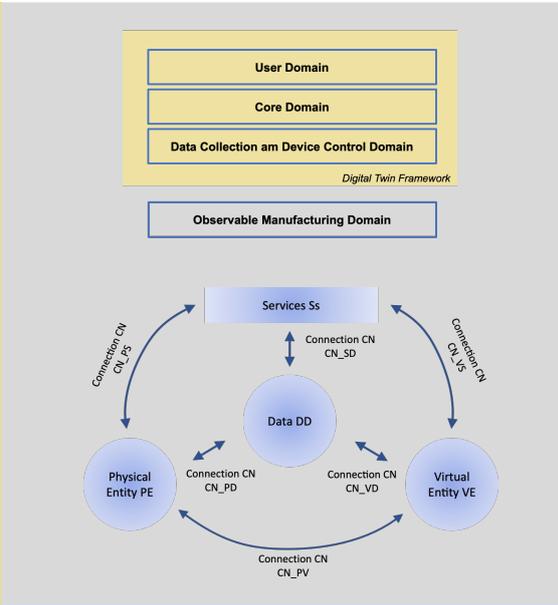


**n|w** Fachhochschule Nordwestschweiz  
Hochschule für Technik

# 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

# 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  
denzeitigen Daten in der Fabrik zu  
den Daten des Metaverses. Das  
Metaverse ist ein digitaler Raum, in dem  
die physische Welt durch digitale  
Repräsentationen abgebildet wird.  
In der Fabrik sind dies die Maschinen,  
die Anlagen und die Prozesse. In der  
virtuellen Welt sind dies die digitalen  
Zwillinge dieser physischen Objekte.  
Die digitalen Zwillinge sind in der  
Fabrik mit den physischen Objekten  
verbunden und können in Echtzeit  
Daten austauschen. Dies ermöglicht  
es, die Produktion zu optimieren,  
Probleme zu erkennen und zu lösen,  
und die Produktion zu simulieren.  
Die digitalen Zwillinge sind ein  
wichtiges Element der Industrie 4.0  
und des Metaverses.



Die CES zeigt die neuesten Produkte  
der Elektronikindustrie. In der  
virtuellen Welt sind dies die digitalen  
Zwillinge dieser physischen Objekte.  
Die digitalen Zwillinge sind in der  
Fabrik mit den physischen Objekten  
verbunden und können in Echtzeit  
Daten austauschen. Dies ermöglicht  
es, die Produktion zu optimieren,  
Probleme zu erkennen und zu lösen,  
und die Produktion zu simulieren.  
Die digitalen Zwillinge sind ein  
wichtiges Element der Industrie 4.0  
und des Metaverses.

Die CES zeigt die neuesten Produkte  
der Elektronikindustrie. In der  
virtuellen Welt sind dies die digitalen  
Zwillinge dieser physischen Objekte.  
Die digitalen Zwillinge sind in der  
Fabrik mit den physischen Objekten  
verbunden und können in Echtzeit  
Daten austauschen. Dies ermöglicht  
es, die Produktion zu optimieren,  
Probleme zu erkennen und zu lösen,  
und die Produktion zu simulieren.  
Die digitalen Zwillinge sind ein  
wichtiges Element der Industrie 4.0  
und des Metaverses.

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](http://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
- Spannpolition kontrollieren und optimieren

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack [www.fhnw.ch/ht](http://www.fhnw.ch/ht) 6

6

M

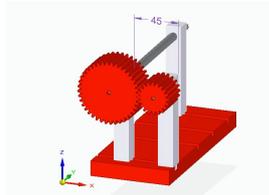
3

## 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

The diagram consists of four light blue ovals arranged in a diamond pattern. Each oval contains text describing a type of digital twin: 'Komponenten-Zwilling' (top-left), 'Asset-Zwilling' (top), 'Prozess-Zwilling' (right), and 'System- oder Unit-Zwilling' (bottom).

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](http://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)

The diagram shows a blue rectangle labeled 'Verwaltungsschale' (Administration Shell) containing a yellow rectangle labeled 'Gegenstand' (Object). A bracket on the left groups them as 'Industrie 4.0 Komponente'. A text box to the right explains the AAS as a virtual digital and active representation of an Industry 4.0 component, storing all relevant data. A list of examples is provided below.

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 Internation Digital Twin Association <https://industrialdigitaltwin.org>

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack [www.fhnw.ch/ht](http://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

