

University of Stuttgart

Institute for Control Engineering of Machine
Tools and Manufacturing Units (ISW)



Über Digitale Zwillinge

18. Mai 2022

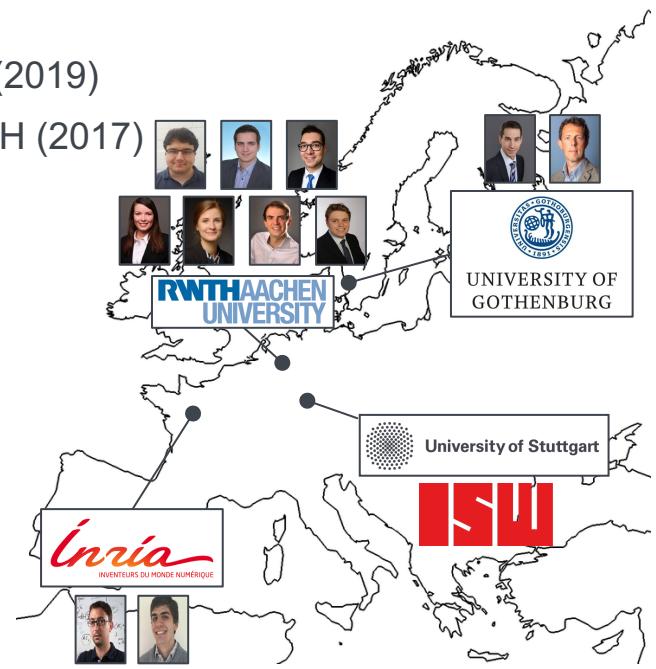


**Jun.-Prof.
Dr. rer. nat.
habil.
Andreas
Wortmann**

Über den Sprecher

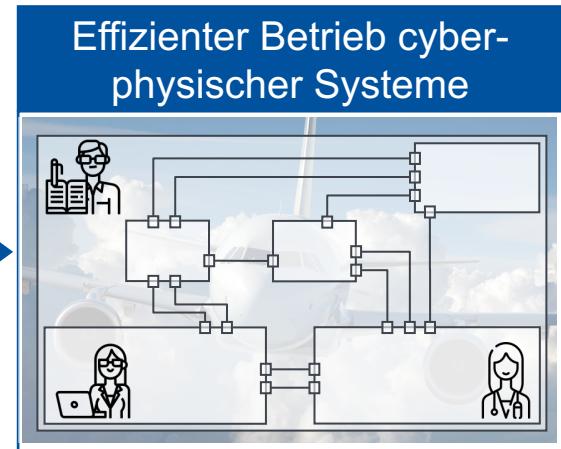
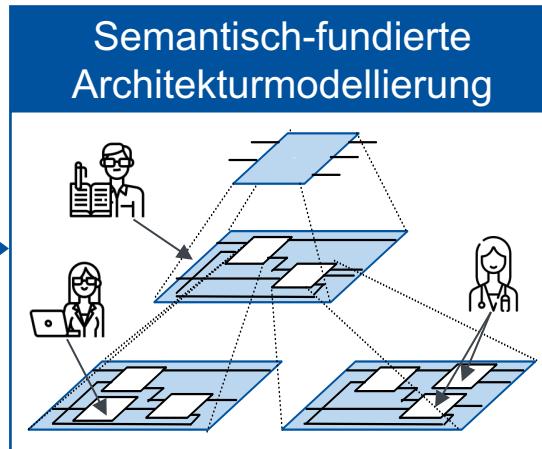
Jun.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Wortmann

- Jun.-Prof. für **modellgetriebene Softwareentwicklung** am ISW (2021)
- **Habilitation** in der Informatik (2021)
- Deputy Coordinator im Internet of Production Excellenzcluster (2019)
- Akad. Oberrat am Lehrstuhl für Software Engineering der RWTH (2017)
- Promotion im Software Engineering (2016)
- **Forschungsinteressen**
 - Modellgetriebene Software
 - Softwaresprachen
 - 100+ Publikationen (h: 23, i10: 46)
 - 6 Vorlesungen, 12 Seminare/Praktika, 60+ Abschlussarbeiten
 - Softwarearchitekturen
 - Anwendung: CPS, IoT, I4.0



