittagen verschiedene relevante Themen aus den Bereichen Automatisierung und Softwareentwicklung kennenzulernen.

In diesem Jahr hat das IAS zwischen dem 24.03.2021 und dem 09.06.2021 zu seiner ausgebuchten SIA-Reihe eingeladen, deren Veranstaltungen von Nada Sahlab, Hannes Vietz, Benjamin Maschler, Simon Kamm, Andreas Löcklin und Dr. Jazdi betreut wurden. Aufgrund der aktuellen Umstände wurde die Reihe erstmalig virtuell durchgeführt. Mithilfe von interaktiven Angeboten wie Online-Programmieraufgaben oder TinkerCAD wurden die ausgefallenen praktischen Anteile bestmöglich ersetzt, um die Schülerinnen und Schüler mit greifbaren Beispielen für die Thematik zu begeistern.



## VFIAS-JAHRESVERSAMMLUNG 28.07.2021

Der Verein der Freunde und Förderer des Instituts für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme e. V. (VFIAS) wurde 1994 auf Initiative von Mitarbeiter/innen des IAS gegründet. Der VFIAS fördert die wissenschaftliche Forschung und Arbeit auf den vom IAS vertretenen Forschungsgebieten der Automatisierungstechnik und Softwaresysteme. Ziel des Vereins ist es darüber hinaus, eine Basis für eine engere Bindung zwischen den aktiven Mitarbeiter/innen des IAS und den ehemaligen Trägern der Institutsarbeiten zu schaffen. Damit sind nicht nur ehemalige Mitarbeiter/innen oder Studierende am IAS angesprochen, sondern insbesondere auch die interessierte Fachöffentlichkeit, die sich den genannten Fragestellungen verbunden fühlt.

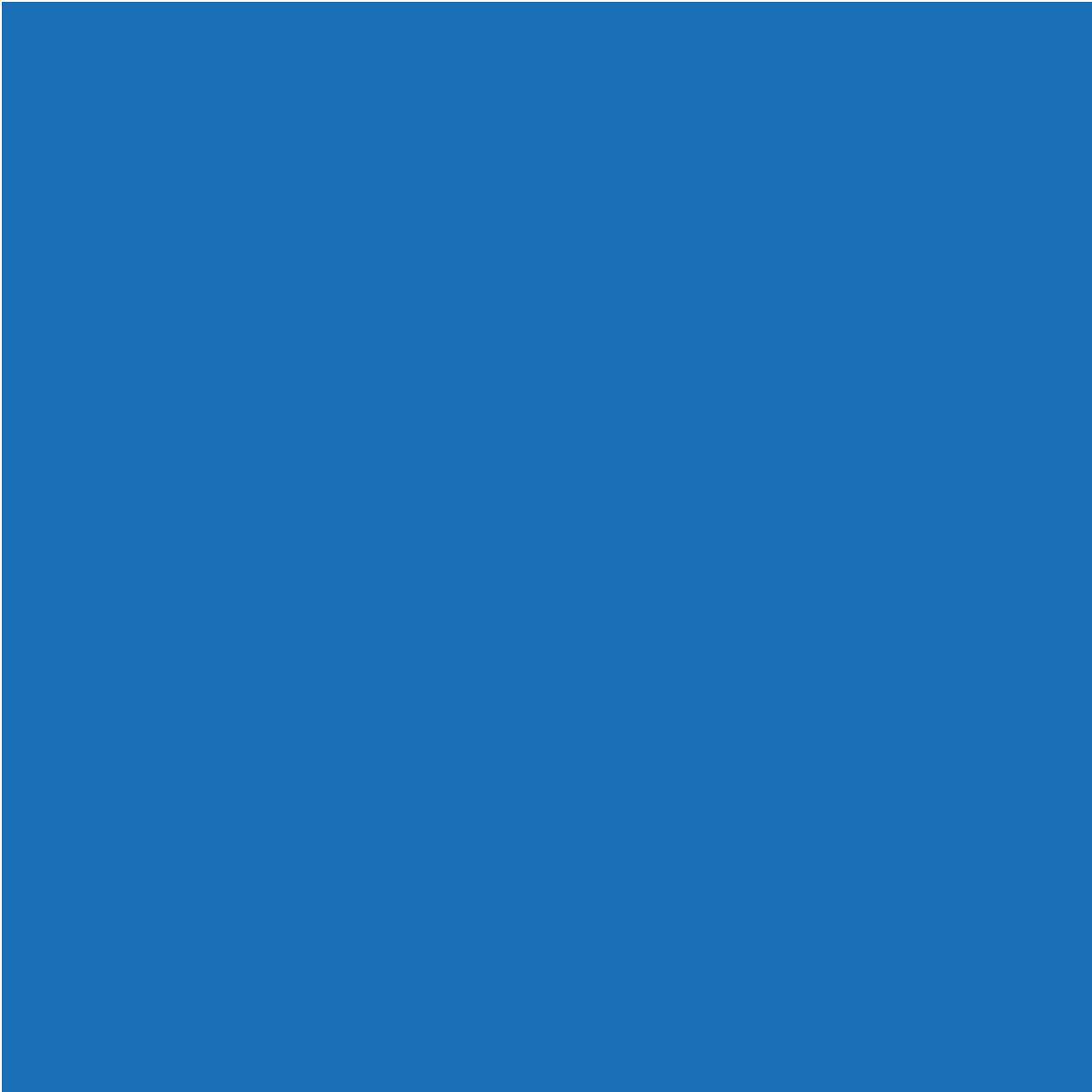
Die Jahresveranstaltung des VFIAS hat am 28.07.2021 zum zweiten Mal als Online-Veranstaltung stattgefunden. Nach der Begrüßung von Prof. Ebert, dem 1. Vorsitzenden des VFIAS gab Prof. Weyrich Einblicke in die Institutsgeschicke. Anschließend präsentierte Jun.-Prof. Morozov sein Resümee über sein erstes Jahr am IAS. Aufgrund der Durchführung der Veranstaltung als Webkonferenz konnte der Fachvortrag aus der Ferne präsentiert werden: in Ihrem gemeinsam gestalteten Fachvortrag erläuterten László Jakab (CEO Sunstone Ltd., Budapest, Ungarn) und Kai Przybysz-Herz (CEO NAiSE GmbH, Stuttgart) die Möglichkeiten und Potentiale beim Einsatz von Echtzeitpositionierungssystemen in der Produktion und Logistik.

