



INSTITUT FÜR
ENERGIETECHNIK UND
THERMODYNAMIK
Institute for Energy Systems and Thermodynamics

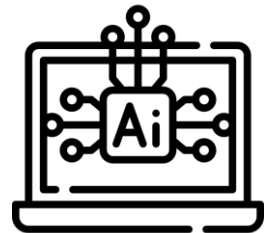
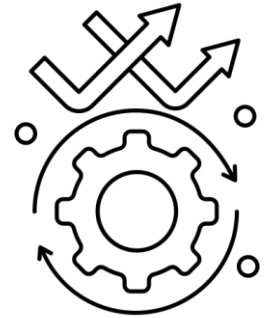
Wie selbstlernende digitale Zwillinge industrielle Energiesysteme resilienter machen

SYMPOSIUM: DIE ROLLE VON KI ZUR ENERGIEWENDE IN DER ÖSTERREICHISCHEN
INDUSTRIE | 15. Jänner 2024 | Dr. Lukas Kasper

„Wie selbstlernende digitale Zwillinge industrielle Energiesysteme resilienter machen“

- Was ist Resilienz?
 - „**Resilienz** bezeichnet in den Ingenieurwissenschaften die **Fähigkeit** von technischen Systemen, **bei Störungen bzw. Teil-Ausfällen nicht vollständig zu versagen, sondern wesentliche Systemdienstleistungen aufrechtzuerhalten.**“^[1]
 - → Inhärente **Lern- bzw. Entwicklungsfähigkeit** von Systemen

- Was ist künstliche Intelligenz?
 - „**Unter Künstlicher Intelligenz versteht man Systeme mit einem intelligenten (selbstlernendem) Verhalten, die ihre Umgebung analysieren und mit einem gewissen Grad an Autonomie handeln.**“^[2]

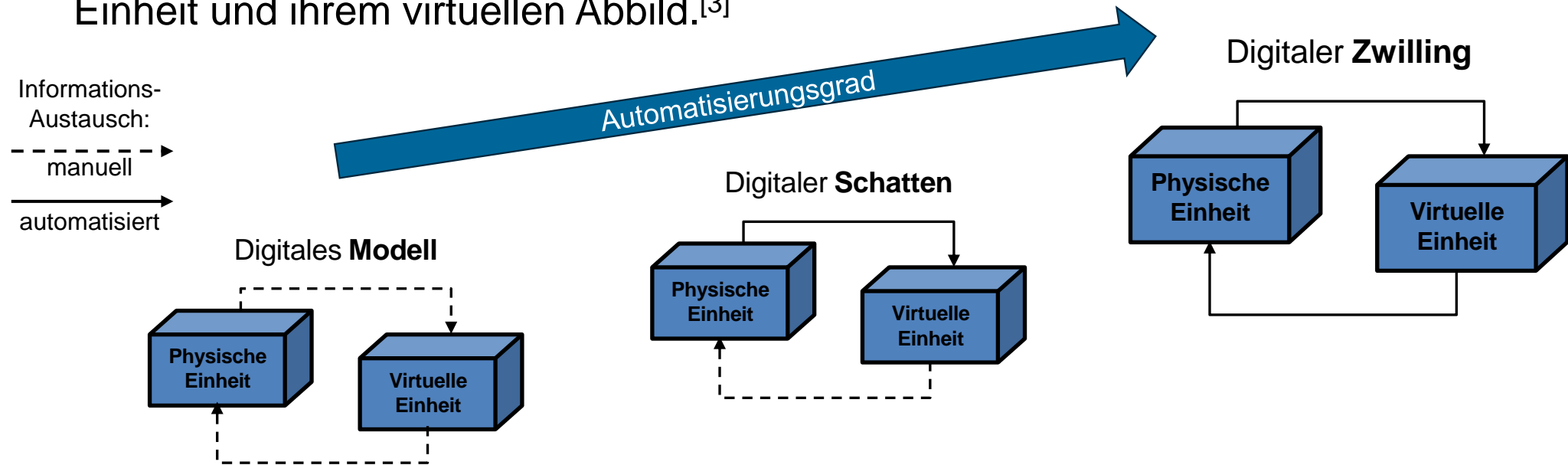


[1] Thoma, Klaus. "Resilien-Tech. 'Resilience-by-Design': Strategie für die technologischen Zukunftsthemen." acatech STUDIE. Veröffentlicht am 8. Mai 2014.

[2] Website des BMBWF. „Was ist unter Künstlicher Intelligenz (KI) zu verstehen?“. Zuletzt aufgerufen am 12. Jänner 2024.

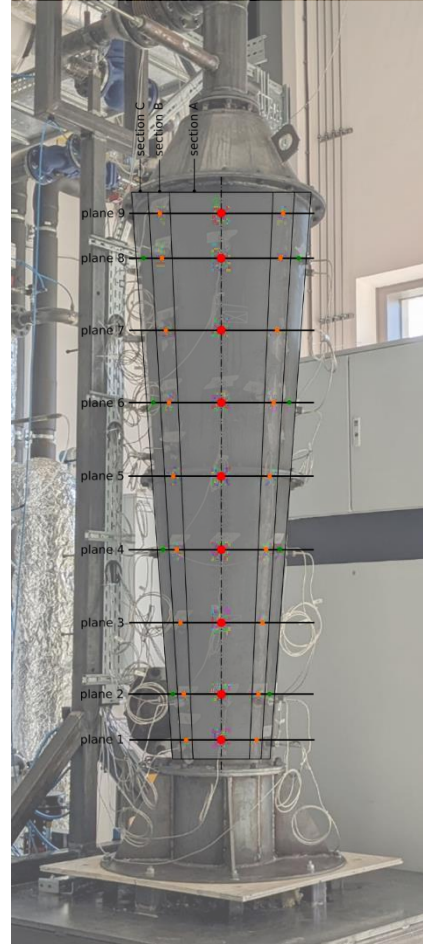
„Wie selbstlernende digitale Zwillinge industrielle Energiesysteme resilienter machen“

- Ein digitaler Zwilling ist mehr als „nur“ ein Modell.
 - Ein digitaler Zwilling verfügt über **automatisierten Informations-Austausch** zwischen einer physischen Einheit und ihrem virtuellen Abbild.^[3]



[3] Kritzinger, W., M. Karner, G. Traar, J. Henjes & W. Sihn (2018). "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification". In: *IFAC-PapersOnLine* 51.11, pp. 1016–1022. ISSN: 2405-8963. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>.

- Sensibler Wärmespeicher (Festbettregenerator)
- Dimensionen: ~ Ø0,5 x 2 m
- Kapazität: **50 kWh** (bei $\Delta T = 300^\circ\text{C}$)
- Max. Leistung: **33 kW** (bei $\Delta T = 300^\circ\text{C}$)



5DIndustrialTwin

A Digital Twin for Industrial Energy Systems

Projekt Konsortium

INSTITUT FÜR ENERGIETECHNIK UND THERMODYNAMIK
Institute for Energy Systems and Thermodynamics

ONE STEP AHEAD.

