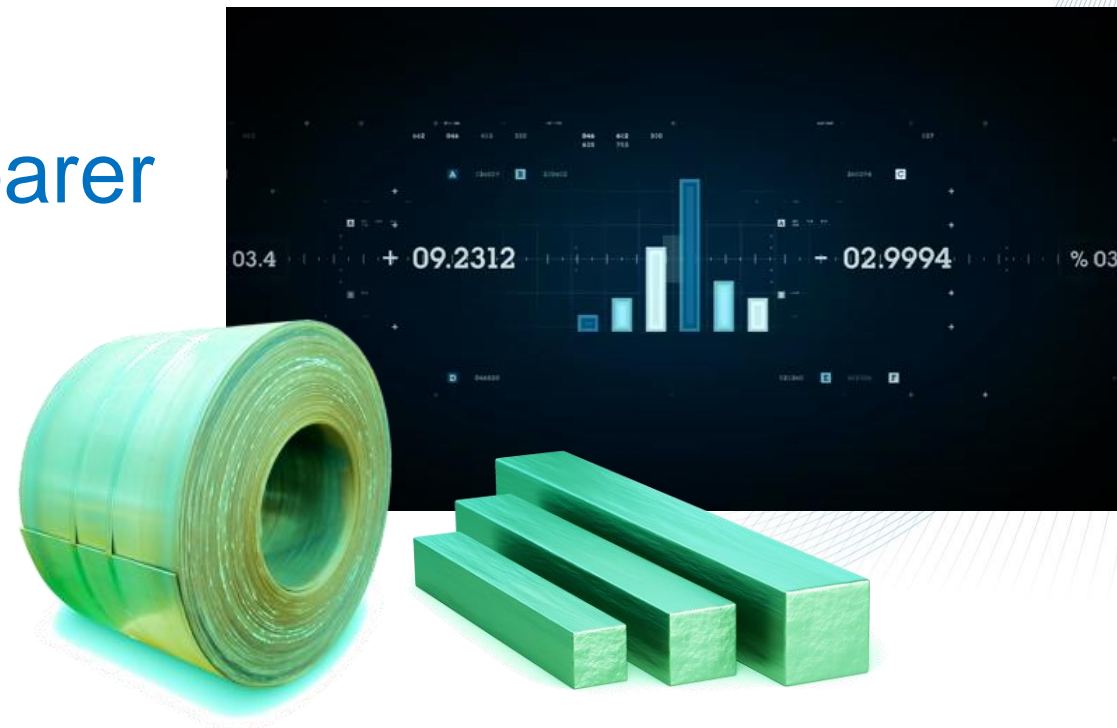
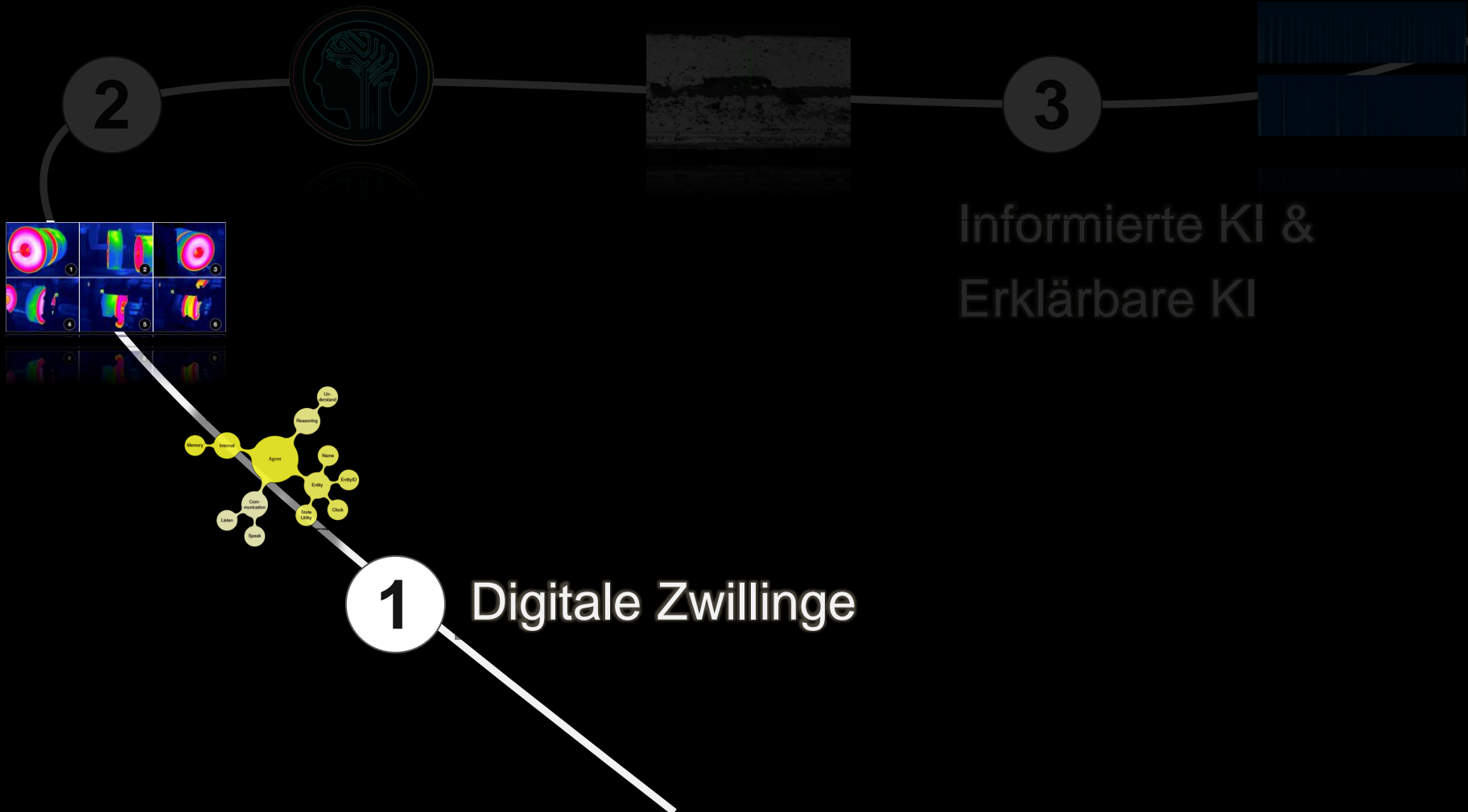


