

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Der Digitale Zwilling

Das unbekannte Wesen

Fachhochschule Nordwestschweiz
Institut für Business Engineering IBE
Prof. Markus C. Krack
markus.krack@fhnw.ch

www.fhnw.ch/ht

1

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Der Traum vom künstlichen Zwilling




«Frankenstein oder Der moderne Prometheus» aus dem Jahr 1818

Faszination des erstellen / erschaffen und spielen mit einem künstlichen Zwilling ist nicht neu!

Quelle: <https://www.tagesspiegel.de/gesellschaft/medien/200-jahre-frankenstein-das-unsterbliche-monster/23248592.html> 03.2022
Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Frankenstein_\(Roman\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Frankenstein_(Roman)) 03-2022

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 2

2

M

1

Der Digitale Zwilling

Ein digitaler Zwilling für alles und jeden?

Das Metaverse ist einer der wichtigsten Trends an der diesjährigen Elektronikmesse CES in Las Vegas

Der Digitale Zwilling – Kern der Fabrik der Zukunft

https://www.topsof.ch

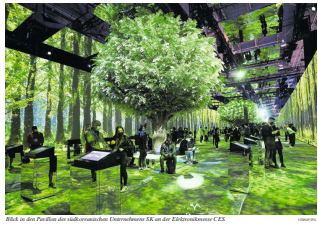
Anwendungsfall im Maschinenbau und in der Produzierenden Industrie

Digitaler Zwilling

Live-Abbild des gesamten Produktionsprozesses ermöglicht Reaktionen auf Abweichungen in Echtzeit

https://iotbuildingblocks.io/

VOM FORTSCHRITT
Es gibt die eine große Masse an Be-
griffen der Produktion, von denen viele
den realen Gegenstand abbilden, die
in der Fabrik leben. Das Metaverse
ist ein digitaler Zwilling der Fabrik.
Las Vegas vom Freitag bis in Folge
eröffnet werden, eine Woche nach der
Rückkehr. In seiner Messe
wird die digitale Fabrik der Zukunft
als Thema der diesjährigen CES
behandelt. Die Digitaler Zwilling
ist ein digitaler Abbild der Fabrik
als Gesamtheit aller physischen
Komponenten und Prozesse. Er
ermöglicht es, den gesamten
Produktionsprozess in der
virtuellen Welt zu simulieren und
den realen Prozess zu optimieren.
Die Digitaler Zwilling ist ein
virtueller Abbild der Fabrik, der
den realen Prozess in der
virtuellen Welt abbildet. Er
ermöglicht es, den gesamten
Produktionsprozess in der
virtuellen Welt zu simulieren und
den realen Prozess zu optimieren.



Die CES zeigt die neuesten
Produkte der Welt. In der
virtuellen Welt wird der
gesamte Produktionsprozess
simuliert. Die Digitaler
Zwilling ist ein virtueller
Abbild der Fabrik, der den
realen Prozess in der
virtuellen Welt abbildet. Er
ermöglicht es, den gesamten
Produktionsprozess in der
virtuellen Welt zu simulieren
und den realen Prozess zu
optimieren.

NZZ 07. Januar 2022

3

Wie ist ein Digitaler Zwilling definiert?

In Zukunft existiert jedes Produkt, jede Maschine und jede Produktionsstätte doppelt: Neben dem physischen Objekt steht dessen virtuelles Abbild, das viel **mehr ist als nur eine digitale Kopie**. Physisches Objekt und virtuelles Abbild sind **miteinander vernetzt** und **exakt synchronisiert**, sodass sie sich **bidirektional beeinflussen** können. Das physische Objekt lässt sich ebenso aus dem Digitalen Zwilling steuern, wie sich aus dem virtuellen Modell der Zustand des physischen Objektes ablesen lässt. (Frauenhofer IPK, 2021)

Muss-Bedingung!

Der digitale Zwilling stellt eine Kopplung zwischen realen Systemen und deren virtuellen Repräsentanz dar. Diese kommunizieren in Echtzeit miteinander.

Keine Bedingung!

Der digitale Zwilling muss **nicht alle** Eigenschaften des realen Systems besitzen! Es benötigt nur die Eigenschaften, um seinen Zweck zu erfüllen.

4

M

2

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Wie ist ein Digitaler Zwilling definiert?