Förderung

Laufzeit

02/2021 – 05/2024

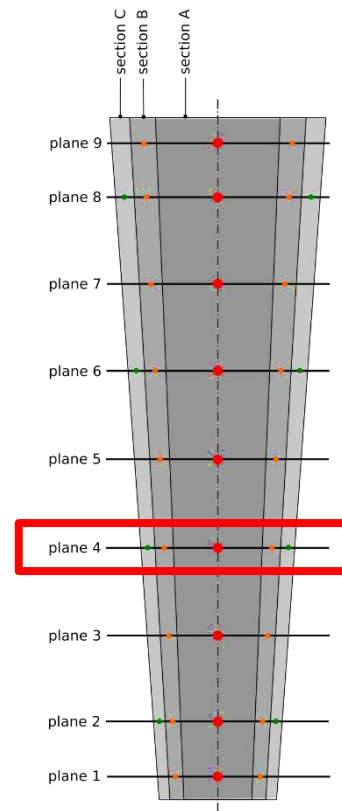
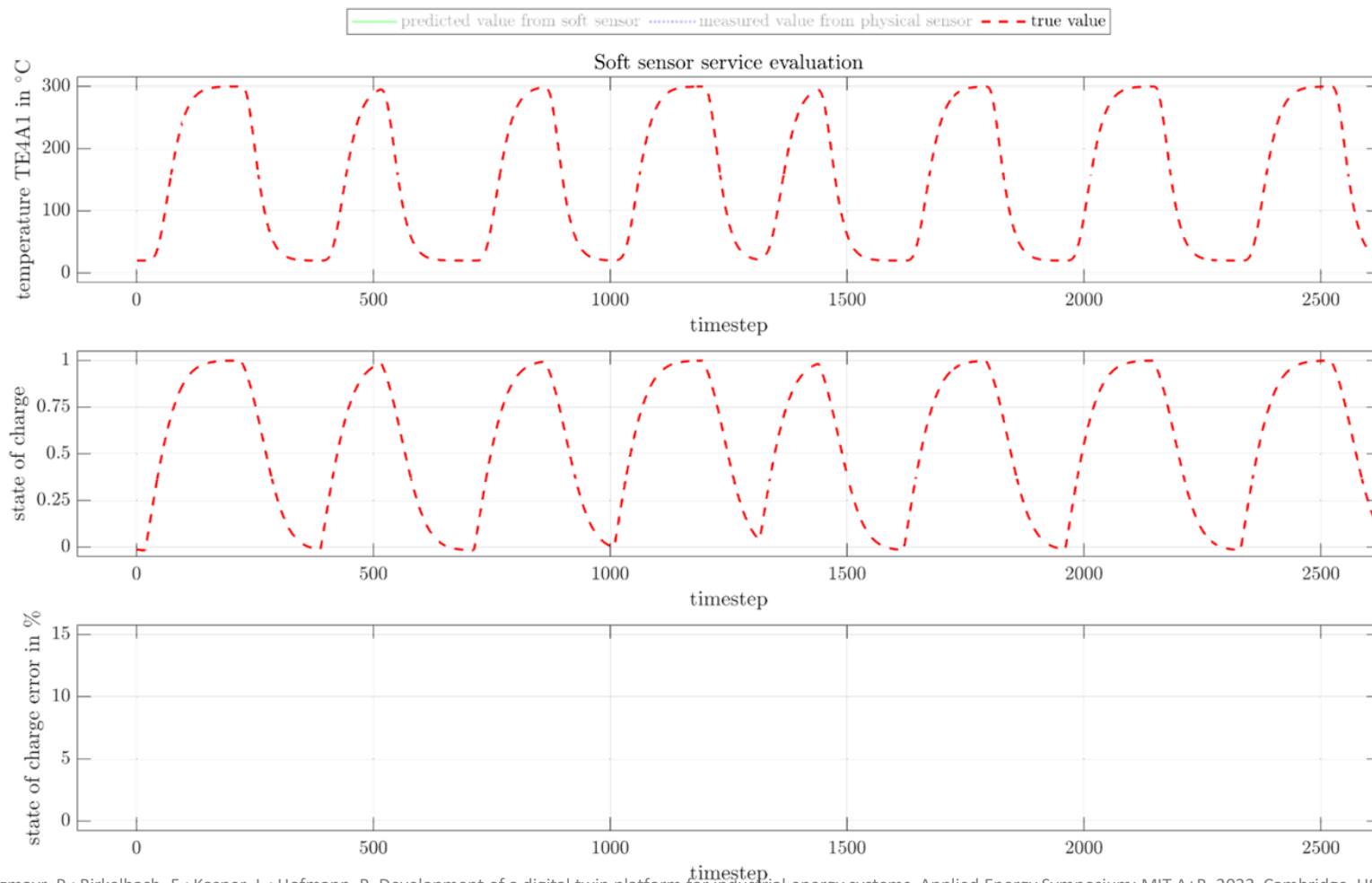


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

Sensor Ausfall

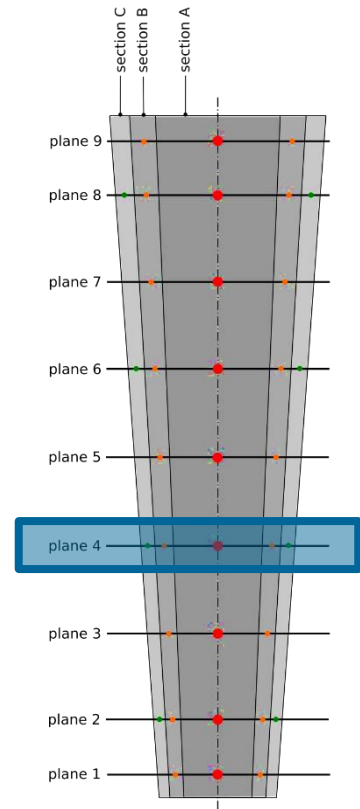
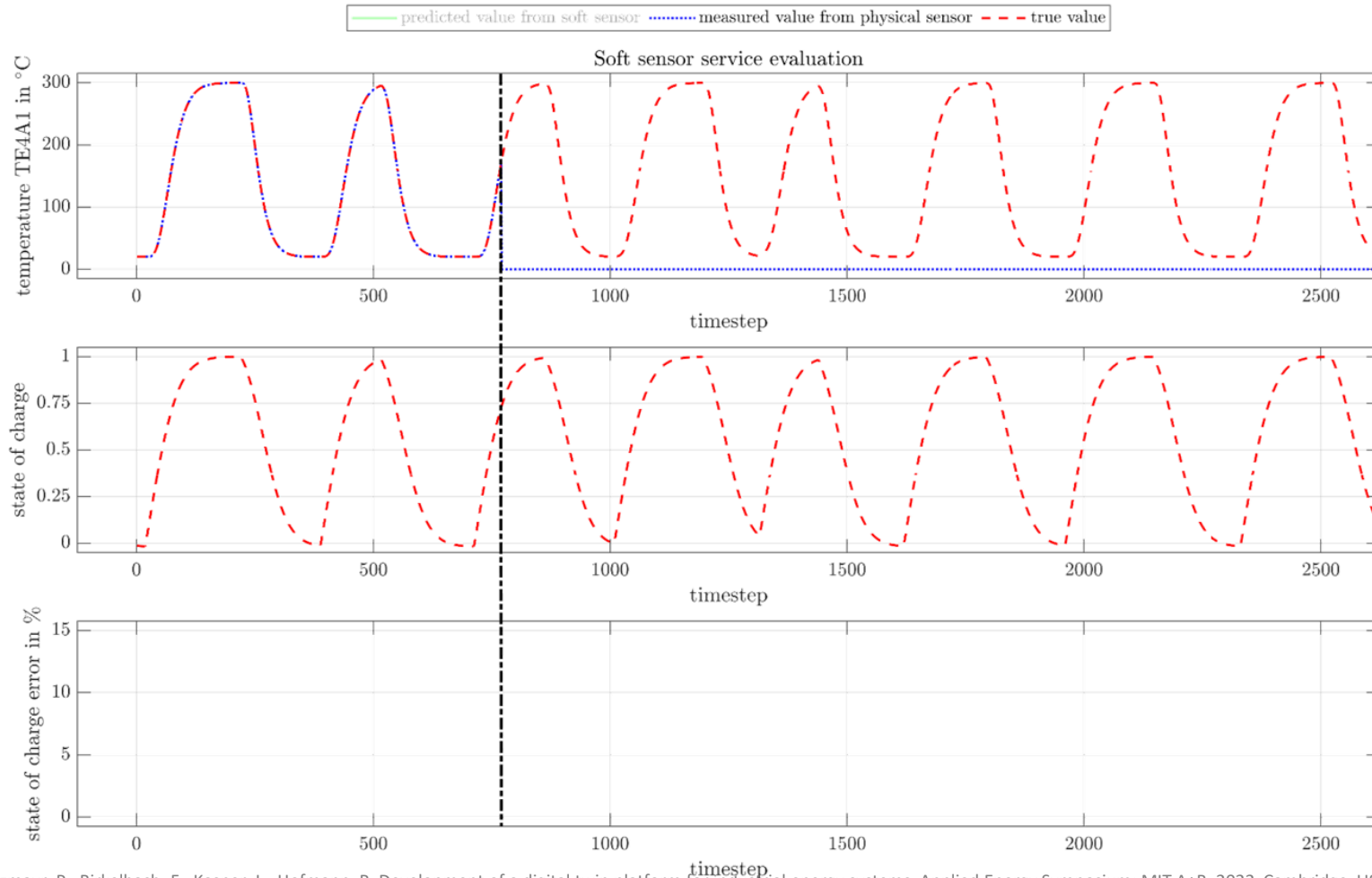