Der VFIAS-Preis zur Auszeichnung herausragender Studienarbeiten wurde 2021 an Herrn Tim Göhner für seine Bachelorarbeit „Entwurf und Realisierung eines Smart-Home Demonstrators“ und Herrn David Kellner für seine Bachelorarbeit „Entwicklung einer Web-basierten Steuerung und Visualisierung für einen Messstand“ verliehen.

Weitere Informationen zum Verein sowie den aktuellen Infobrief erhalten Sie unter: [https://www.ias.uni-stuttgart.de/institut/freunde\\_und\\_foerderer/](https://www.ias.uni-stuttgart.de/institut/freunde_und_foerderer/)



Übergabe des VFIAS-Preises an Tim Göhner und David Kellner



## PROF. WEYRICH LEITET VDI/VDE GMA-FACHAUSSCHUSS

### VDI/VDE GMA-Fachausschuss 7.25 - Testen in vernetzten Systemen für Industrie 4.0

Zunehmende Komplexität bei Produktionssystemen erhöht den Testaufwand und erfordert die Weiterentwicklung von Testmethoden.

#### Aktueller Stand

Statt halbjährlicher Sitzungen in Präsenz hat die Corona-Pandemie ein Umdenken erforderlich gemacht und Online-Sitzungen finden nun vierteljährlich statt.

Die Impulse des in 2020 durch Prof. Weyrich geleiteten 1. VDI Expertenforums „Testen vernetzter Systeme und Komponenten“ wurden in einem gemeinsamen Mini-Projekt weiterentwickelt und mit dem Beitrag „Testen 4.0 in der Automatisierungstechnik: Agiles modellbasiertes Testen vernetzter Systeme und Komponenten“ im Zuge des VDI Automation Kongresses 2021 diskutiert. Davon abgeleitet liegt der aktuelle Fokus auf der Verknüpfung der in VDI/VDE 4004 Blatt 1 standardisierten Methodik mit der digitalen Abbildung als Informationsmodelle für die Verwaltungsschale. Konkret wird gemeinsam ein Submodell zur Unterstützung der Grobplanung von verteilten Testprozessen entwickelt und hierzu auch an vielen Stellen verfeinert.