Themenschwerpunkte

Bessere Software durch Abstraktion und Automatisierung



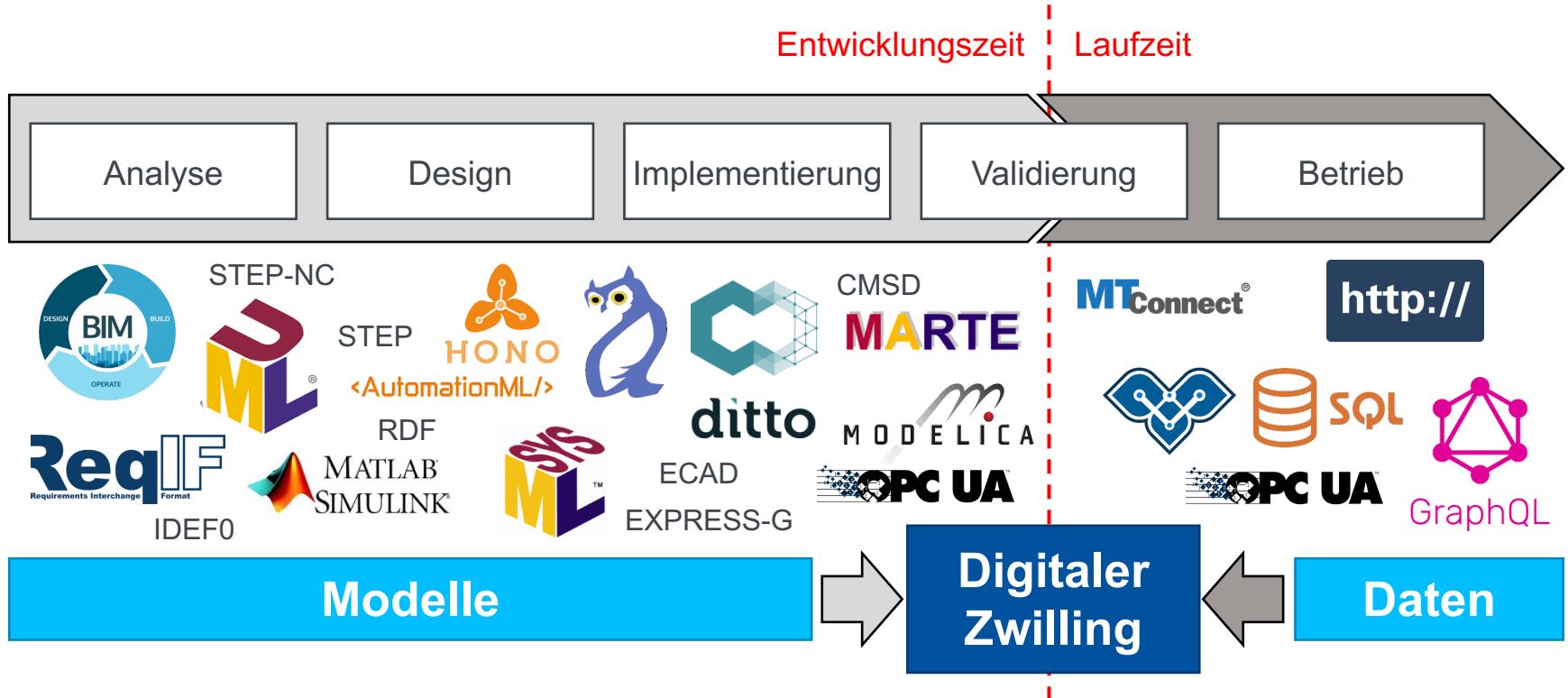
- Effiziente Entwicklung präziser Software-Sprachen für Software- und Domänen-experten
- Komponentenbasierung
- Sprachproduktlinien

- Modellgetriebene Software-Architekturen
- Basiert auf Fokus-Kalkül
- Semantische Automatisierung
- Erweiterbar mit präzisen Software-Sprachen

- Repräsentation, Verhaltensoptimierung, Prädiktion
- Basierend auf formalen Softwarearchitekturen
- Integration domänen-spezifischer Sprachen

Modellgetriebene Softwareentwicklung

Typischer Entwicklungsprozess



Eine einfache Wahrheit über digitale Zwillinge

Ein digitaler Zwilling repräsentiert ein System

Eine einfache Wahrheit über digitale Zwillinge

Tatsächlich?

Ein digitaler Zwilling repräsentiert ein System

Ist es immer genau
einer pro System?

Digitalisierung impliziert
Abstraktion: Wie viel darf
abstrahiert werden?

Was bedeutet es
überhaupt ein Zwilling
zu sein?

Welche Art von
Repräsentation braucht
es? Reicht das aus?

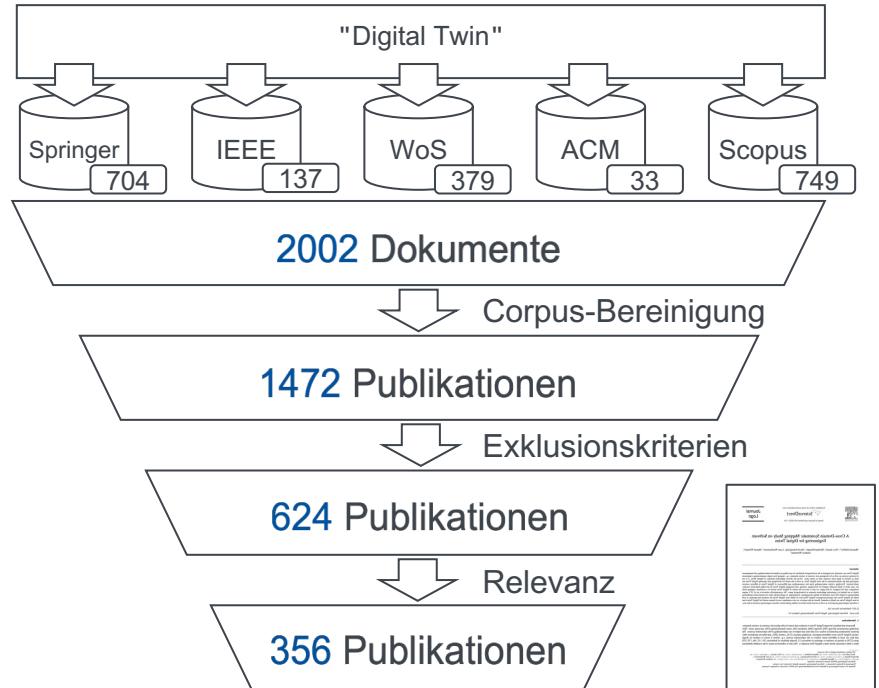
Welche Art von Systemen
(techn./biolog.) sollen
verzwilligt werden?