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

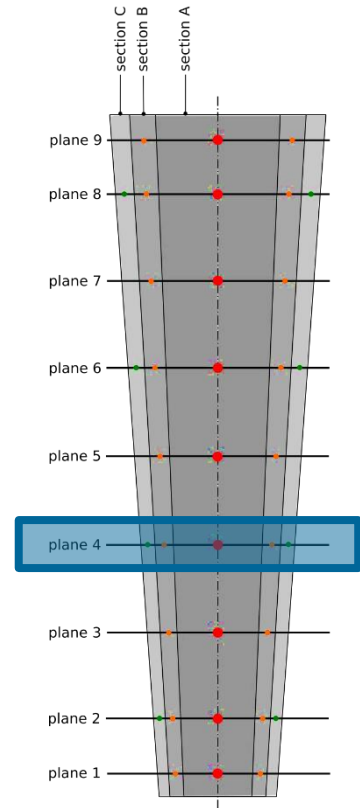
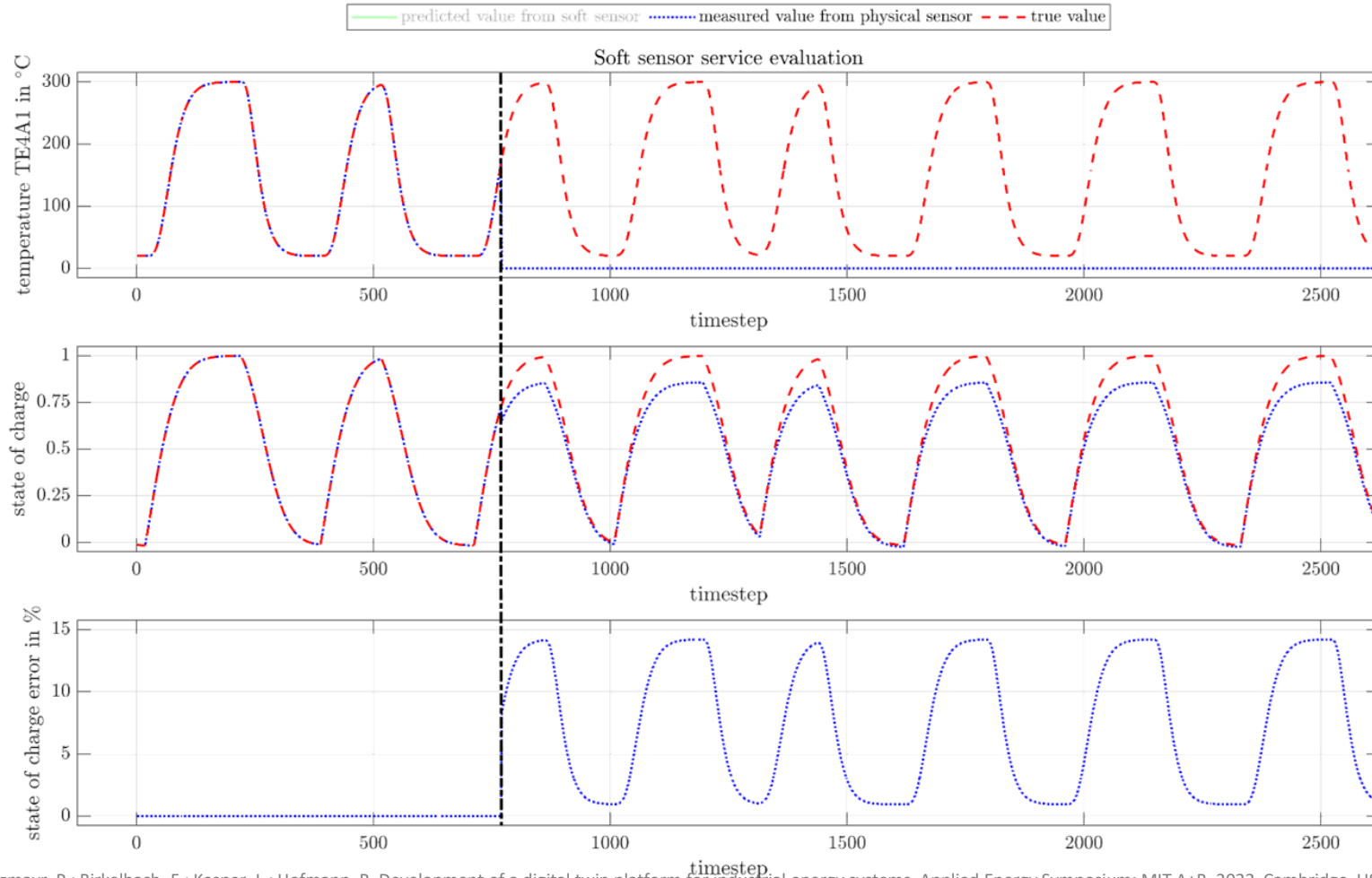
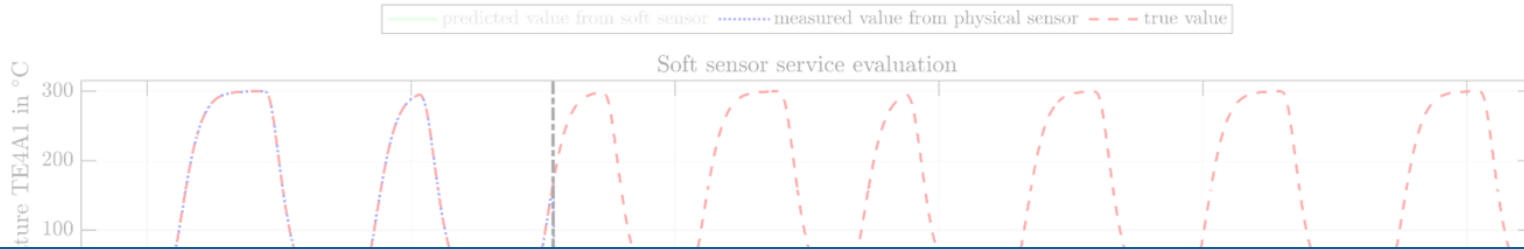