Accepted version, © VDI, published version link: <https://doi.org/10.51202/9783181023921-335>

VDI-Berichte Nr. 2392, 2021

335

#### Testen 4.0 in der Automatisierungstechnik: Agiles modellbasiertes Testen vernetzter Systeme und Komponenten

#### Testing 4.0 in Industrial Automation: Agile Model-Based Testing of Networked Systems and Components

**A. Löcklin**, Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme, Universität Stuttgart;  
**C. Kotsch**, Dr.-Ing. **K. Krüning**, BASF SE, Ludwigshafen am Rhein;  
**M. Rentschler**, Balluff GmbH, Neuhausen auf den Fildern;  
 Prof. Dr.-Ing. **C. Ebert**, Vector Consulting Services GmbH, Stuttgart;  
**M. Müller**, Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. **M. Weyrich**, Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme, Universität Stuttgart;

#### Kurzfassung

Die Flexibilisierung von Produktionsanlagen ist notwendig, um in einem volatilen Marktumfeld erfolgreich sein zu können. Durch die Bereitstellung und Pflege geeigneter Schnittstellen und Betriebsmodi, sowie dem Umbau von Anlagen, kann auf geänderte Anforderungen an die Produktion reagiert werden. Für die Realisierung derartiger hochflexibler und rekonfigurierbarer Anlagen ist ein erhöhter Engineering- und Testaufwand notwendig. Jede zusätzliche Funktion samt aller damit verbundener Abhängigkeiten müssen vor Inbetriebnahme mehrfach von Herstellern, Integratoren und Betreibern überprüft werden. Damit der resultierende erhöhte Testaufwand auch zukünftig handhabbar bleibt, werden in dieser Veröffentlichung folgende Ansätze vorgestellt, um ein effizientes und wirkungsvolles Testen im Bereich der flexiblen Produktion zu ermöglichen: Zum einen lässt sich durch eine auf Richtlinien basierende Modularisierung von Anlagen und Komponenten der Testaufwand reduzieren. Auch sorgen Agile Teams für eine verbesserte Kommunikation zwischen Entwicklungs- und Testabteilungen. Überdies ermöglicht die Anwendung von Digitalen Zwillingen einen effektiveren Informationsaustausch zwischen den Stakeholdern und Modellbasiertes Testen ermöglicht Vorteile bei der Testautomatisierung. Alle Ansätze sind jeweils eigenständig wirksam, aber zusammengenommen ergeben sich zusätzliche Synergieeffekte.

VDI-Berichte Nr. 2392, 2021

## **DAS IAS IST IN FOLGENDEN GREMIEN VERTRETEN**

### **VDI/VDE-GMA-Fachausschuss 5.15 - Agentensysteme**

Der Fachausschuss 5.15 - Agentensysteme ist ein Forum für neue methodische Ansätze und Anwendungen von Agentensystemen in der industriellen Automatisierungstechnik (z. B. Produktionssteuerung, Automobiltechnik, Robotik, Energietechnik, Logistik) unter Leitung von Professorin Vogel-Heuser (TU München). Der Ausschuss erarbeitet - ausgehend von Anforderungen der Anwender - Grundlagen, Methoden, Werkzeuge und Realisierungen von Agentensystemen in der industriellen Automatisierung.

### **VDI/VDE-GMA-Fachausschuss 6.12 - Durchgängiges Engineering von Leitsystemen**

Der Fachausschuss 6.12 - Durchgängiges Engineering von Leitsystemen steht unter Leitung von Herrn Prof. Alexander Fay (Helmut-Schmidt-Univ., Hamburg) fokussiert sich auf Engineering-Methoden, -Abläufe und -Werkzeuge, welche einen Einfluss auf die Durchgängigkeit und die Effizienz haben. Z. Zt. werden im Fachausschuss u. a. Veränderungen bei der Durchgängigkeit im Engineering von automatisierten Anlagen und neue Anforderungen und Lösungselemente für mit Industrie 4.0 diskutiert.