Ist es immer genau ein System?
Gibt es digitale Zwillinge von
System-of-Systems?

Die umfangreichste Literaturstudie über Digitale Zwillinge

Forschungsfragen und Überblick

1. Wer nutzt Digitale Zwillinge **wofür**?
2. Welche **Eigenschaften** haben Digitale Zwillinge?
3. Wie werden Digital Zwillinge **entwickelt**?
4. Wie werden Digital Zwillinge **verteilt**?
5. Wie werden Digital Zwillinge **betrieben**?
6. Wie werden Digital Zwillinge **evaluiert**?

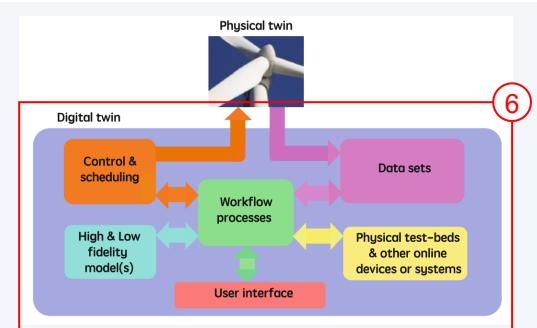
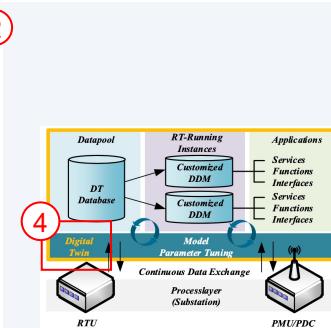
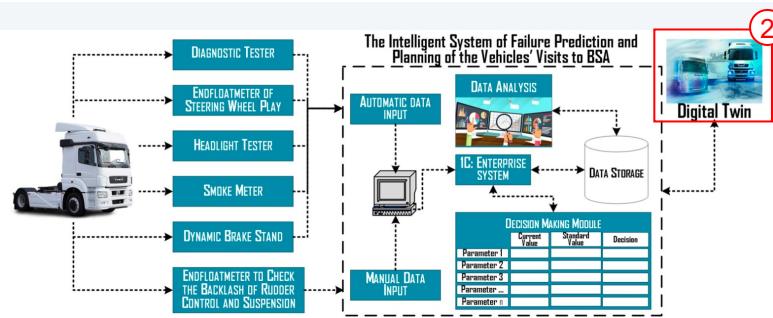


M. Dalibor, N. Jansen, D. Schmalzing, R. Rumpe, M. Wimmer, L. Wachtmeister, A. Wortmann. A Cross-Domain Systematic Mapping Study on Software Engineering for Digital Twins. (to appear in Journal of Systems and Software)

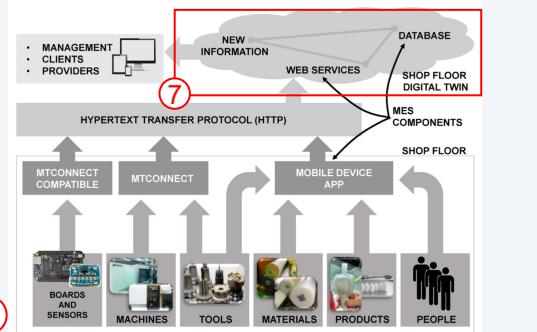
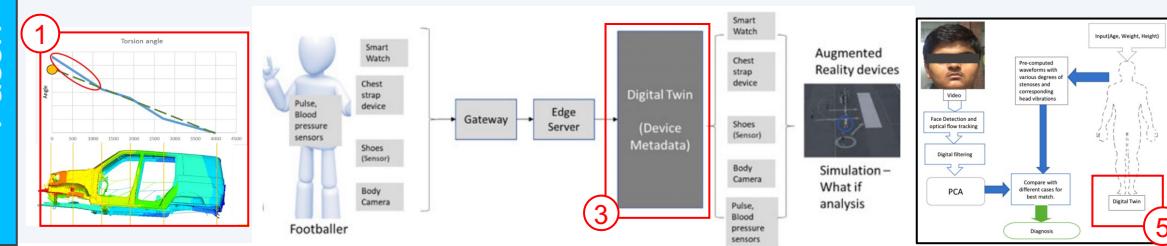
Digitale Zwillinge haben verschiedene Formen, Zwecke, Realisierungen

Und werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten verwendet

Aktiv



Passiv



Designzeit

Laufzeit

Wie Digitale Zwillinge beschrieben werden

Und wieso das problematisch ist

Regressiv

Verwendung undefinierter
Begriffe.

- “**digital avatar**” [74]
- “**replica** of a business process”
[337]
- “**mimic** of a real-world asset”
[386]
- “digital **equivalent** to a physical
product” [523]
- “**digital duplicate**” [1389]

M. Dalibor, N. Jansen, D. Schmalzing, R. Rumpe, M. Wimmer, L. Wachtmeister, A. Wortmann. A Cross-Domain Systematic Mapping Study on Software Engineering for Digital Twins.
(to appear in Journal of Systems and Software)

Wie Digitale Zwillinge beschrieben werden

Und wieso das problematisch ist

Resservativ

Verwendung undefinierter Begriffe.