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>



Lösung durch digitalen Zwilling:
 → Automatische “soft sensor” Erstellung für fehlerhaften Sensor
 → Ersatzwert für fehlerhaften Messwert durch soft sensor.

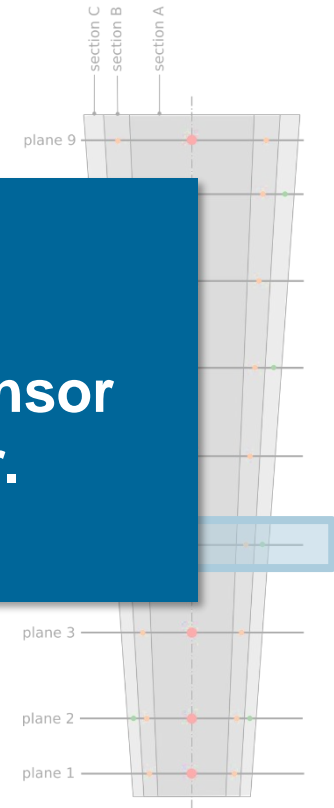
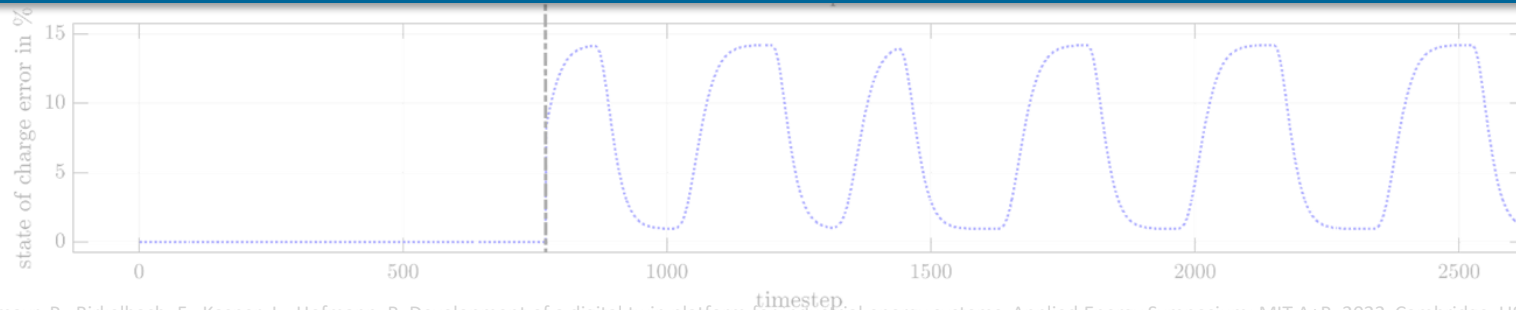


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

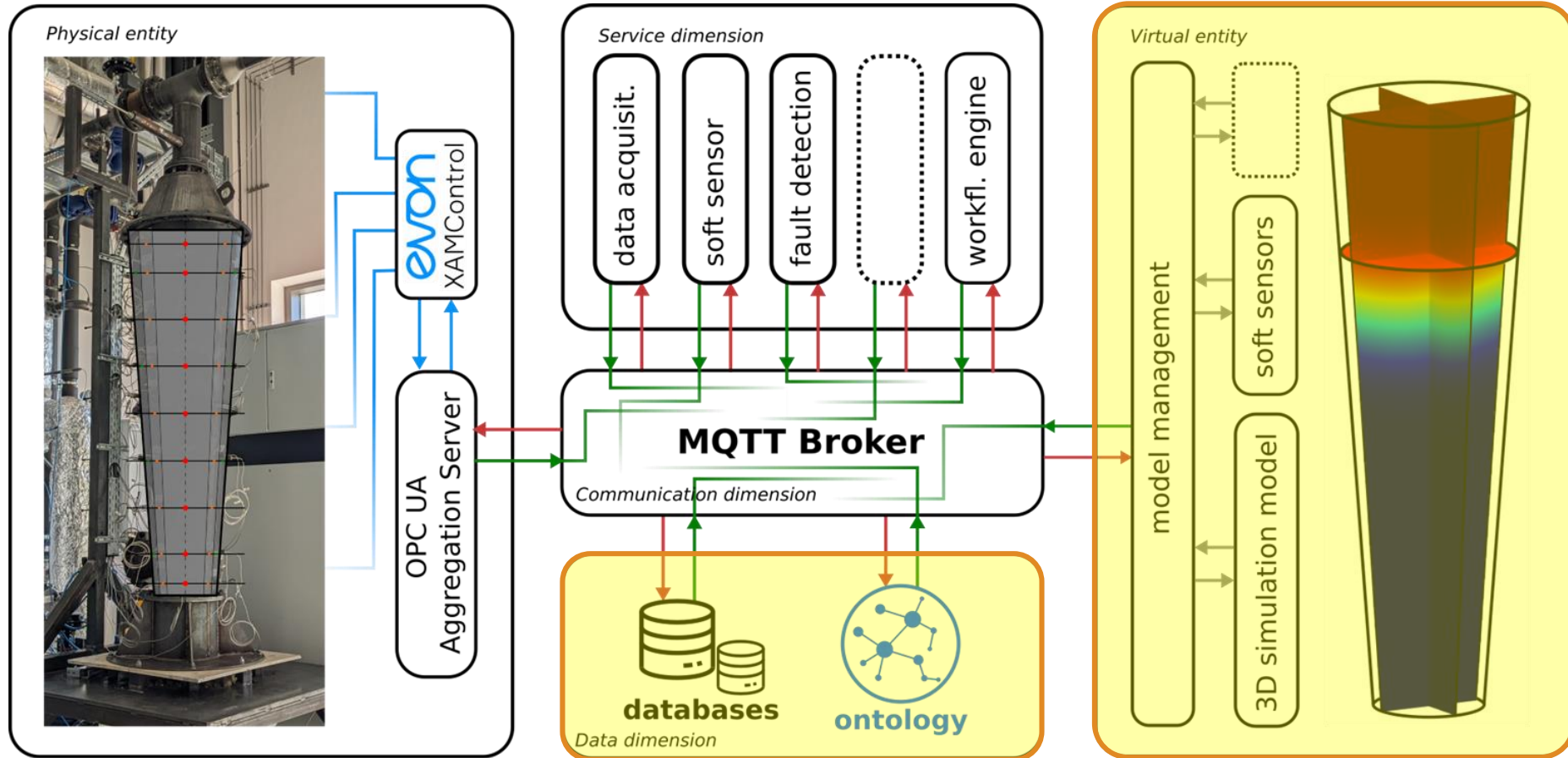


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

Virtuelle Einheit:

