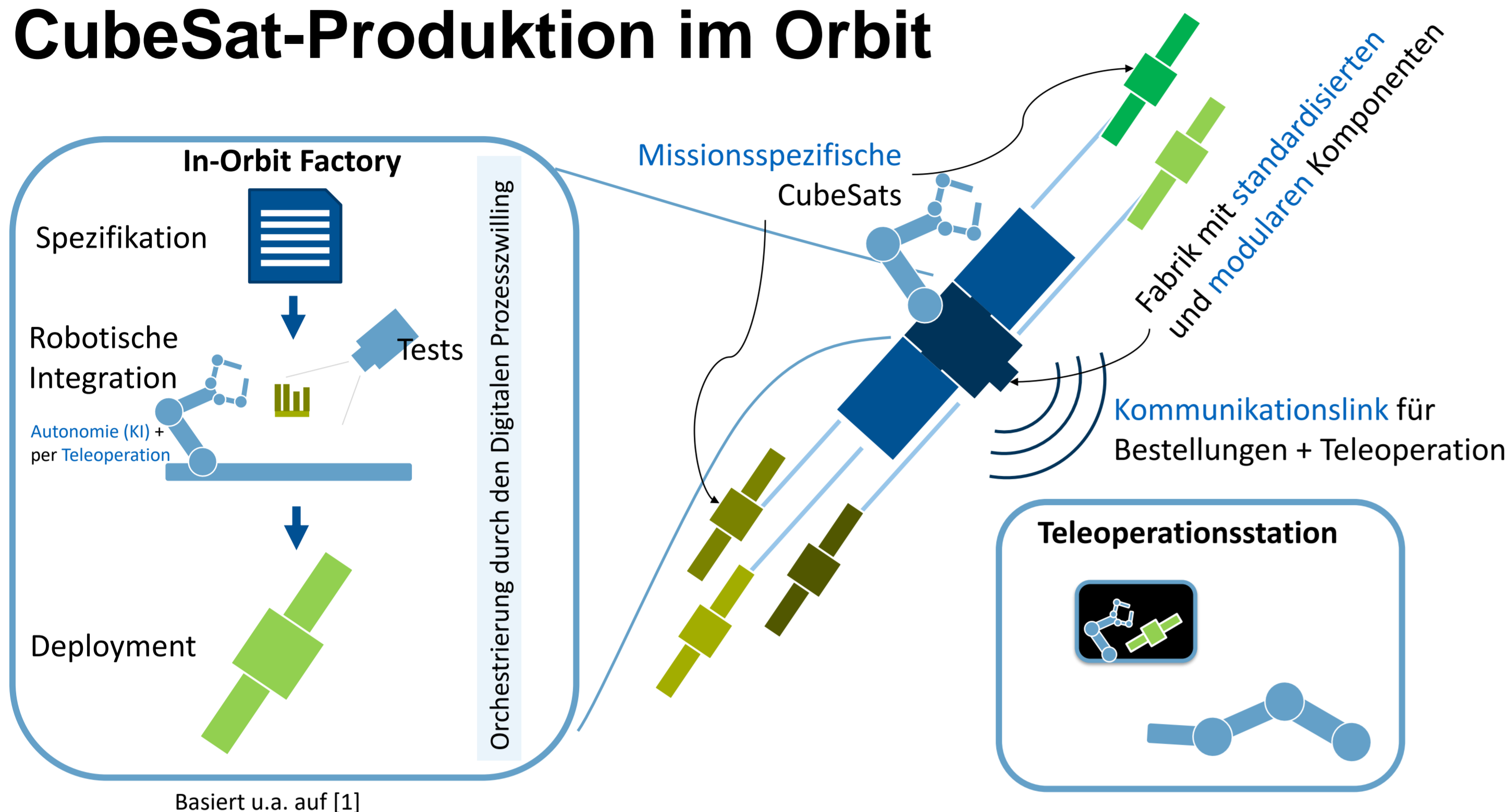


ACOR - AI-enabled Cyber-Physical In-Orbit Self-Recovering Factory

Maximilian Mühlbauer^{1,2}, Florian Leutert³, Christian Plesker⁴, Thomas Hulin², Alessandro Giordano^{1,2}, João Silvério², Freek Stulp², Benjamin Schleich⁴, Klaus Schilling³, Alin Albu-Schäffer^{2,1}

¹Technische Universität München (TUM), ²Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), ³Zentrum für Telematik e.V., ⁴Technische Universität Darmstadt