Bedingungen:

- vernetzt
- in Echtzeit synchronisiert
- bidirektionale Beeinflussung

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 5

5

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Was ist kein Digitaler Zwilling?

[Zur Onlineversion!](#)

Newsletter 2/2021

Der digitale Zwilling

Der digitale Zwilling ist das wirklichkeitsgetreue Abbild einer Maschine auf dem Programmierplatz. Damit können Sie die tatsächlichen Kinematiken, Parameter und Funktionen Ihrer Maschine in der Werkstatt bei der Konstruktion und Programmerstellung im Büro nutzen. Und haben die Sicherheit, dass am CAM-System oder Programmierplatz erstellte Programme einwandfrei laufen.

...und was ist er nicht!

Der digitale Zwilling

Der digitale Zwilling ist das wirklichkeitsgetreue Abbild einer Maschine auf dem Programmierplatz. Damit können Sie die tatsächlichen Kinematiken, Parameter und Funktionen Ihrer Maschine in der Werkstatt bei der Konstruktion und Programmerstellung im Büro nutzen. Und haben die Sicherheit, dass am CAM-System oder Programmierplatz erstellte Programme einwandfrei laufen.

→ Digital Mock Up!

Realistisch simulieren, prozesssicher fertigen

Mit dem digitalen Zwilling erfolgt die virtuelle Bearbeitung am Programmierplatz im Büro wie auf der realen Maschine in der Werkstatt. Das reduziert die Einricht- und Testzeiten, gleichzeitig steigen Prozesssicherheit und Produktivität. Denn ein Programmierplatz mit Digitaler Zwilling kann schon im Vorfeld für die reale Bearbeitung:

- Verfahrswege kontrollieren und optimieren
- Programmunterbrechungen verhindern
- Kollisionen vermeiden
- Arbeitsraum der Maschine voll ausnutzen
- Komplexe 5-Achsbewegungen prüfen
- Spannpolposition kontrollieren und optimieren

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 6

6

M

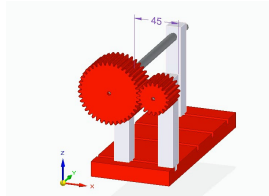
3

Was ist kein Digitaler Zwilling?

Digital

Mock

Up



Definition Produkt-DMU

Unter einem Produkt-DMU wird eine **rechnergestützte Methode** verstanden, bei der ein reales Produkt in einem digitalen Modell wiedergegeben wird. Das Modell setzt sich aus produkttechnischen und geometrischen Informationen zusammen, die in Form von Einzelteilen oder Produktgruppen vorliegen können (Kerber, 2016)

Ein DMU beschränkt sich in der Regel nicht nur auf die geometrische Darstellung / Information (3D-CAD Daten). Ein DMU besitzt in der Regel auch technologische und funktionale Informationen des Produkts, das er repräsentiert. Er erfüllt aber nicht das Kriterium der Koppelung zwischen dem realen System und der virtuellen Repräsentanz, die der DMU aber darstellt.

7

Arten von Digitalen Zwillingen

Produktzwilling

Abbildung eines Produktes

Verbesserung der Produkteigenschaften.

Produktionszwilling

Abbildung eines Produktionssystems (Manufacturing System)

Unterstützung, Überwachung und Optimierung von einzelnen Produktionsanlagen und Prozesse.

Performancezwilling

Abbildung eines Werkes (Leistungs- oder Ausführungszwilling)

Performance-Zwilling

Mit Ihm können Produktionskennzahlen und Daten, wie Durchlaufzeiten, Lieferzeiten, Qualitätsmerkmale etc. abgebildet und verbessert werden

→ Die Definitionen sind (im Moment) noch nicht wissenschaftlich belegt dürfte von der Fa. Siemens entstammen

8

M

4

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Arten von Digitalen Zwillingen

Weitere Arten / Bezeichnungen

Quelle: <https://www.ibm.com/de-de/topics/what-is-a-digital-twin> 11-2023

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 9

9

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Arten von Digitalen Zwillingen

Sonderform des DT – Asset Administration Shell AAS (Verwaltungsschale)

Virtuelle digitale und aktive Repräsentanz einer Industrie 4.0-Komponente im Industrie 4.0-System. Alle relevanten Daten einer Hard- oder Softwarekomponente ergeben ihr virtuelles Abbild, das in der Verwaltungsschale gespeichert ist.