- 3-dimensionales thermisches Simulationsmodell
 - Hybrides physikalisch/Daten-getriebenes Finite-Volumen Modell

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} - \beta T \frac{Dp}{Dt} + \sum_{\alpha} \rho h_{\alpha} \frac{Dc_{\alpha}}{Dt} = \sigma'_{ij} \frac{\partial v_i}{\partial x_j} - \frac{\partial q'_i}{\partial x_i}$$

$$q = -\lambda \nabla T$$

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\nabla q = \nabla(\lambda \nabla T)$$

- Soft sensors für beschädigte Temperatursensoren
 - Rein Daten-getriebenes Modell (ARX model)
 - Modelle on-demand basierend auf Wissen aus der Datendimension des digitalen Zwillinge

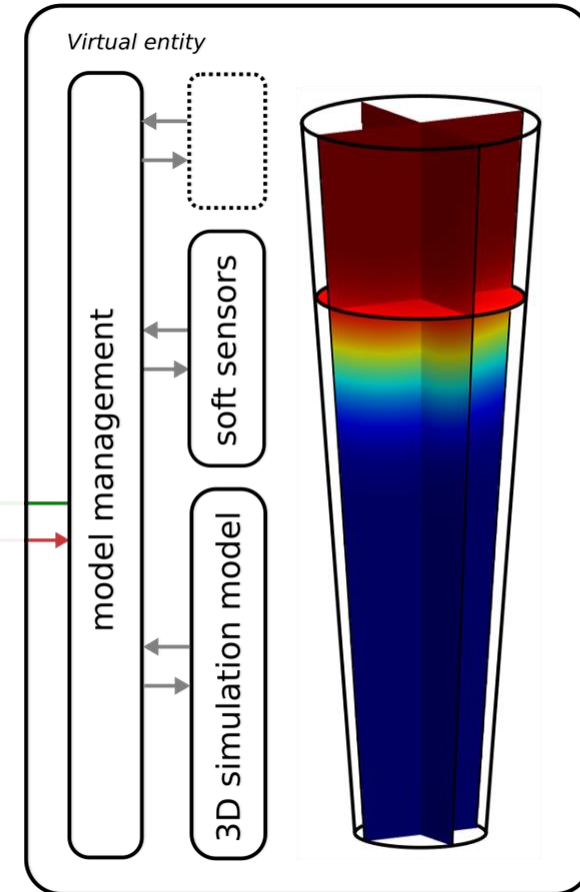


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

Daten-Dimension:

- SQL Datenbank für Laufzeitdaten der physischen Einheit
 - Daten-Integration mittels ontology-based data-access
- Wissensrepräsentation des digitalen Zwillings über Ontologien*