### **VDI-GPP-Fachbereich 5 - Sicherheit und Zuverlässigkeit**

Der Fachbereich 5 - Sicherheit und Zuverlässigkeit analysiert, bewertet und prognostiziert wichtige Themen rund um Sicherheit und Zuverlässigkeit für Produkte „Made in Germany“.

### **IEEE-IES - Technical Committee on Industrial Agents**

Das Technical Committee on Industrial Agents (TCIA) der IEEE Industrial Electronics Society ist ein internationaler Ausschuss mit dem Ziel, Forscher und Anwendungsexperten zum Thema Agenten in der Automatisierungstechnik zusammenzubringen. Die Mitglieder beschäftigen sich mit Agenten in der verteilten Produktion (Zulieferindustrie, Produktionsplanung, Montage- und Fließprozesse), in verteilten Dienstleistungen und Infrastrukturen.

### IEEE-IES - Technical Committee on Factory Automation

Dieses technische Komitee zur Factory Automation (TCFA) betrachtet die Entwicklung wissenschaftlicher Methoden, Modelle, IT-Werkzeuge für höhere Effizienz in Engineering und Betrieb im Bereich der industriellen Fabrikautomation. Das Komitee befasst sich mit einer Reihe von Technologien.

Das Ziel des Komitees ist die Verbreitung von neuen Ideen und Konzepten, neuer Technologien und deren praktische Anwendung.

### IFAC TC 3.1 - Computers for Control

TC 3.1 konzentriert sich auf Disziplinen im Zusammenhang mit eingebetteten und cyber-physikalischen Systemen. Themen sind Software- und Hardware-Architekturen, Modellgetriebene Software-Entwicklung, Verifizierung & Validierung, Zertifizierung, Sicherheit und Echtzeit-Aspekte.

Prof. Weyrich ist Vice-Chair des TC.

### IFAC TC 3.3 - Telematics: Control via Communication Networks (on Education)

Dieses technische Komitee befasst sich mit allen Aspekten computergestützter und telekommunikationsbasierter Automatisierungssysteme. Spezifische Anwendungsbereiche sind z. B. Telemedizin, Teleausbildung, Verkehrssteuerung, Roboter für gefährliche Umgebung, ferngesteuerte Industrieautomation, Schiffs- und Luftfahrtsysteme, Fahrzeugsysteme und Smart Homes.

Dr. Jazdi ist Vice-Chair des TC.

### IFAC TC 5.2 - Management and Control in Manufacturing and Logistics

Die Aktivitäten dieses technischen Komitees befassen sich mit der Entwicklung von Entscheidungssystemen für digitale, resiliente und nachhaltige Fertigungssysteme und Lieferketten. Es werden Verfahren des Industrial Engineering oder Data Science entwickelt.

### ASME - Safety Engineering and Risk Analysis Division (SERAD)

Diese Abteilung der American Society of Mechanical Engineers (ASME) hat die Aufgabe, das Interesse an Risikoanalysen und Sicherheitsinformationen im Maschinenbau zu fördern und diese zu verbreiten.

Die ASME-Division hat Herrn Jun.-Prof. Morozov zum Vice-Chair der Division gewählt.