Von passiven Daten zu aktiven digitalen Zwillingen und erklärbarer künstlicher Intelligenz

Marcus J. Neuer



Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz



Prozessdaten

2020-04-09 T 15:45:12

Temperatur des Ofens

2020-04-09 T 15:05:20



Prozessdaten

Vorwalzen

Fertigstraße

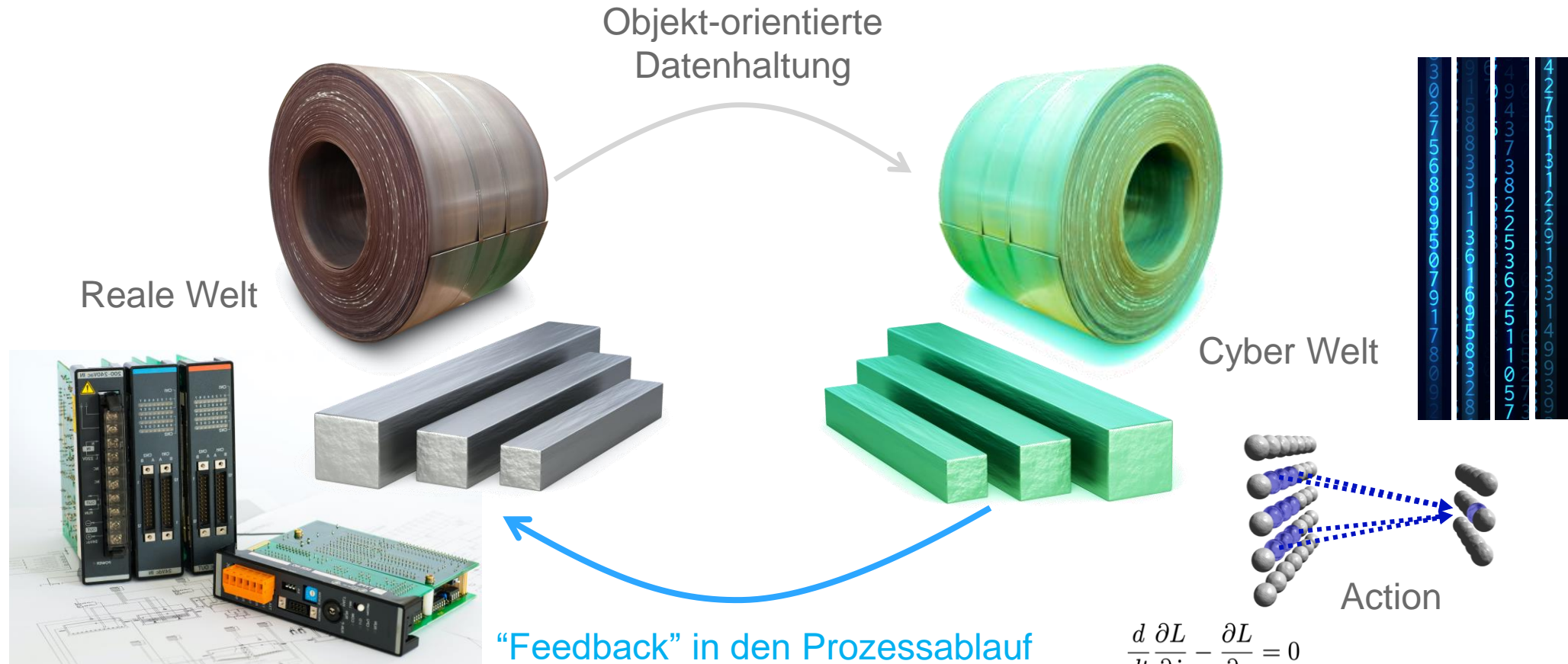
Digitaler Schatten des Produkts

Ofen

Kühlen

Bfi

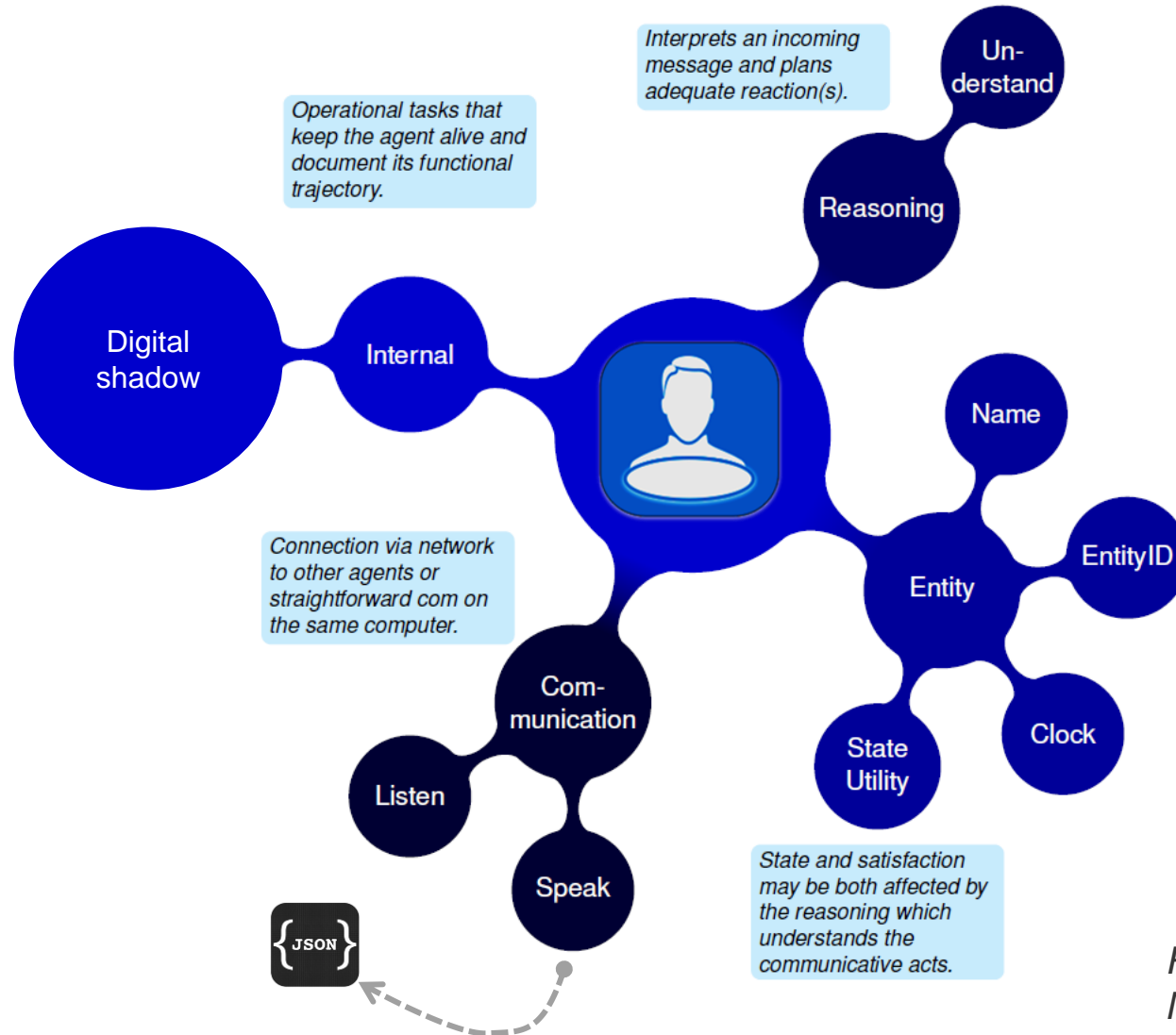
Digitale Zwillinge im Kontext Cyber-Physikalischer Systeme