- Bearbeitungcenter
- Aufspanvorrichtung
- Fräswerkzeug
- Rundtisch (zus. Rundachse)

→ Weiterführende Informationen: IDTA International Digital Twin Association <https://industrialdigitaltwin.org>

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 10

10

M

5

Geschichte des Digitalen Zwillings

Von der Kybernetik zum Cyber Physischen System CPS

Kriegsbeginn des 2. Weltkriegs

- Die deutsche Luftwaffe erzeugt Druck auf die Alliierten → Ruf nach effektiver Flugabwehr
- Problem: Die Bestimmung des Ziels zu einem Zeitpunkt x ist nicht ausreichend für Prädiktion einer zukünftigen Position
- zur Vorhersage der Zukunft somit "Operation auf die Vergangenheit" nötig
- Norbert Wiener erzeugt einen Regelkreis aus Signalen zwischen Flugzeug und Flugabwehr

➔ Grundlage für den Digitalen Zwilling

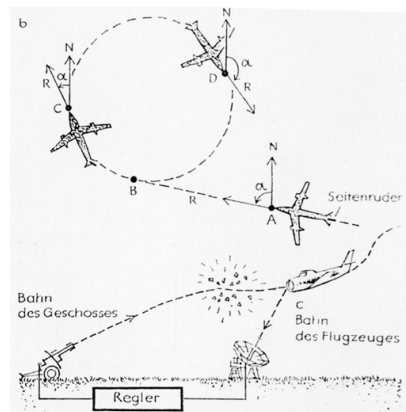
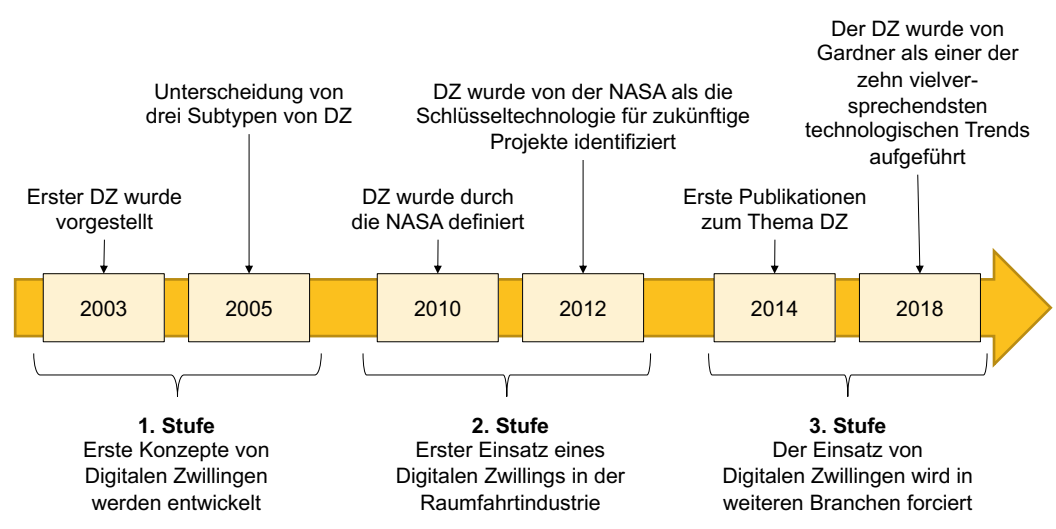


Abb. 14
 Elementare Formen zielstrebiges Verhaltens von Regelkreisstrukturen
 a) Temperaturregler (Thermostat) als Beispiel einer Festwertregelung
 b) Autopilot bei Kreisflug als Beispiel einer Programmregelung
 c) automatisches Luftabwehrsystem als Beispiel einer Nachlaufregelung
 Quelle: <http://www.medienkultur.org/sm3/medienkultur/kybernetik/>

11

Geschichte des Digitalen Zwillings



12

M

6

Wie funktioniert ein Digitaler Zwilling?

Wissenschaftliche Grundlagen des Digitalen Zwillings

Kybernetik

Theorie der Kommunikation und der Steuerungs- und Regelungsvorgänge bei Maschinen und lebenden Organismen. [Norbert Wiener 1963].