- “**digital avatar**” [74]
- “**replica** of a business process” [337]
- “**mimic** of a real-world asset” [386]
- “digital **equivalent** to a physical product” [523]
- “**digital duplicate**” [1389]

Schlecht Generalisierbar

Gültig nur für bestimmte System- oder Technologiearten.

- “digital model of the real **network environment**” [379]
- “a virtual representation of a specific **product**” [388]
- “virtual representation **based on AR-technology**” [827]

M. Dalibor, N. Jansen, D. Schmalzing, R. Rumpe, M. Wimmer, L. Wachtmeister, A. Wortmann. A Cross-Domain Systematic Mapping Study on Software Engineering for Digital Twins.
(to appear in Journal of Systems and Software)

Wie Digitale Zwillinge beschrieben werden

Und wieso das problematisch ist

Regressiv

Verwendung undefinierter Begriffe.

- “**digital avatar**” [74]
- “**replica** of a business process” [337]
- “**mimic** of a real-world asset” [386]
- “digital **equivalent** to a physical product” [523]
- “**digital duplicate**” [1389]

Schlecht Generalisierbar

Gültig nur für bestimmte System- oder Technologiearten.

- “digital model of the real **network environment**” [379]
- “a virtual representation of a specific **product**” [388]
- “virtual representation **based on AR-technology**” [827]

Utopisch

Theoretisch nett, allerdings nicht praktikabel

- “integrated virtual model of a real-world system containing **all of its physical information**” [393]
- “a **complete** virtual representation of a physical part or process” [1079]

M. Dalibor, N. Jansen, D. Schmalzing, R. Rumpe, M. Wimmer, L. Wachtmeister, A. Wortmann. A Cross-Domain Systematic Mapping Study on Software Engineering for Digital Twins.
(to appear in Journal of Systems and Software)

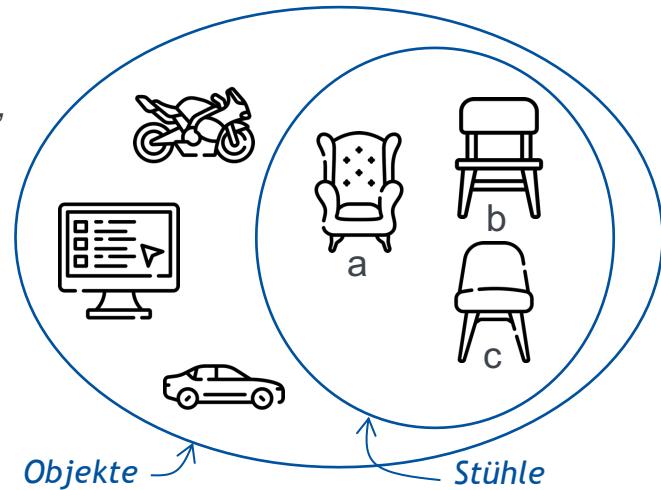
Zusammenfassung

Die meisten **Definitionen** des
Begriffs „Digitaler Zwilling“
ermöglichen **keine Abgrenzung**,
sind kaum generalisierbar, oder
nicht praktikabel.

Ernsthafte Diskussion über Digitale Zwillinge bedarf einer guten Definition

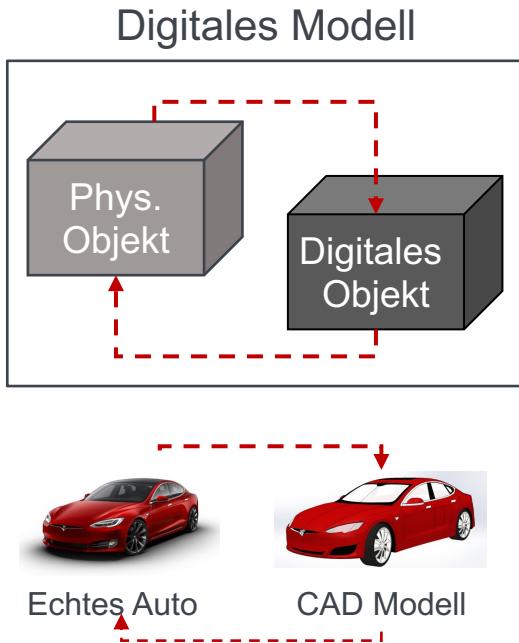
Gute Definitionen unterscheiden enthaltene und ausgeschlossene Konzepte

- **Intensionale Definition:** Notwendige Eigenschaften damit Objekte mit diesem Begriff bezeichnet werden
 - Beispiel: *Ein Stuhl ist ein physisches Objekt das über Beine, und eine Lehne verfügt sich zum Sitzen für eine Person eignet und sich nicht selbstständig bewegt.*
- **Extensionale Definition:** Gesamtheit enthaltener Objekte
 - Beispiel: *Stühle := {a,b,c}*
- Es bedarf einer intensionalen Definition Digitaler Zwillinge
- Für Diskurs, Theorienbildung, systematische Entwicklung, Wiederverwendung, ...