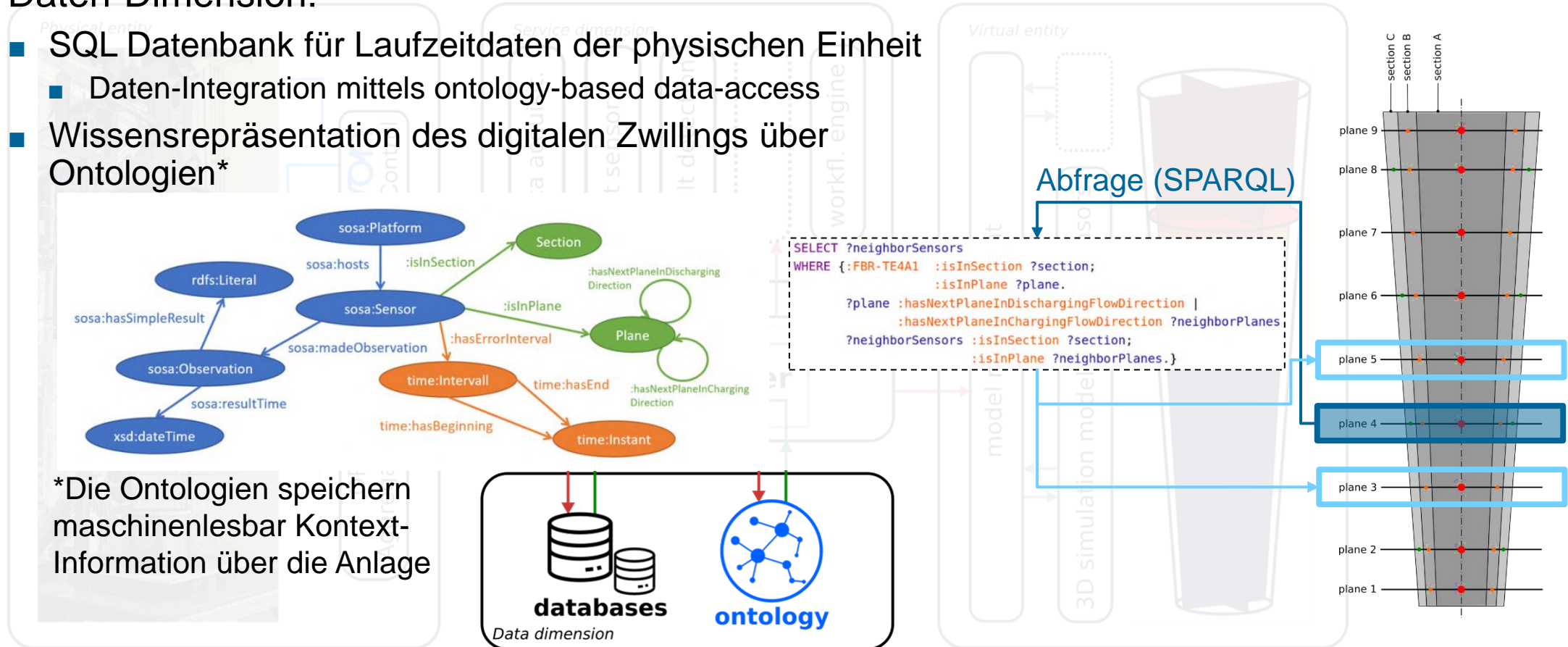


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

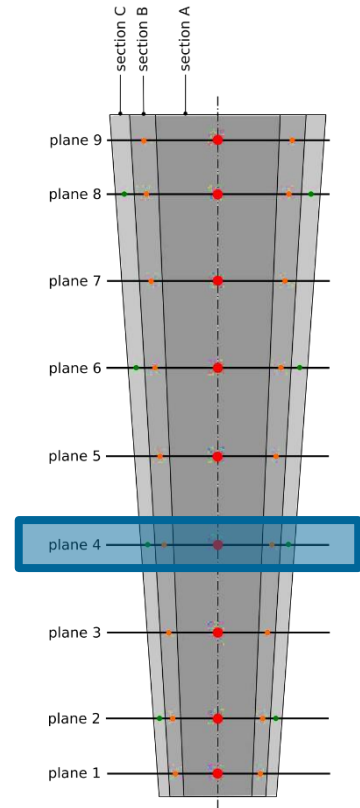
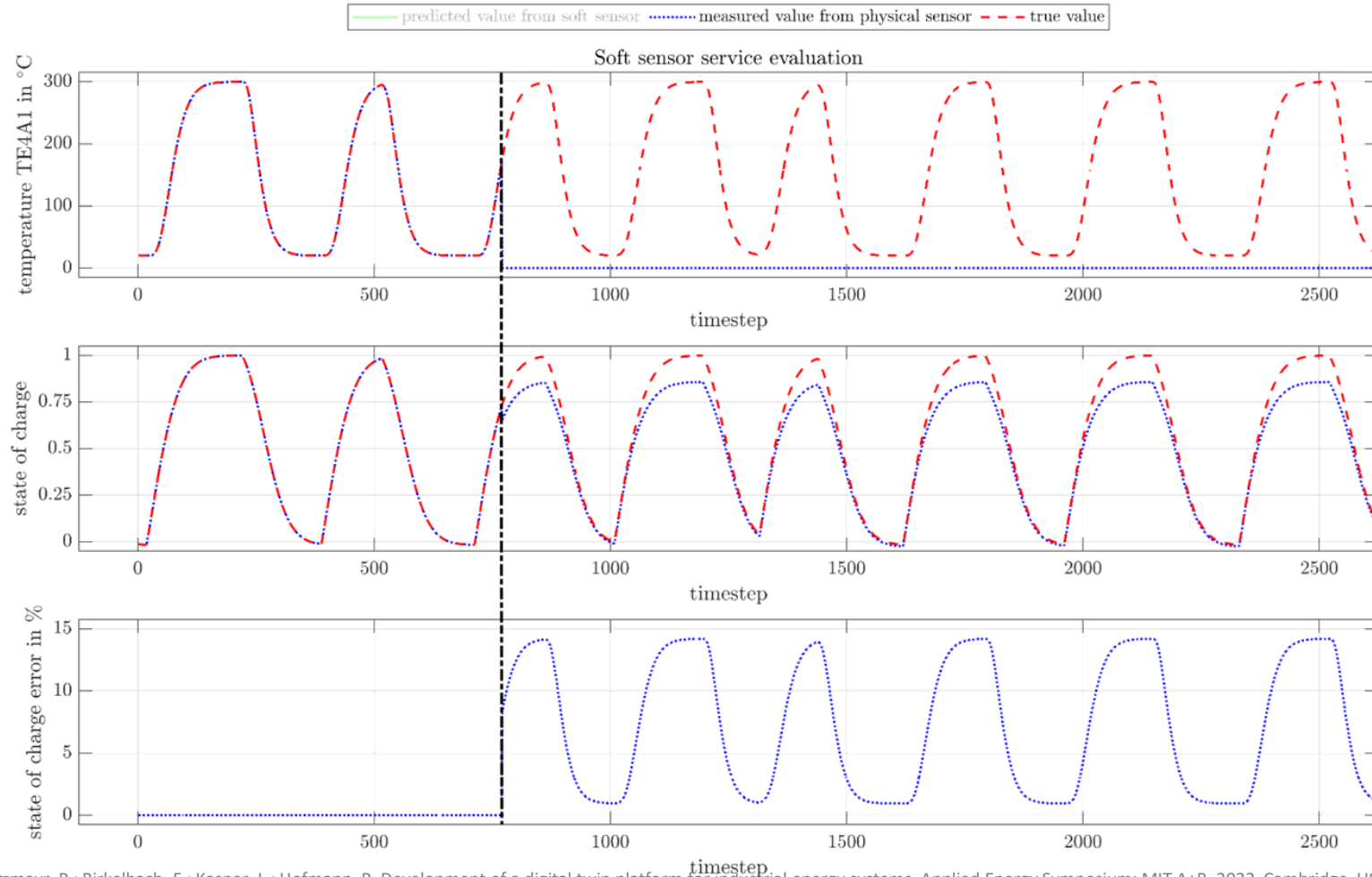
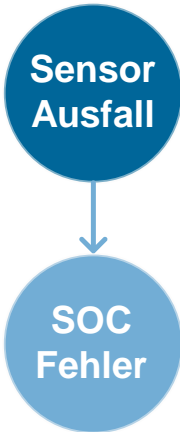