## Institutsleiter

Prof. Michael Weyrich      Tel.: +49 711 / 685-67300

michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de

## Stellvertretender Institutsleiter

Dr.-Ing. Nasser Jazdi      Tel.: +49 711 / 685-67303

nasser.jazdi@ias.uni-stuttgart.de

## Tenure-Track Junior-Professor

Jun.-Prof. Andrey Morozov      Tel.: +49 711 / 685-67312

andrey.morozov@ias.uni-stuttgart.de

## Honorarprofessor

Prof. Christof Ebert

christof.ebert@ias.uni-stuttgart.de

## Promovierende

Maurice Paul Artelt      Tel.: +49 711 / 685-67304

maurice-paul.artelt@ias.uni-stuttgart.de

Florian Biesinger      Tel.: +49 176 / 30948260

florian.biesinger@ias.uni-stuttgart.de

Dominik Braun      Tel.: +49 711 / 685-67291

dominik.braun@ias.uni-stuttgart.de

Falk Dettinger      Tel.: +49 711 / 685-67313

falk.dettinger@ias.uni-stuttgart.de

Sheng Ding      Tel.: +49 711 / 685-67324

sheng.ding@ias.uni-stuttgart.de

Daniel Dittler      Tel.: +49 711 / 685-67321

daniel.dittler@ias.uni-stuttgart.de

Tagir Fabarisov      Tel.: +49 711 / 685-67324

tagir.fabarisov@ias.uni-stuttgart.de

Golsa Ghasemi      Tel.: +49 711 / 685-67320

golsa.ghasemi@ias.uni-stuttgart.de

Philipp Grimmeisen      Tel.: +49 711 / 685-67324

philipp.grimmeisen@ias.uni-stuttgart.de

Joachim Grimstad      Tel.: +49 711 / 685-67324

joachim.grimstad@ias.uni-stuttgart.de

Tobias Jung      Tel.: +49 711 / 685-67299

tobias.jung@ias.uni-stuttgart.de

Simon Kamm      Tel.: +49 711 / 685-67293

simon.kamm@ias.uni-stuttgart.de

Franz Georg Listl      Tel.: +49 173 / 6207651

franz.listl@siemens.com

Andreas Löcklin      Tel.: +49 711 / 685-67305

andreas.loecklin@ias.uni-stuttgart.de

Yuliang Ma      Tel.: +49 711 / 685-67324

yuliang.ma@ias.uni-stuttgart.de

Benjamin Maschler      Tel.: +49 711 / 685-67295

benjamin.maschler@ias.uni-stuttgart.de

Manuel Müller      Tel.: +49 711 / 685-67306

manuel.mueller@ias.uni-stuttgart.de

Timo Müller      Tel.: +49 711 / 685-67292

timo.mueller@ias.uni-stuttgart.de

Nada Sahlab      Tel.: +49 711 / 685-67319

nada.sahlab@ias.uni-stuttgart.de

Rainer Schiekofer      Tel.: +49 711 / 685-67301

rainer.schiekofer@siemens.com

Alexander Schuster      Tel.: +49 711 / 685-67308

alexander.schuster@ias.uni-stuttgart.de

Iman Sonji      Tel.: +49 711 / 685-69182

iman.sonji@ias.uni-stuttgart.de

Valentin Stegmaier      Tel.: +49 1578 / 6593281

valentin.stegmaier@schmalz.de

Hannes Vietz      Tel.: +49 711 / 685-67294

hannes.vietz@ias.uni-stuttgart.de

Matthias Weiß      Tel.: +49 711 / 685-67286

matthias.weiss@ias.uni-stuttgart.de

Dustin White      Tel.: +49 711 / 685-69181

dustin.white@ias.uni-stuttgart.de

Yuchen Xia      Tel.: +49 711 / 685-67307

yuchen.xia@ias.uni-stuttgart.de

## MITARBEITENDE

### EXIST-Stipendiaten

Alexander Illg

Benedict Lindner

Sebastian Stöcklmeier

Tel.: +49 151 / 57346931

Tel.: +49 1573 / 7173476

Tel.: +49 159 / 01641687

[alexander.illg@synthavo.de](mailto:alexander.illg@synthavo.de)

[benedict.lindner@synthavo.de](mailto:benedict.lindner@synthavo.de)

[sebastian.stoecklmeier@synthavo.de](mailto:sebastian.stoecklmeier@synthavo.de)

### Angestellte

Ulrike Bek (Technische Zeichnerin)

Carmen Hennebach (Proj.-/Finanz-Contr.)