$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = 0$$

$$L = L^{(0)} + \varepsilon L^{(1)} + \varepsilon^2 L^{(2)} + \dots + O(\varepsilon^N)$$

Agententechnologie als Basis für den „handelnden“ Zwilling



Agent (IT)

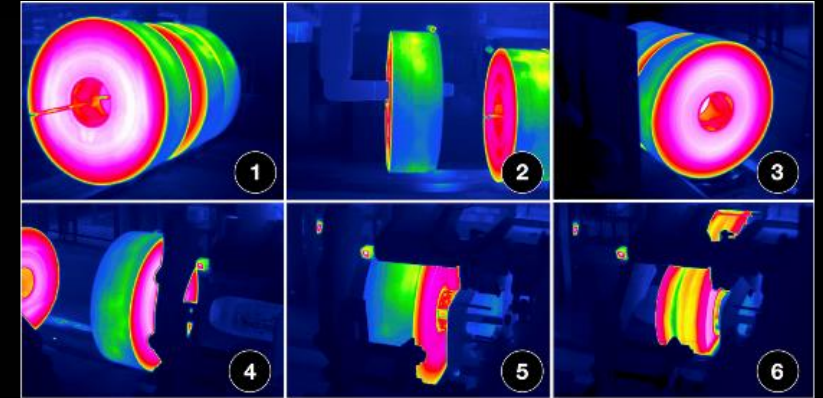
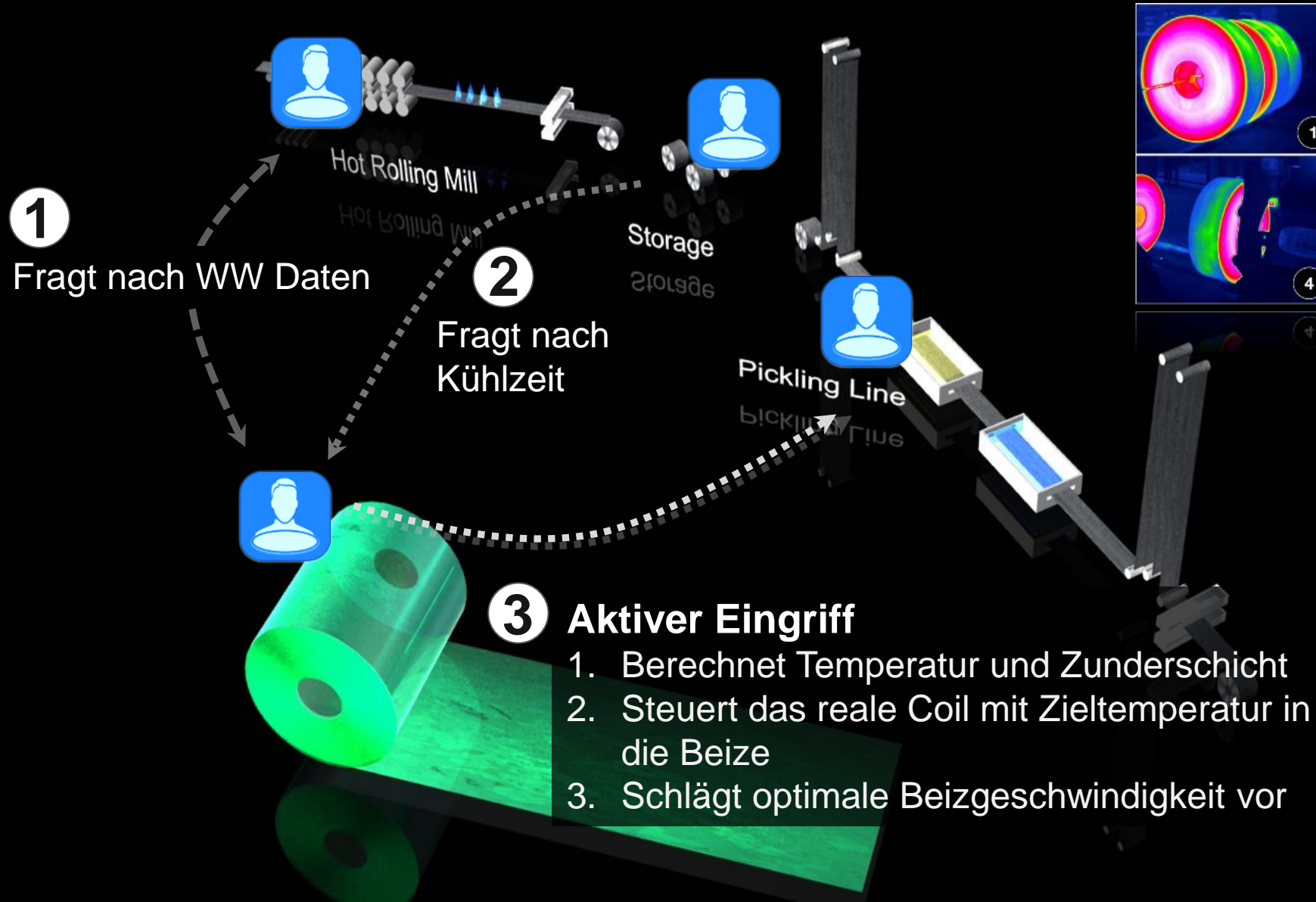
- Kompaktes Softwaremodul
- Autonom
- Dezentral
- Kommunizierend