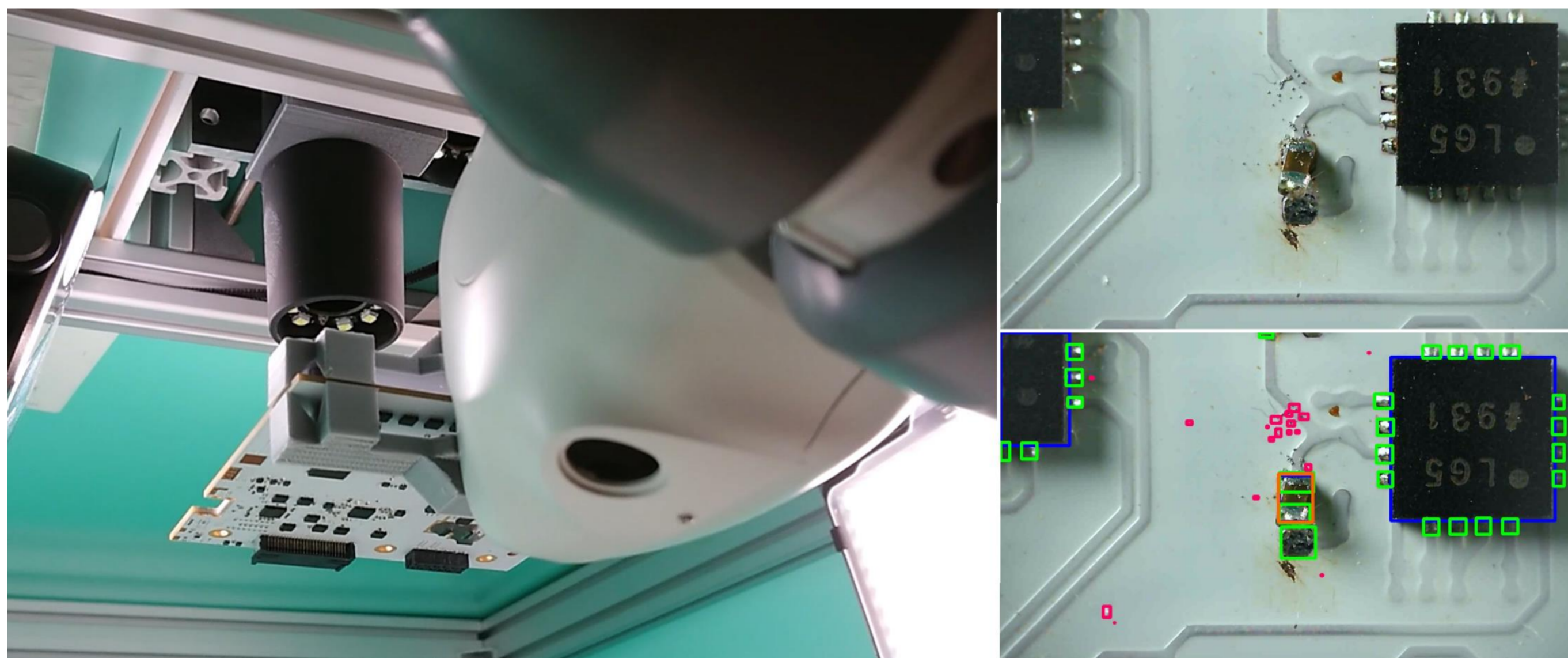
CubeSat-Produktion im Orbit



Ansatz von ACOR

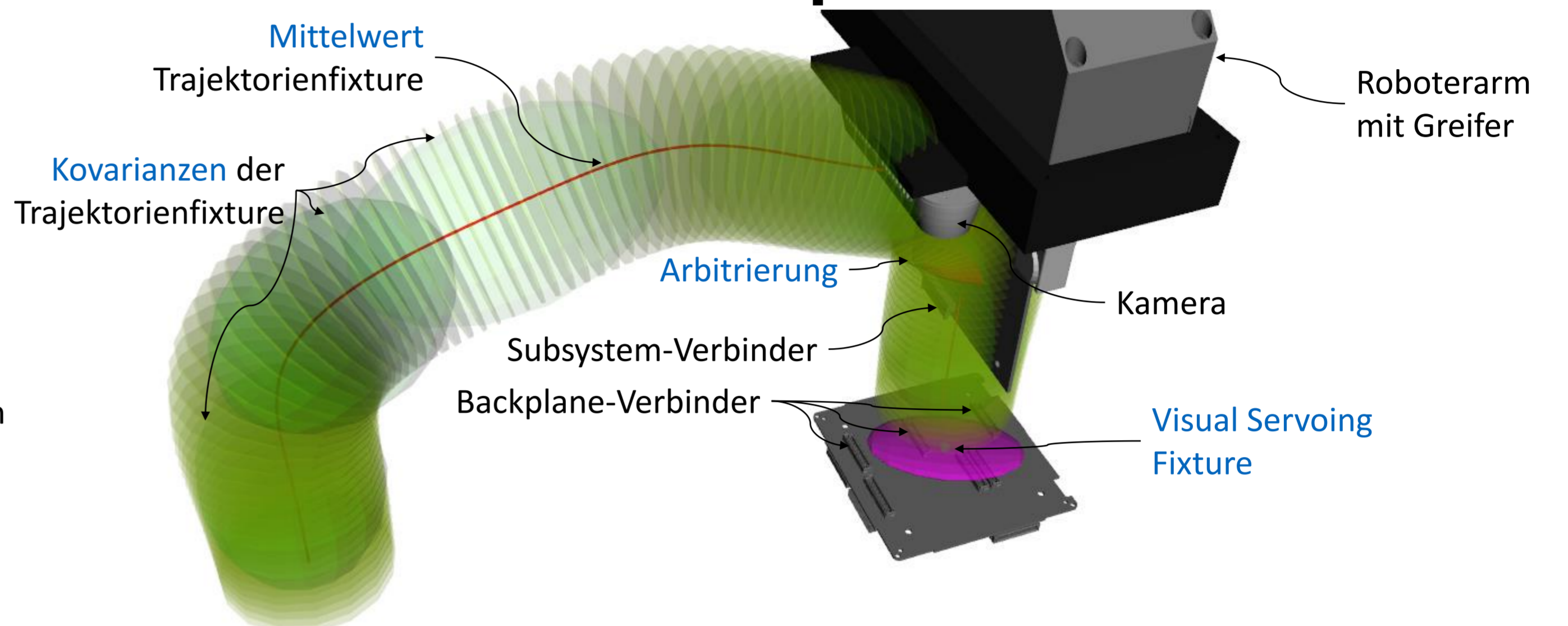
Hochflexible, **fehlertolerante** Fertigungsansätze mittels automatisierter Integration und Tests sowie einer Teleoperationsschnittstelle orchestriert durch einen digitalen Prozesszwilling mit **FDIR-Fähigkeit**.

Fehlertolerante AIT



- Automatisierter Zusammenbau modularer Kleinstsatelliten mit **kraftsensitivem Leichtbauroboter**
- Adaptiver AIT (Assembly, Integration and Test)-Prozess zum Umgang mit **Toleranzen und Unsicherheiten**
- Einbezug von **FDIR** (Fault Detection, Identification and Recovery) - Ansätzen in den Bauprozess
- **Fehlerdetektion** bspw. durch optische Inspektion, Elektronik- und Softwaretests, sowie funktionale Prüfung direkt noch **während des Bauprozesses**
- Neuronale Netze zur Fehlerdetektion noch unbekannter Fehlertypen
- Lernverfahren zur Verbesserung der **Zuverlässigkeit** der FDIR-/AIT-Verfahren