Marion Müller (Sekretariat)

Andisheh Rafiei (Fachinform./Werkstatt)

Taylan Süngerli (Systemadministrator)

Tel.: +49 711 / 685-67318

Tel.: +49 711 / 685-67317

Tel.: +49 711 / 685-67301

Tel.: +49 711 / 685-67314

Tel.: +49 711 / 685-67296

[ulrike.bek@ias.uni-stuttgart.de](mailto:ulrike.bek@ias.uni-stuttgart.de)

[carmen.hennebach@ias.uni-stuttgart.de](mailto:carmen.hennebach@ias.uni-stuttgart.de)

[ias@ias.uni-stuttgart.de](mailto:ias@ias.uni-stuttgart.de)

[andisheh.rafiei@ias.uni-stuttgart.de](mailto:andisheh.rafiei@ias.uni-stuttgart.de)

[taylan.suengerli@ias.uni-stuttgart.de](mailto:taylan.suengerli@ias.uni-stuttgart.de)

### Auszubildende (Fachinformatiker/in der Fachrichtung Anwendungsentwicklung)

Marko Dragovic

Tel.: +49 711 / 685-67319

[marko.dragovic@ias.uni-stuttgart.de](mailto:marko.dragovic@ias.uni-stuttgart.de)

## IAS-Makerspace

Unterstützung von Startups / Kooperation in Forschungsprojekten



Anwendung zur Erkennung von Maschinenteilen zur Optimierung von

After-Sales-Service Prozessen

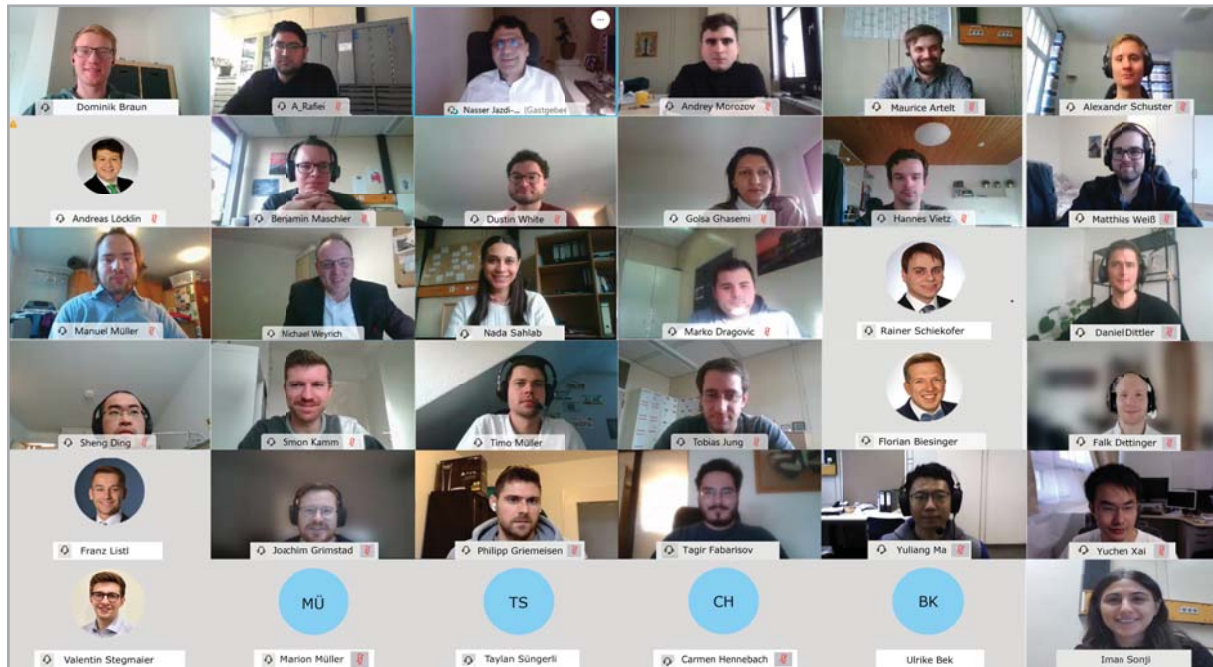
<https://synthavo.eu>

## Robo-Test

Validierung und Verifikation von hochautomatisierten und autonomen Systemen

[www.roboto-test.com](http://www.roboto-test.com)

## IAS-Webex-Meeting in besonderen Zeiten



Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme  
Pfaffenwaldring 47, 70550 Stuttgart

Tel.: +49 711/685-67301  
[www.ias.uni-stuttgart.de](http://www.ias.uni-stuttgart.de)  
[ias@ias.uni-stuttgart.de](mailto:ias@ias.uni-stuttgart.de)