Cybernetics (engl.) → **Cyber** Beide Worte sind Metabegriffe und können keiner eindeutigen Anwendung zugeordnet werden.

Systemtheorie

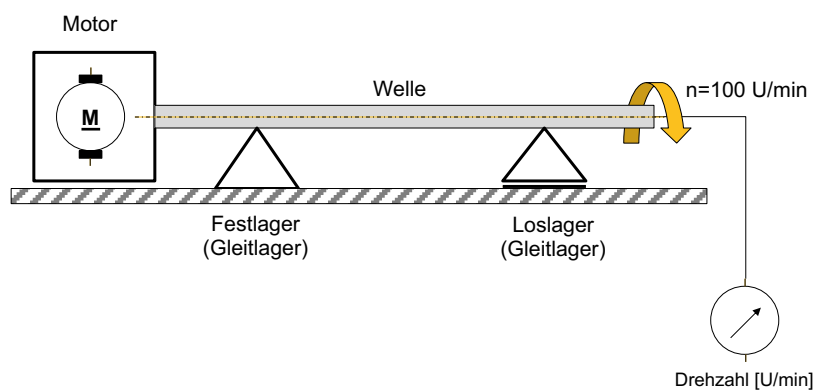
Formale Theorie der Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems, des Zusammenhangs zwischen Struktur und Funktionsweise von gekoppelten Systemen als Teilgebiet der Kybernetik [Oxford Languages 2023]

Mess- und Regelungstechnik

Überwachung und Steuerung technischer Vorgänge durch Regelung nach Messwerten [Oxford Languages 2023]

13

Wie funktioniert ein Digitaler Zwilling?



14

M

7

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Wie funktioniert ein Digitaler Zwilling?

Aufbau eines Regelkreises

$n = \text{Drehzahl [U/min]}$
 $U = \text{Spannung [V]}$

Der Regler strebt $n_{\text{Ist}} = n_{\text{Soll}}$ an

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 15

15

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Wie funktioniert ein Digitaler Zwilling?

Aufbau eines Wirkungsnetz

Versorgungsspannung [V] (+) → Drehzahl des Motors (+) → Drehzahl der Welle (+)

Schmierung des Lagers (+) → Gleitwiderstand der Lager (-) → Drehzahl der Welle (-)

Umgebungstemperatur [°C] (-) → Lagertemperatur [°C] (-) → Gleitwiderstand der Lager (+) → Drehzahl der Welle (-)

Verschmutzung des Lagers (-) → Gleitwiderstand der Lager (+) → Drehzahl der Welle (-)

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 16

16

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Wie funktioniert ein Digitaler Zwilling?

Aufbau eines Cyber Physischen Systems CPS

The diagram shows a motor (M) connected to a shaft supported by two bearings. A torque is applied to the shaft. Below the shaft, three gauges measure 'Leistung [A]', 'Lagertemperaturen [°C]', and 'Drehzahl [U/min]'. To the right, a graph plots three parameters over time: 'Lagertemperatur 1' (red line, increasing), 'Lagertemperatur 2' (blue line, constant), and 'Leistung' (purple line, increasing). The x-axis is labeled '[Zeit]'.

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 17

17

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Wie funktioniert ein Digitaler Zwilling?

Nutzen des Digitalen Zwillings

The graph plots 'Status / Zustand' on the y-axis and 'Zeit' on the x-axis. A solid blue curve shows the 'aktueller Zustand' (actual state) which decreases over time. A dotted blue curve shows the 'Remaining Useful Time RUL (verbleibende Einsatzzeit)' (predicted state). Two red starburst symbols mark 'Versagen des Bauteils' (component failure). Horizontal arrows indicate 'Verbleibende Einsatzzeit' (remaining service time) and 'Verlängerte Einsatzzeit' (extended service time) due to the digital twin's prediction.

K. Bachmann; M. Krack 2023

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 18

18

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Wie funktioniert ein Digitaler Zwilling?