Eine qualitative Betrachtung basierend auf Datenflüssen

Art und Richtung der Datenflüsse bestimmen welcher Art das digitale Objekt ist

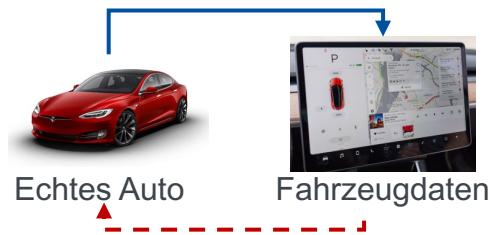
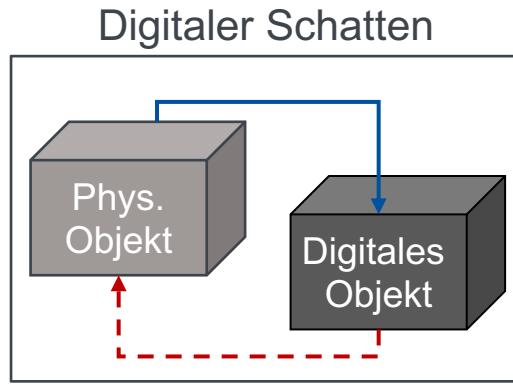
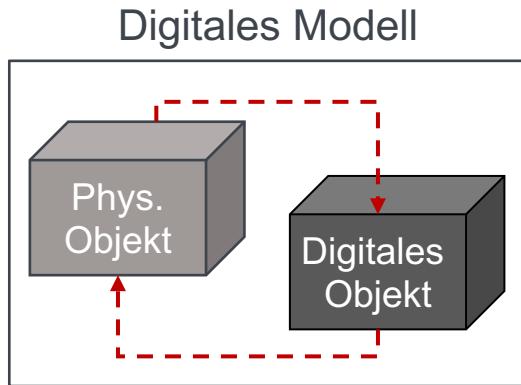


—→ Manueller Datenfluss → Automatischer Datenfluss

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W: Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 2018.

Eine qualitative Betrachtung basierend auf Datenflüssen

Art und Richtung der Datenflüsse bestimmen welcher Art das digitale Objekt ist

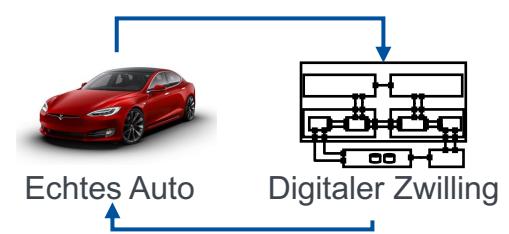
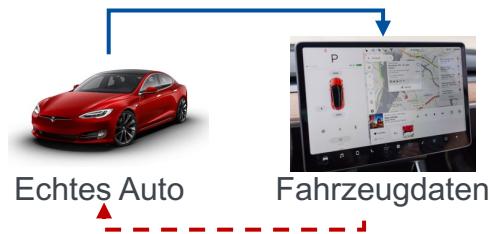
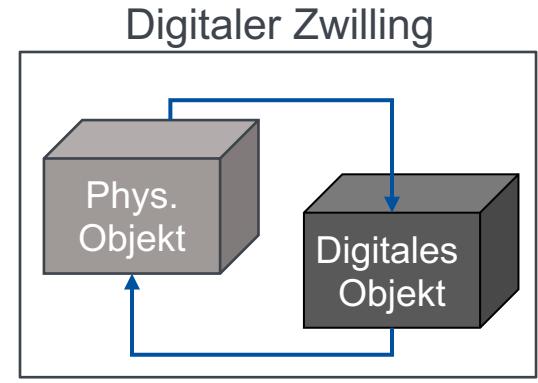
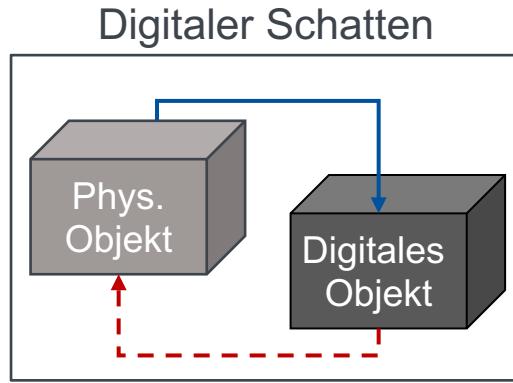
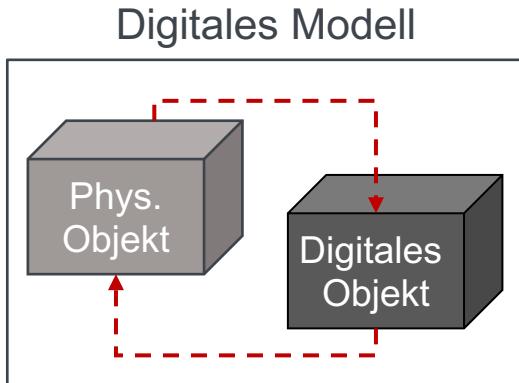


→ Manueller Datenfluss → Automatischer Datenfluss

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W: Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 2018.

