Vom IIoT-System zum digitalen Zwilling

Whitepaper

Dr.-Ing. Michel Fett

Dr.-Ing. Richard Breimann

11.11.2026

V1.0

F&B-Engineering GmbH

Schepp Allee 7

64295 Darmstadt

1 Einleitung

Maschinen und Anlagen im produzierenden Gewerbe sind zunehmend vernetzt. In IoT-Systemen (im industriellen Kontext auch IIoT-Systeme) werden Betriebsdaten erfasst und ausgetauscht, sowie Steuerdaten zentral verwaltet und überwacht [1]. Damit können Datenflüsse automatisiert, Prozesse überwacht und Abläufe geplant werden. Allerdings stecken in den Daten noch weitere Informationen und Potentiale auf Maschinenlevel, die meist ungenutzt bleiben. Eine maschinenspezifische Auswertung der Daten eröffnet weitere Anwendungsfälle wie etwa Zustands-überwachung oder Qualitätssicherung.

Dadurch können beispielsweise ungeplante Maschinenstillstände reduziert, Wartungs-intervalle optimiert und Produktions-prozesse effizienter gestaltet werden. Besonders interessant ist dabei, dass viele dieser Potentiale bereits mit vorhandenen Maschinendaten erschlossen werden können.

Die Herausforderung besteht dabei häufig weniger in der Verfügbarkeit der Daten als vielmehr in ihrer zielgerichteten Auswertung. Während klassische IIoT-Systeme vor allem die Erfassung, Übertragung und Bereitstellung von Daten ermöglichen, fehlt oftmals die Verknüpfung mit dem zugrunde liegenden technischen System und seinen physikalischen Zusammenhängen. Genau hier setzen digitale Zwillinge an: Sie kombinieren vorhandene Betriebsdaten mit maschinenspezifischen Modellen und ermöglichen dadurch zusätzliche Erkenntnisse über den Zustand und das Verhalten technischer Systeme.

2 Aus IIoT-Daten zusätzlichen Mehrwert schaffen

Die Entstehung und Verarbeitung von Daten und Informationen in IIoT-Systemen lässt sich sehr gut anhand der weitläufig bekannten Automatisierungspyramide veranschaulichen. Auf der Feldebene erfassen Sensoren Betriebsgrößen, Zustände und Veränderungen des technischen Systems oder Prozesses, die dann von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) auf der Steuerungsebene für die Steuerung und Regelung der Maschinen genutzt werden. Auf der Prozessleitebene dienen SCADA-Systeme (Supervisory Control and Data Acquisition) der Visualisierung und Überwachung der Prozessdaten. Auf der Betriebsleitebene werden die Daten zur Planung, Überwachung und Optimierung der Produktion durch Manufacturing Execution Systems (MES) genutzt. Auf der obersten Unternehmensebene ergänzen Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme dies durch betriebswirtschaftliche Planung und Steuerung. [2, 3]

Auf jeder dieser Ebenen werden Daten verarbeitet und zur Steuerung und Planung verwendet. Dabei bieten die Daten noch weitaus mehr Potentiale auf Maschinenebene, die meist ungenutzt bleiben: So stecken in den Daten wertvolle Informationen zum Betrieb, Verhalten, Verschleiß, Zustand oder Qualitäts-einflüssen, die nur aus den ohnehin vorhandenen Daten herausgelesen werden müssen. Zu diesem Zweck sind digitale Zwillinge ein geeignetes Werkzeug, das in den vergangenen Jahren zunehmend an praktischer Bedeutung gewonnen hat.