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

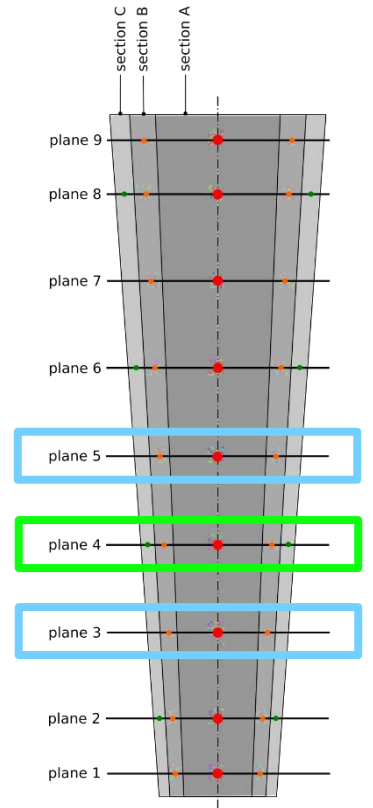
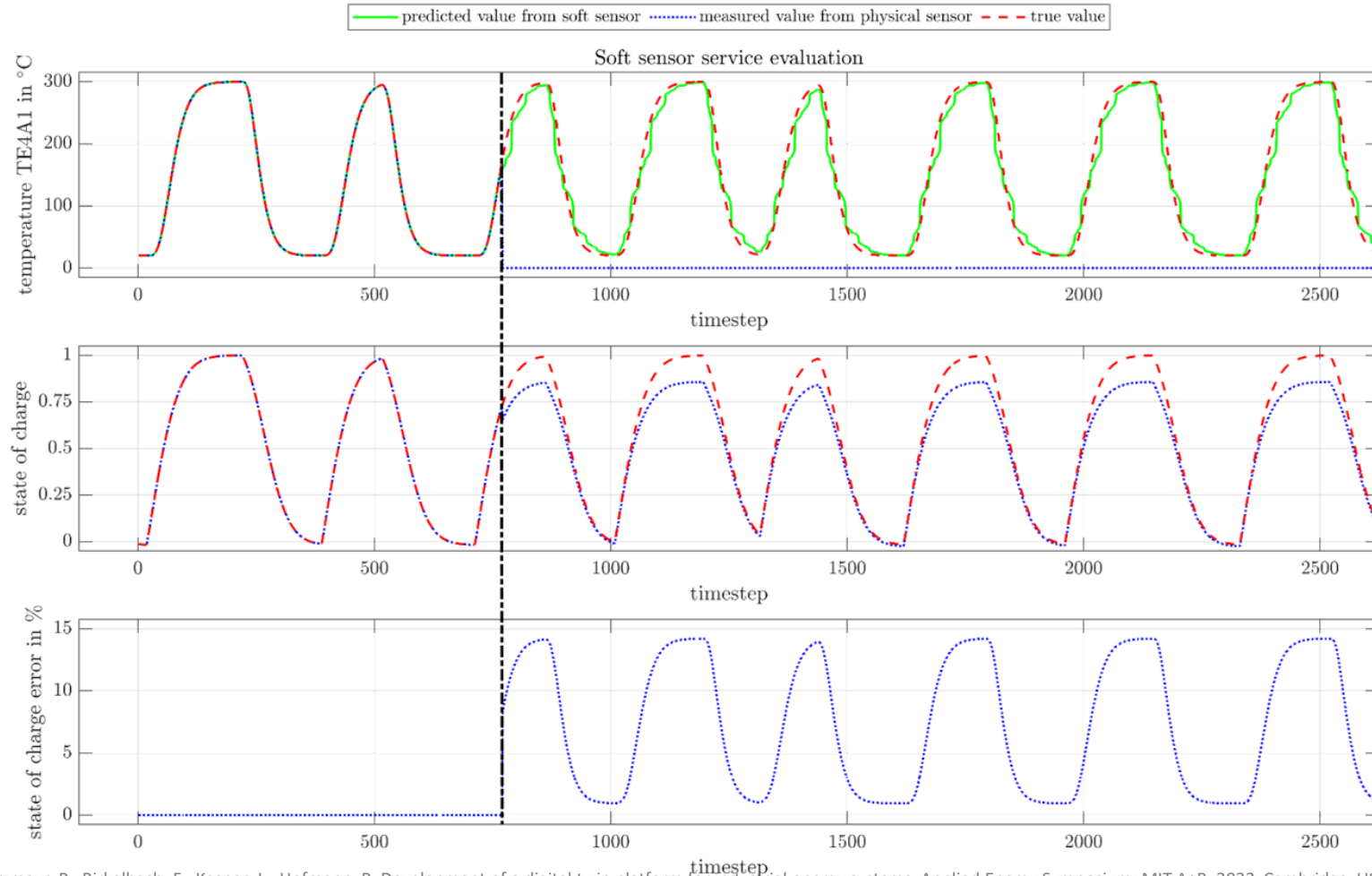
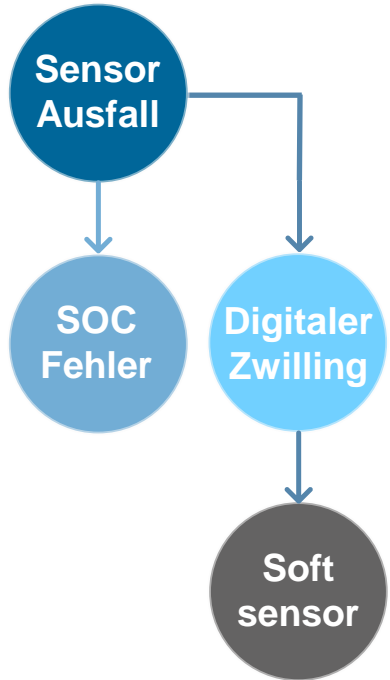


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

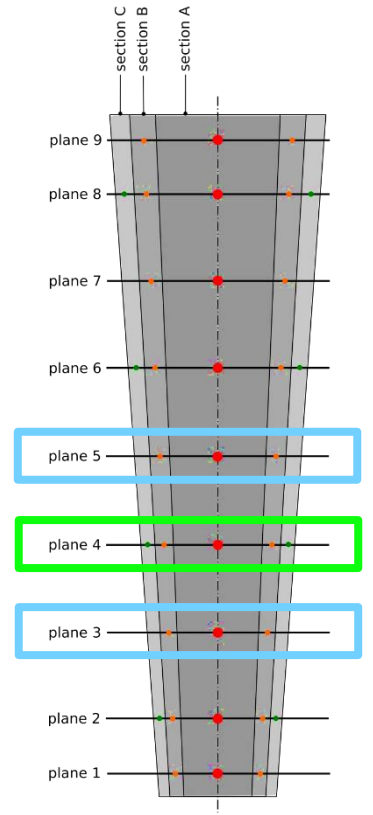
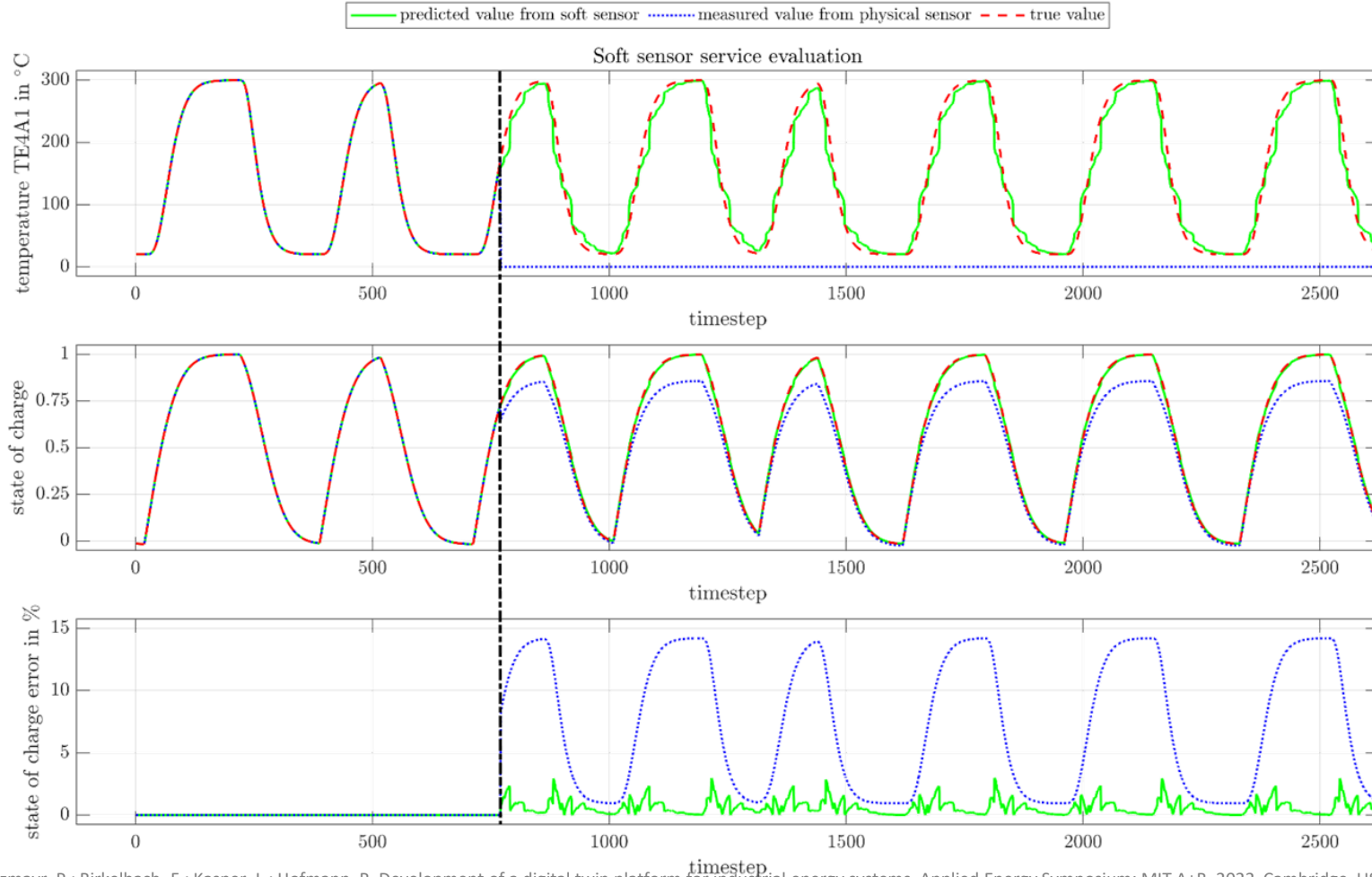
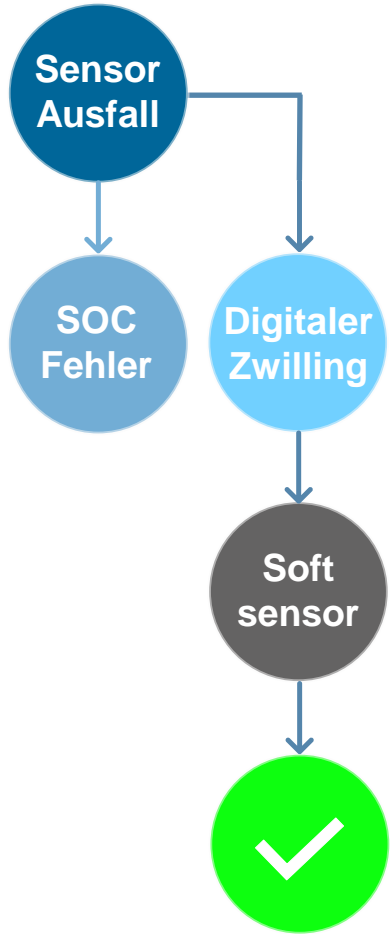
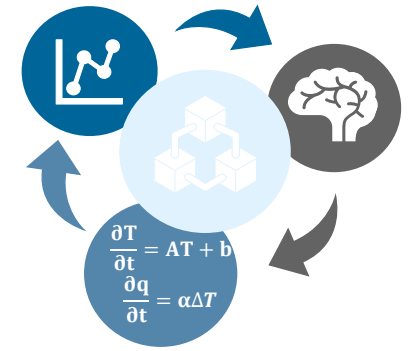