Eine qualitative Betrachtung basierend auf Datenflüssen

Art und Richtung der Datenflüsse bestimmen welcher Art das digitale Objekt ist



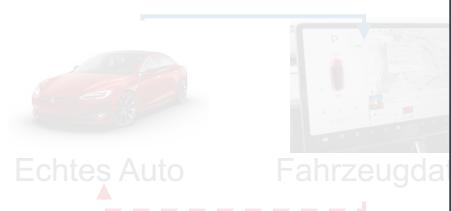
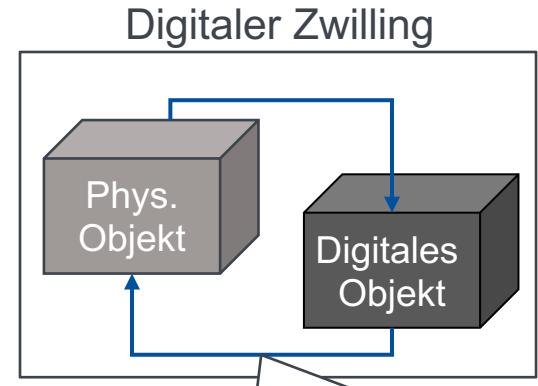
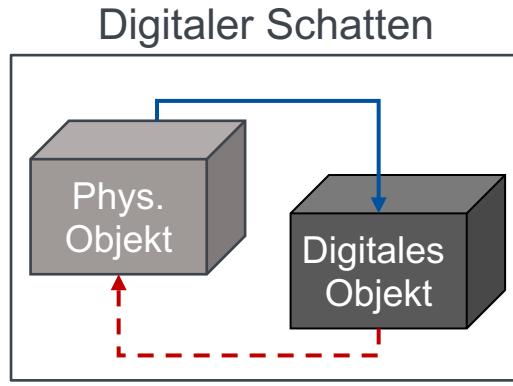
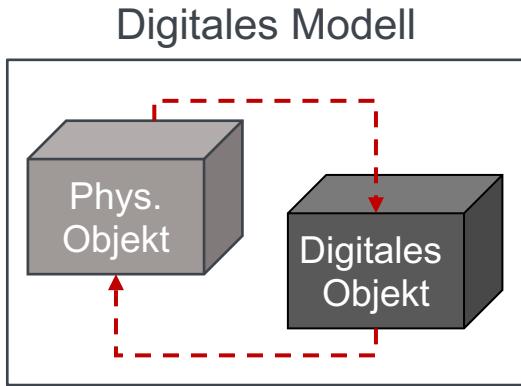
→ Manueller Datenfluss

→ Automatischer Datenfluss

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W: Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 2018.

Eine qualitative Betrachtung basierend auf Datenflüssen

Art und Richtung der Datenflüsse bestimmen welcher Art das digitale Objekt ist



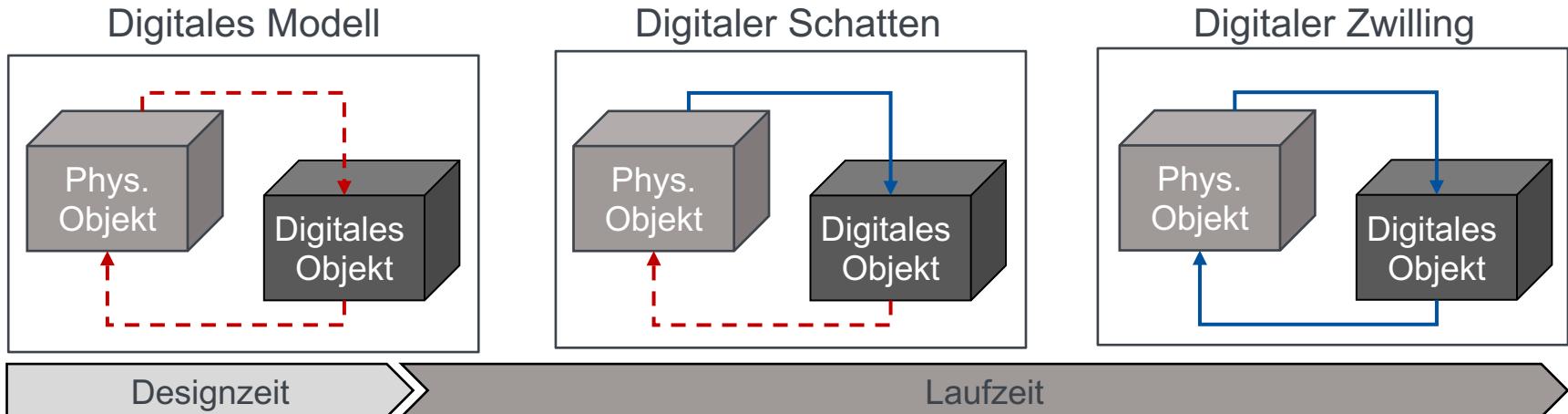
Hier versteckt sich viel Software:
Kommunikation, Datenverarbeitung,
Datenhaltung, Repräsentation,
Transformationen, ...

→ Manueller Datenfluss → Automatischer Datenfluss

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W: Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 2018.