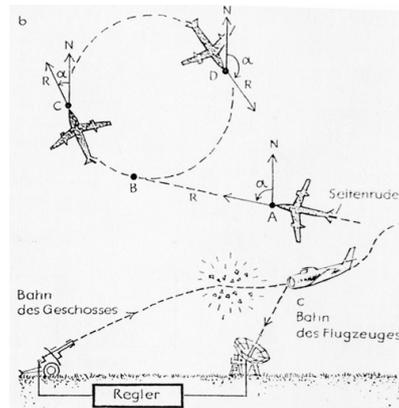
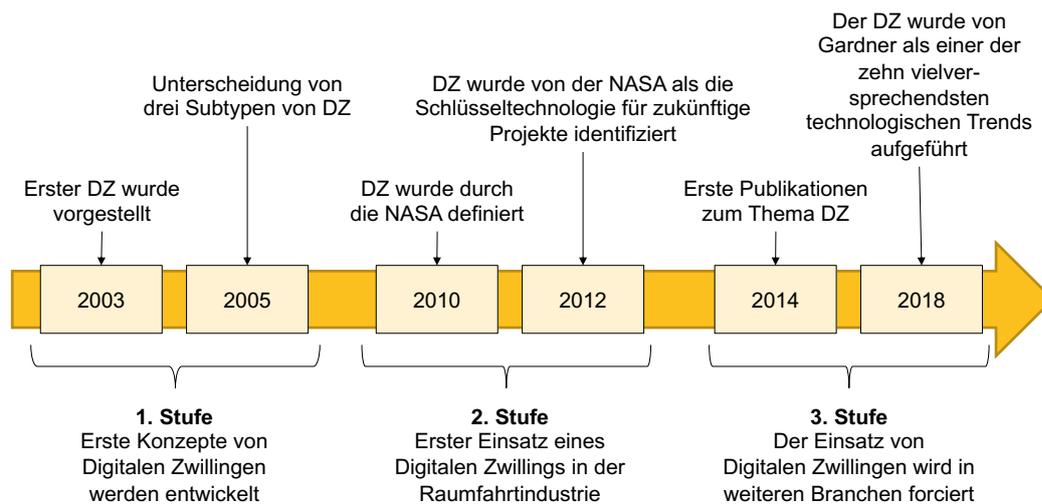


Abb. 14  
Elementare Formen zielstrebiges Verhalten von Regelkreisstrukturen  
a) Temperaturregler (Thermostat) als Beispiel einer Festwertregelung  
b) Autopilot bei Kreisflug als Beispiel einer Programmregelung  
c) automatisches Luftabwehrsystem als Beispiel einer Nachlaufregelung  
Quelle: <http://www.medienkultur.org/sm3/medienkultur/kybernetik/>

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

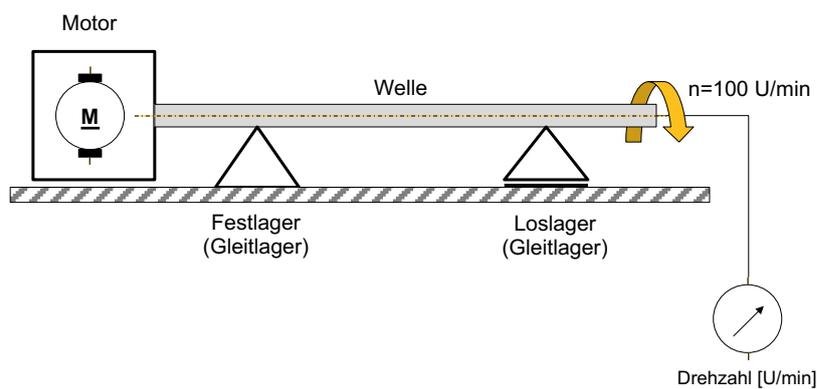
Formale Theorie der Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems, des Zusammenhangs zwischen Struktur und Funktionsweise von gekoppelten Systemen als Teilgebiet der Kybernetik [Oxford Languages 2023]

#### 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  $n_{Ist} = n_{Soll}$  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 (-) Verschmutzung des Lagers (-) Gleitwiderstand der Lager

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

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack [www.fhnw.ch/ht](http://www.fhnw.ch/ht) 17

17

**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](http://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](http://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
<b>Physisches Objekt</b> • Geometrisches Objekt • Geräte zur Datenerhebung • Daten Aufbereitung zur Übermittlung	Gegenstandsseite Integrationsseite	Physisches Produkt	Physisches Objekt	Physischer Raum	Intelligente Verbindungsebene	Physisches Gerät Lokale Steuerung Lokaler Datenpeicher	Zu beobachtendes Produktmerkmal
<b>Verbindung</b> • Übermittlung der Daten ins virtuelle	Kommunikationsseite	Datenverbindung	Kommunikation	Verbindungen	Netzwerke Konfigurationsebene	Verbindung und Übertragung	Datensammlung und Kontrolle
<b>Daten</b> • Geometrie • Daten aus der Anlage • Erfahrungswerte	Datenseite		Digitaler Zwilling • Informationsmodell • Datenverbindung	Datenraum Virtueller Raum		Cloud Speicher	Datensicht • Inhalt und Management • Anweisung zur Darstellung • Datenmodell
<b>Vertarbeitung / Berechnungen</b> • Datenaufbereitung • Simulation	Funktionsseite	Virtuelles Produkt		Service Raum	Datenumwandlungsebene Wahrnehmungsebene	Berechnung und Simulation	Verbindbarkeit
<b>Horizontale Integration</b> • Beziehung zu weiteren Anlagen • Beziehung zu Kunden							
<b>Nutzerinteraktion</b> • Bedienoberfläche • Ausgabe der Informationen • Input Aufnahme	Geschäftsseite						Nutzergemeinschaft

S. Burri, M. Krack 2021

15.11.2023 Prof. Markus C. Krack [www.fhnw.ch/ht](http://www.fhnw.ch/ht) 20

20

M

0

**n|w** Fachhochschule Nordwestschweiz  
Hochschule für Technik

## Aufbau eines Digitalen Zwillings

### Grundlagen Modelle

• Geschäftsmodell  
• Vertikale Integration

### Abgeleitetes Modell

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