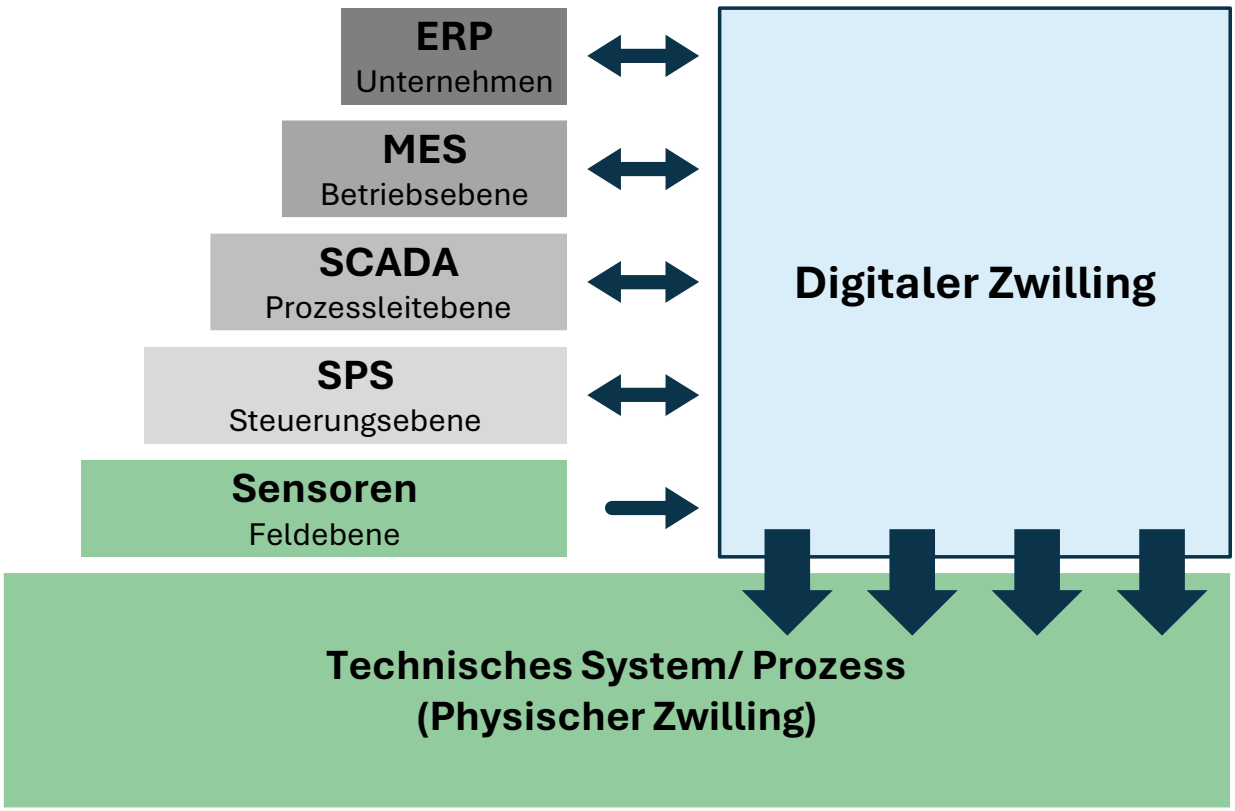


Abbildung 1 - Der digitale Zwilling im IIoT-System

Gemäß ISO/IEC 30173 [4] handelt es sich bei digitalen Zwillingen um digitale Abbilder eines Systems, bei dem eine Synchronisierung und Verarbeitung der Betriebsdaten stattfindet. Während IIoT-Systeme die Erfassung, Vernetzung und Bereitstellung industrieller Daten ermöglichen, können digitale Zwillinge diese Daten mithilfe maschinenspezifischer Modelle interpretieren und daraus zusätzliche Erkenntnisse über das Verhalten technischer Systeme ableiten [5]. Die dafür notwendigen Daten können dabei aus den verschiedenen Ebenen der Automatisierungspyramide stammen. Mithilfe des digitalen Zwillings können Anpassungen an den Betriebsparametern oder Wartungszyklen vorgenommen werden, oder Maßnahmen der Qualitätssicherung umgesetzt werden. Dabei handelt es sich um konkrete Auswirkungen auf das technische System bzw. den technischen Prozess, siehe Abbildung 1.

Der digitale Zwilling verknüpft Sensordaten, die das aktuelle Maschinenverhalten beschreiben, mit Informationen darüber, was die Maschine zum Beispiel in diesem Moment macht oder wann sie das letzte Mal gewartet wurde. Diese Kombination und Verknüpfung verschiedener Datenquellen im digitalen Zwilling erlaubt fundierte Analysen und belastbare Aussagen über das technische System.

Steigende Schwingungen an einem Industriegetriebe können beispielsweise auf Verschleiß hindeuten, aber auch durch eine höhere Belastung verursacht werden. Ein digitaler Zwilling kann die Schwingungsdaten mit Drehzahl, Drehmoment und einem geeigneten Zustandsmodell verknüpfen, um den tatsächlichen Maschinenzustand besser einzuschätzen. Auf dieser Grundlage kann beispielsweise der aktuelle Verschleiß abgeschätzt, Produktions- und Wartungspläne angepasst und das Ersatzteilmanagement unterstützt werden. Nicht nur kann damit unerwarteter Ausfall und Stillstandzeiten reduziert werden, durch die besseren Einblicke können auch Wartungsintervalle bedarfsgerechter festgelegt und Material besser ausgenutzt werden. Darüber hinaus können Einflüsse auf die Produktionsqualität überwacht werden.

Voraussetzung für diese Analysen ist allerdings, dass die vorhandenen Messdaten ausreichend Informationen über die relevanten Maschinenzustände enthalten. Ob dies der Fall ist oder zusätzliche Sensorik benötigt wird, hängt vom jeweiligen Anwendungsfall und den physikalischen Zusammenhängen des technischen Systems ab.