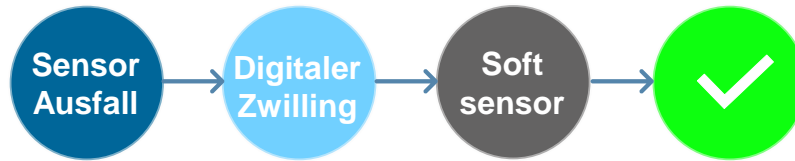
Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

„Wie selbstlernende digitale Zwillinge industrielle Energiesysteme resilienter machen“



■ Intelligente und skalierbare digitale Zwillinge Plattform

■ Automatische Soft Sensor Erstellung



■ Adaptive Modellierung und Betriebs-Optimierung

■ Selbstlernende Steuerung

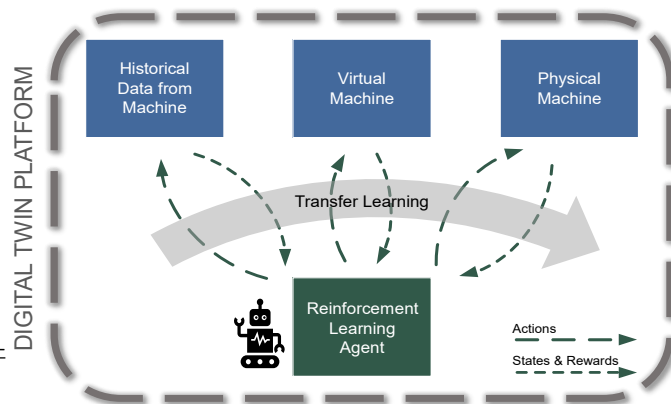


Figure Source: Project RELY
<https://www.tuwien.at/mwbw/iet/e302-03-forschungsbereich-industrielle-energiesysteme/forschungsprojekte/relly>

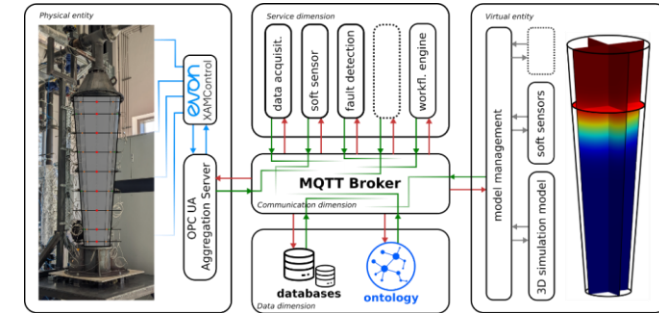


Figure Source: Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Kasper, L.; Hofmann, R. Development of a digital twin platform for industrial energy systems. Applied Energy Symposium: MIT A+B. 2022. Cambridge, USA. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

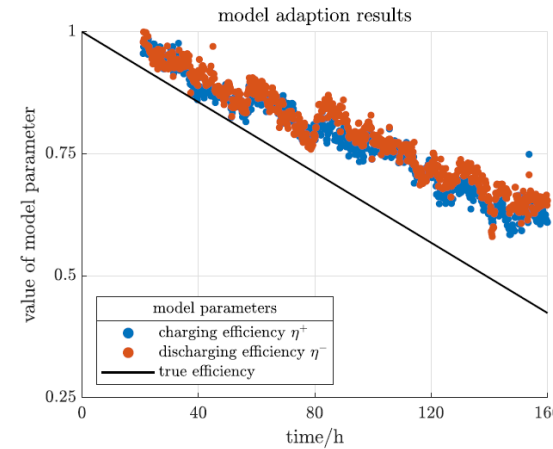


Figure 7: Evaluation results of the model adaption service.

Figure Source: Kasper, L.; Schwarzmayr, P.; Birkelbach, F.; Javernik, F.; Schwaiger, M.; Hofmann, R. A digital twin-based adaptive optimization approach applied to waste heat recovery in green steel production: Development and experimental investigation. Applied Energy. 353, Part B. 2024. 122192. <https://www.energy-proceedings.org/development-of-a-digital-twin-platform-for-industrial-energy-systems/>

- Fragen zu dieser Präsentation?




Lukas Kasper

Dr. | Post-Doc researcher

 lukas.kasper@tuwien.ac.at

 +43 1 58801 302319

 0000-0001-9474-3021

 [/in/lukaskasper/](https://www.linkedin.com/in/lukaskasper/)



- Sie wollen mehr über unsere Projekte wissen?

- Besuchen Sie unsere Website: Research Unit Industrial Energy Systems



<https://www.tuwien.at/en/mwbw/iet/e302-03-research-unit-of-industrial-energy-systems>



<https://www.youtube.com/channel/UC4NuEC16EbCieQciSz9KTkA>