Verschiedene Digitale Repräsentationen dienen verschiedenen Zwecken

Art und Richtung der Datenflüsse bestimmen welcher Art das digitale Objekt ist

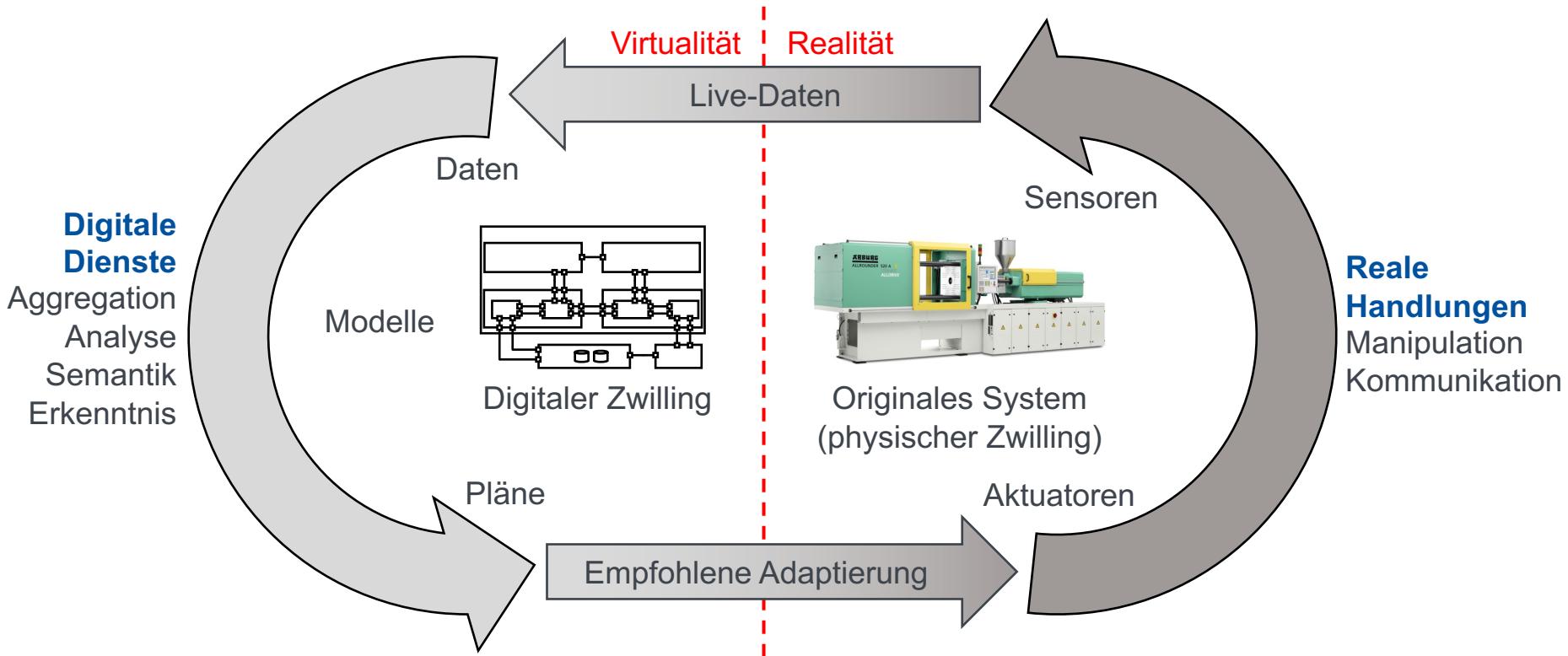


- Dokumentation und Kommunikation
- Code Generierung und Simulation
- Design Exploration
- (Virtuelle) Inbetriebnahme

- Laufzeitbeobachtung
- Zustandsanalyse
- Verhaltensprädiktion
- Konformitätsanalyse

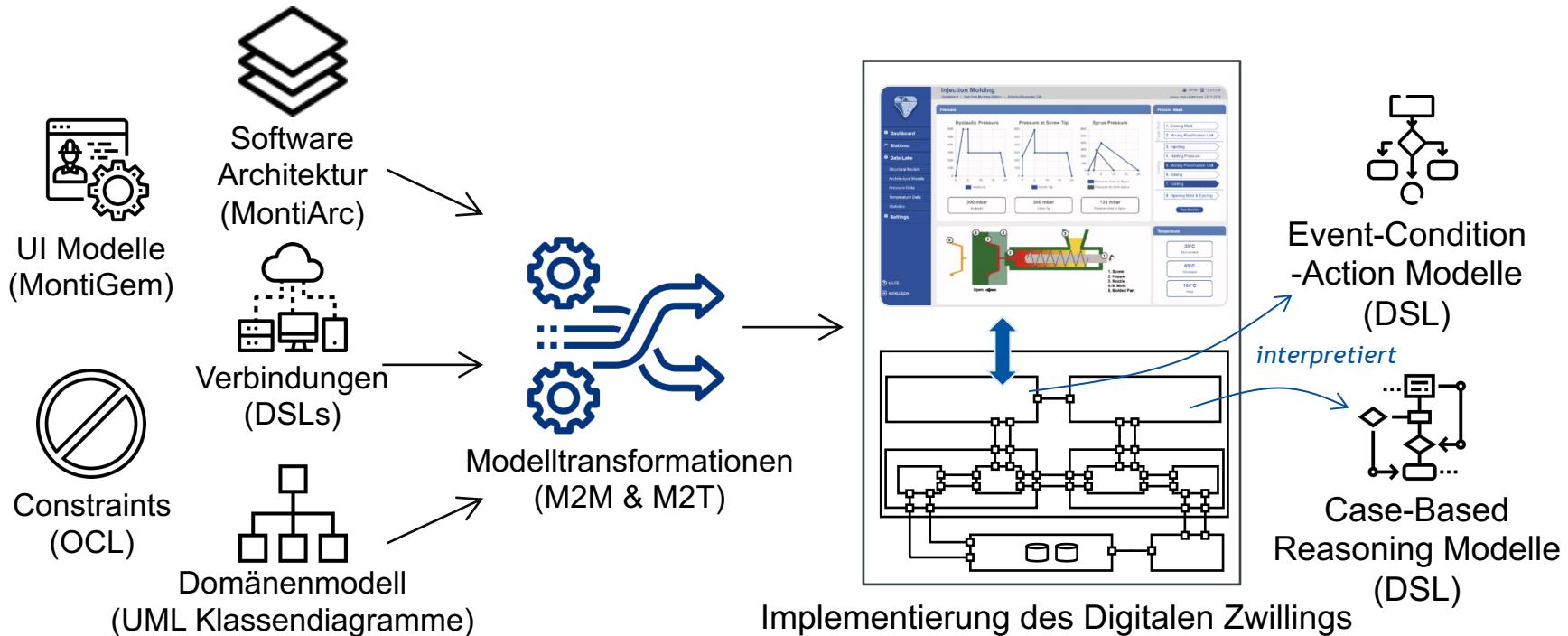
- Laufzeitadaption
- OTA Aktualisierung
- Entscheidungsunterstützung
- Autonomes Verhalten