3 Auf die richtigen Sensordaten kommt es an

Mithilfe der bestehenden Daten von bereits integrierten Sensoren oder den anderen Ebenen von IIoT-Systemen lassen sich mithilfe digitaler Zwillinge zahlreiche Anwendungsfälle mit vergleichsweise geringem Aufwand realisieren. Je nach gewünschter Funktionalität ist es allerdings nicht immer garantiert, dass die gewünschten Informationen auch in den bereits vorhandenen Daten zu finden ist. Während die Daten bereits verbauter Sensoren gut dafür geeignet sind, um den Betrieb der Maschine zu beschreiben, stehen sie beispielsweise meist nur indirekt mit dem tatsächlichen Maschinenzustand in Zusammenhang.

So lassen sich beispielsweise bei einem Industriegetriebe anhand vorhandener Drehzahl- und Drehmomentdaten grundlegende Betriebszustände und Belastungen erkennen. Um darüber hinaus spezifische Verschleißerscheinungen oder

beginnende Lagerschäden zuverlässig zu detektieren, kann die Integration zusätzlicher Schwingungs- oder Temperatursensoren erforderlich sein.

Sensordaten stellen die Basis von IIoT-Systemen und der gesamten Automatisierungspyramide dar, siehe Abbildung 2. Um digitale Zwillinge und die damit umgesetzten Anwendungsfälle robuster, zuverlässiger und effizienter zu machen, kann es daher zielführend sein, zusätzliche Sensoren in die Maschine zu integrieren. Um für den jeweiligen Anwendungsfall die richtigen Sensoren zu integrieren, ist es wichtig, das technische System und seine Prozesse richtig zu verstehen. Aus diesem Grund zeigt Abbildung 2 noch unter der Feldebene die Prozessebene, auf der sich das technische System bzw. der Prozess befindet. Nur mit einem ausreichenden System- und Prozessverständnis kann zuverlässig entschieden werden, welche Messgröße an welchem Messort sinnvoll zu erfassen ist und welche Sensorparameter relevant sind. Dabei sind vor allem Aspekte wie Auflösung, Messbereich, Abtastfrequenz und Robustheit der Sensoren wichtig, je nach System und Anwendungsfall gibt es aber zahlreiche weitere Sensorparameter, die zu berücksichtigen sind. So kann ein robuster digitaler Zwilling entwickelt werden, welcher die richtigen Messdaten bekommt und damit zuverlässige und effiziente Vorhersagen und Rückschlüsse ermöglicht [6, 7].