Nutzen des Digitalen Zwillings

K.Bachmann; M. Krack 2023

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 19

19

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Aufbau eines Digitalen Zwillings

Referenzarchitekturen und Modell

	Rami 4.0	Graves	Lu	5 Dimensionen Tao	5 Lagen nach Lee	Sechslagen Architektur	Norm
Physisches Objekt	Gegenstandsseite • Geometrisches Objekt • Geräte zur Datenerhebung • Daten Aufbereitung zur Übermittlung	Physisches Produkt	Physisches Objekt	Physischer Raum	Intelligente Verbindungsebene	Physisches Gerät • Lokale Steuerung • Lokaler Datenspeicher	Zu beobachtendes Produkt/Modell
Verbindung	Kommunikationsseite • Übermittlung der Daten ins virtuelle	Datenverbindung	Kommunikation	Verbindungen	Netzwerke • Konfigurationsebene	Verbindung und Überwindung	Datensammlung und Kontrolle
Daten	Datenseite • Geometrie • Daten aus der Anlage • Erfahrungswerte	Digitale Zwillings • Informationsmodell • Datenverbindung	Datenraum	Datenraum	Cloud Speicher	Cloud Speicher	Digitales Modell • Identifizierung • Anwesenheit • Aktualisierung • Datenraum
Vertarbeitung / Berechnungen	Funktionsseite • Datenaufbereitung • Simulation	Virtuelles Produkt	Service Raum	Service Raum	Datenumwandlungsebene • Wahrnehmungsebene	Berechnung und Simulation	Verbindungsseite
Horizontale Integration	Geschäftsseite • Beziehung zu weiteren Anlagen • Beziehung zu Kunden						Nutzungsmaß
Nutzerinteraktion							

S. Burri, M. Krack 2021

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 20

20

M

0

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Aufbau eines Digitalen Zwillings

Grundlagen Modelle

The basic model consists of several layers:

- User Entity:** Human, Devices/IoT, MES, ERP and other Apps, Peer Digital Twin.
- Core Entity:** Operation and Management Sub-Entity, Application and Service Sub-Entity, Resource Access and Interchange Sub-Entity.
- Data Collection and Device Control Entity:** Data Collection Sub-Entity, Device Control Sub-Entity.
- Observable Manufacturing Elements:** (e.g., personnel, equipment, material).

Abgeleitetes Modell

The derived model is a detailed flowchart:

- Nutzerinteraktion:** Kunden (Bereitstellung der Verwaltungschale, Empfangen der Produktaufzugsdaten) and Firmeninterner Entscheidungsträger (Entscheidungssatzfrage, Darstellung der aufbereiteten Daten).
- Zentraleinheit:** Speichereinheit (Verwaltungschale für Kunden, Algorithmen Datenbank) and Verarbeitungseinheit (Anwendungs- und Diensteneinheit, Ressourcenmanagement, Betriebsmanagement).
- Datensammlungs- und Steuerungseinheit:** Datenbank (Designdaten, Prozessdaten, Fertigungsdaten, Servicecadaten) and Datenverarbeitung (Datenverwaltung, Datenverarbeitung, Gerätesteuerung, Datensammlung).
- Physisches Objekt:** Existing or in planning, Ability for data collection, Influenced by digital twin.

- Geschäftsmodell
- Vertikale Integration

Layers: Business, Functional, Information, Communication, Integration, Asset.

Life Cycle Value Stream: IEC 62264, IEC 61512.

Hierarchy Levels: Enterprise, Work Center, Control Device, Tool Device.

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 21

21

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Aufbau eines Digitalen Zwillings

Nutzerinteraktion
Differenzierung zwischen Firmeninternen und Firmen externen Nutzer
Firmenexterne Nutzer könne auch weiter digitale Zwillinge sein

Zentraleinheit
Verarbeiten und Nutzen der Daten
Speichern und verwalten der aufbereiteten Daten

Datensammlungs- und Steuerungseinheit
Interaktion zwischen Zwilling und Objekt
Herstellung der Datenbasis

Physisches Objekt
Bezugssystem des digitalen Zwillings
Stellt die Datenbasis bereit

Quelle: S. Burri, M. Krack 2021

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack www.fhnw.ch/ht 22

22

M

1

Gerne unterstützen wir Sie und Ihr Unternehmen in allen Fragen rund um den Digitalen Zwilling!

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik
Institut für Business Engineering
Prof. Markus C. Krack
Bahnhofstrasse 6
CH 5210 Windisch
+41 56 202 78 79
markus.krack@fhnw.ch