Schematischer Aufbau Digitaler Zwillinge



Modellgetriebene Entwicklung digitaler Zwillinge als Adaptive Systeme

Generierung von Struktur & Interpretation von Verhalten



Dalibor, M., Michael, J., Rumpe, B., Varga, S., & Wortmann, A. (2020.). Towards a Model-Driven Architecture for Interactive Digital Twin Cockpits. In International Conference on Conceptual Modeling (pp. 377-387). Springer, Cham.

J. C. Kirchhof, J. Michael, B. Rumpe, S. Varga, A. Wortmann: Model-driven Digital Twin Construction: Synthesizing the Integration of Cyber-Physical Systems with Their Information Systems. In: Proceedings of the 23rd ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS'20), pp. 90-101, ACM, Oct. 2020.

Vertiefende Aktivitäten

In der modellgetriebenen Entwicklung Digitaler Zwillinge

Ceci n'est pas un jumeau numérique

Andreas Wortmann
University of Stuttgart

Presentation slides

Abstract: Digital Twins are currently investigated as the technological backbone for providing an enhanced understanding and management of existing systems as well as for designing new systems in various domains, e.g., ranging from single manufacturing components, such as sensors to large-scale systems such as smart cities. Given the diverse applications of Digital Twins, it is not surprising that the characterization of the term Digital Twin, as well as the needs for developing and operating Digital Twins are multifaceted. Providing a better understanding what the commonalities and differences of Digital Twins in different contexts are, may allow to build reusable support for developing, running, and managing Digital Twins by providing dedicated concepts, techniques, and tool support. Yet there is neither commonly accepted definition of the term "Digital Twin", nor agreements about what such a software should comprise or do. This is partly due to the different communities involved in digital twin research and partly due to the different challenges digital twins are applied to. In this talk, we will discuss different perspectives on digital twins, lay out insights on digital twin features based on the largest literature study on digital twins, discuss the interpretation of digital twins by large US platform providers, and illustrate a toolchain for the model-driven engineering of self-adaptive digital twins.

Engineering Digital Twins
Community
<http://edt.community>

The GEMOC Initiative

ModDiT 2022 2022, Virtual

Home / Events / ModDiT 2022

2nd International Workshop on Model-Driven Engineering of Digital Twins

ModDiT'22
co-located with MODELS 2022

About | Program | Call | Dates | Committees

About the Workshop

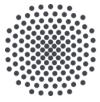
Digital twins promise tremendous potential to better understand and make use of cyber-physical systems in automotive, aeronautics, manufacturing, medicine, and many more domains. Despite many of the required systems being developed using models, engineering digital twins currently is ad hoc and demands integrating different piecemeal technologies, which effectively hinders the application of digital twins. The focus of many digital twins and frameworks to create digital twins is on data acquisition and visualization via dashboards. Current research on digital twins focuses on specific implementations (bottom-up) or generic models on how digital twins could be developed (top-down). Yet, there is a huge gap between both: few that only focus on the modeling and engineering of digital twins. While MDE is a well-established and systematic discipline for the engineering of digital twins. Currently, a venue bringing together experts from the modeling community on this topic is missing: ModDiT'22 brings together researchers and developers of digital twins come together to shape the future of systematically designing, engineering, evolving, maintaining, and evaluating digital twins.

Workshop on Model-Driven
Engineering of Digital Twins
[https://gemoc.org/events/
moddit2022.html](https://gemoc.org/events/moddit2022.html)

1st International Workshop
on Digital Twin Architecture
(TwinArch)



Workshop on
Digital Twin Architecture
[https://www.iese.fraunhofer.de/
en/twinarch.html](https://www.iese.fraunhofer.de/en/twinarch.html)



University of Stuttgart

Institute for Control Engineering of Machine
Tools and Manufacturing Units (ISW)



Jun.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Wortmann

email wortmann@isw.uni-stuttgart.de

web www.wortmann.ac

phone +49 (0) 711 685-84624

twitter @andwor

University of Stuttgart
Institute for Control Engineering of Machine Tools and Manufacturing Units (ISW)
Seidenstrasse 36 • 70174 Stuttgart • Germany