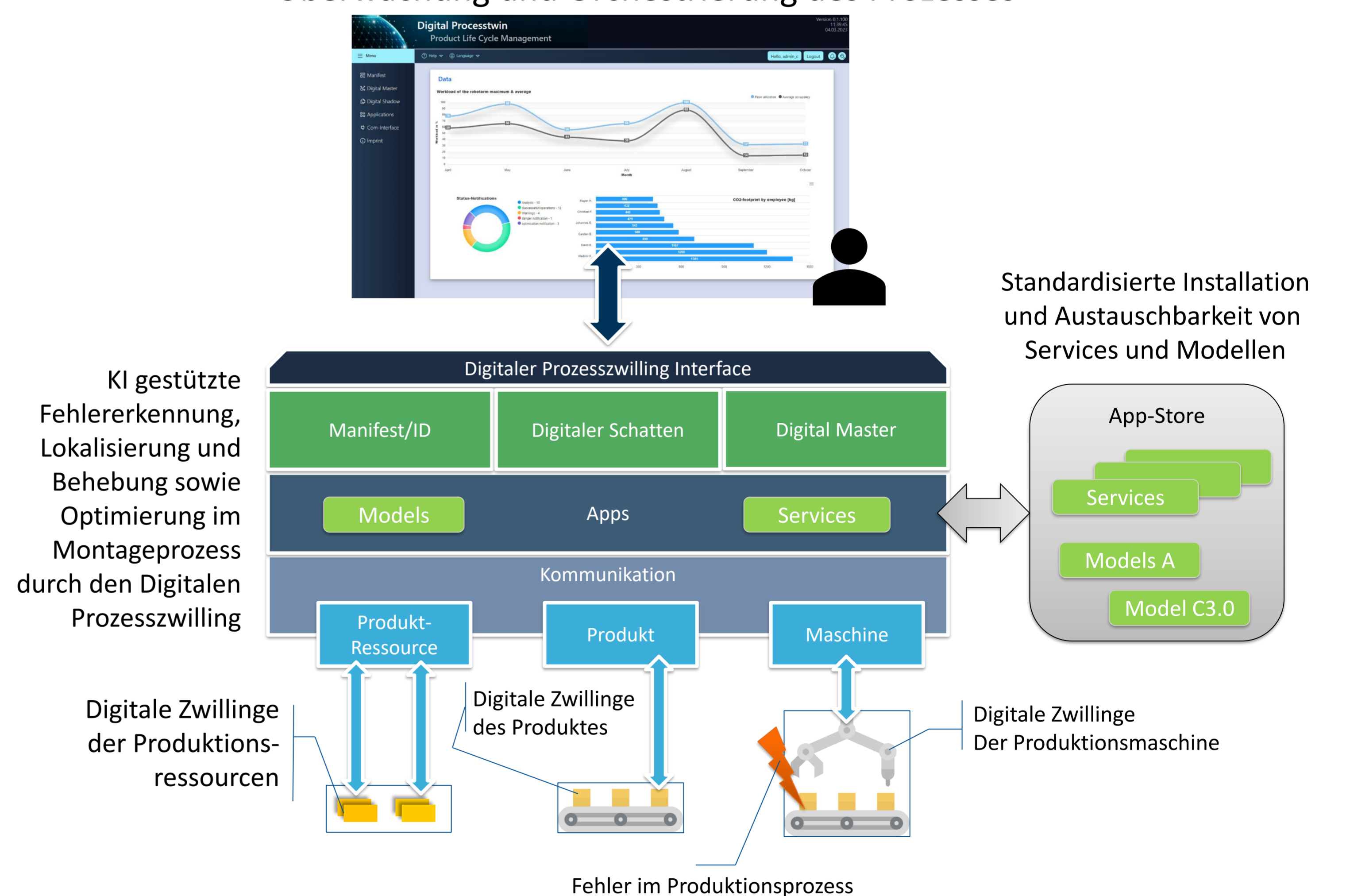
Probabilistischer Teleoperationsansatz



- Nutzung der **kognitiven Fähigkeiten** des Menschen
- **Virtual Fixtures** (virtuelle Kraftfelder) führen und unterstützen bei der exakten Positionierung
- Verschiedene **Modalitäten** (Positions- und Kameradaten) helfen in unterschiedlichen **Manipulationsphasen** [2]
- Probabilistische Fixtures nutzen **Messunsicherheiten** [3] und gewichten zwischen Fixtures + Operator [4]

FDIR im Digitalen Prozesszwilling

Überwachung und Orchestrierung des Prozesses



Zusammenfassung und Ausblick

- Fehlertolerante Ansätze bei AIT, Teleoperation sowie den Digitalen Prozesszwilling für die *In-Orbit Factory*
- Vielversprechende Konzepte und erste Ergebnisse bei Teilproblemen, weitere Forschungsfragen zur **tiefgreifenden Integration**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- [1] F. Kempf, M. Mühlbauer, T. Dasbach, F. Leutert, T. Hulin, R. Balachandran, M. Wende, R. Anderl, K. Schilling, A. Albu-Schäffer, „AI-In-Orbit-Factory – AI approaches for adaptive robotic in-orbit manufacturing of modular satellites“, in Proceedings of the International Astronautical Congress (IAC), 2021.
- [2] M. Mühlbauer, F. Steinmetz, F. Stulp, T. Hulin, and A. Albu-Schäffer, “Multi-phase multi-modal haptic teleoperation,” in 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2022.
- [3] M. Mühlbauer, F. Stulp, A. Albu-Schäffer and J. Silvério, “Mixture of experts on Riemannian manifolds for visual-servoing fixtures.” 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop on Probabilistic Robotics in the Age of Deep Learning, 2022.
- [4] M. Mühlbauer, T. Hulin, S. Calinon, F. Stulp, A. Albu-Schäffer and J. Silvério, “Multi-Modal Probabilistic Virtual Fixtures on Riemannian Manifolds,” submitted to 2023 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). (under review)