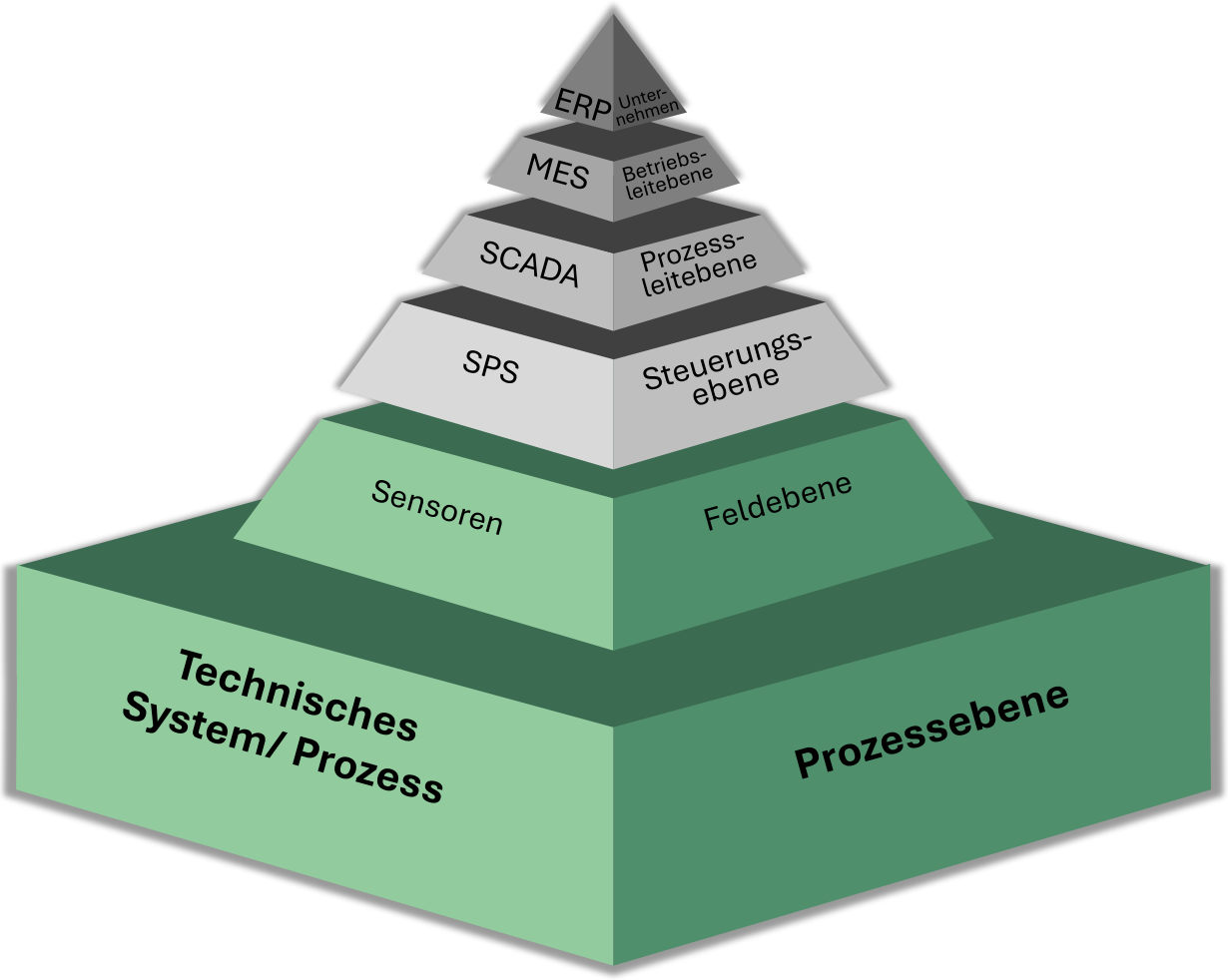


Abbildung 2 - Systemverständnis als Fundament der Datenverarbeitung

4 Fazit

Digitale Zwillinge können bestehende IIoT-Systeme um maschinenspezifische Analysen ergänzen und damit zusätzliche Potentiale in Produktion und Instandhaltung erschließen. Häufig liegen hierfür bereits relevante Daten in den Unternehmen vor. Entscheidend ist, diese mit geeigneten Modellen zu verknüpfen und zielgerichtet auszuwerten. Auf diese Weise kann ein digitaler Zwilling mit vergleichsweise geringem Aufwand zusätzlichen Mehrwert aus bereits bestehenden IIoT-Daten schaffen.

Um die Funktionalität oder Effizienz des digitalen Zwillings weiter zu steigern, kann es zielführend sein, darüber hinaus zusätzliche Sensoren in das System einzubringen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Sensoren genau die Betriebsdaten erfassen, die die relevanten Informationen für den jeweiligen Anwendungsfall enthalten. Aus diesem Grund ist im Entwicklungsprojekt eines digitalen Zwillings wesentlich, neben IIoT- und IT-Kompetenzen auch technisches Know-How, Systemverständnis und Expertise im Bereich der Messtechnik einzubringen.

Die **F&B-Engineering GmbH** unterstützt Industrieunternehmen bei der Konzeptionierung und Implementierung digitaler Zwillinge. Unser Schwerpunkt liegt auf der Analyse technischer Systeme, der Auswahl und Integration geeigneter Sensorik sowie der Entwicklung maschinen-spezifischer Modelle. Dabei nutzen wir vorhandene Daten und Infrastrukturen, um durch digitale Zwillinge und künstliche Intelligenz auch das Potential bestehender Maschinen und Anlagen voll auszuschöpfen.

Jetzt Termin vereinbaren: https://www.fb-engineer.ing/

Referenzen

1. ISO/IEC 30141 (2024) Internet of Things (IoT) — Reference architecture
2. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2019) Industrie 4.0: Technologieentwicklung und sicherheitstechnische Bewertung von Anwendungsszenarien
3. DIN EN 62264 (2014) Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen
4. ISO/IEC 30173 (2023) Digital Twin – Concepts and Terminology
5. Wilking F, Hemmeter Y, Goetz S, et al (2026) Architecture-to-Simulation –System Model Based Design and Operation of Digital Twins by Reusing SysML for Finite Element Analysis. Procedia CIRP 142:552–557. https://doi.org/10.1016/j.procir.2026.05.307
6. Fett M, Wilking F, Goetz S, et al (2023) Sensor selection and integration for Cyber-Physical Systems in context of Digital Twins – A systematic review of requirements. In: 2023 18th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSe). IEEE, Lille, France, pp 1–7. https://doi.org/10.1109/SoSE59841.2023.10178669
7. Fett M, Turner E, Breimann R, Kirchner E (2023) Extension of the system boundary of the Digital Twin onto the sensors of the Physical Twin through the introduction of redundant soft sensors. Forsch Ingenieurwes 87:479–488. https://doi.org/10.1007/s10010-023-00653-y