Mehrere Agenten können miteinander **kooperieren** um ein gemeinsames Ziel zu erreichen.

Dazu müssen sie miteinander **kommunizieren**.

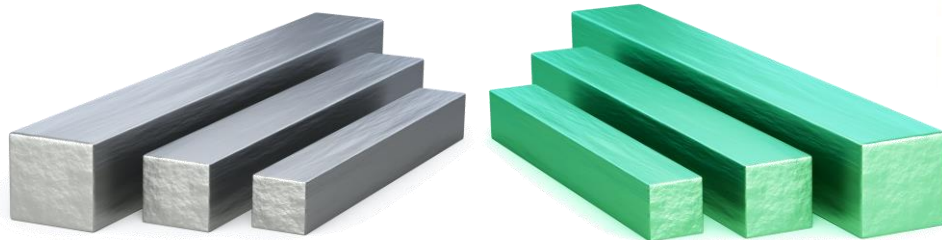
Russel & Norvig, 2003
M. Yokoo, several works

Anwendung: Warmeinsatz an der Beize

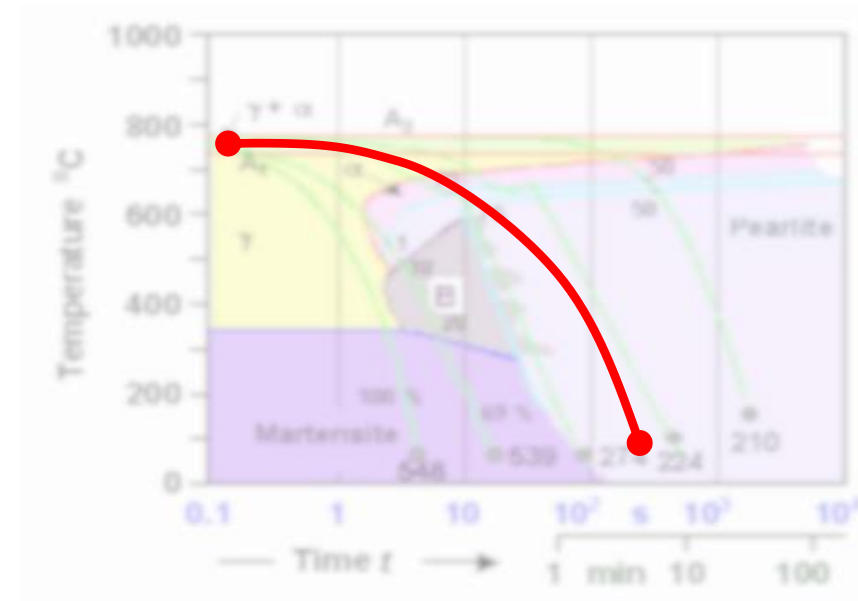
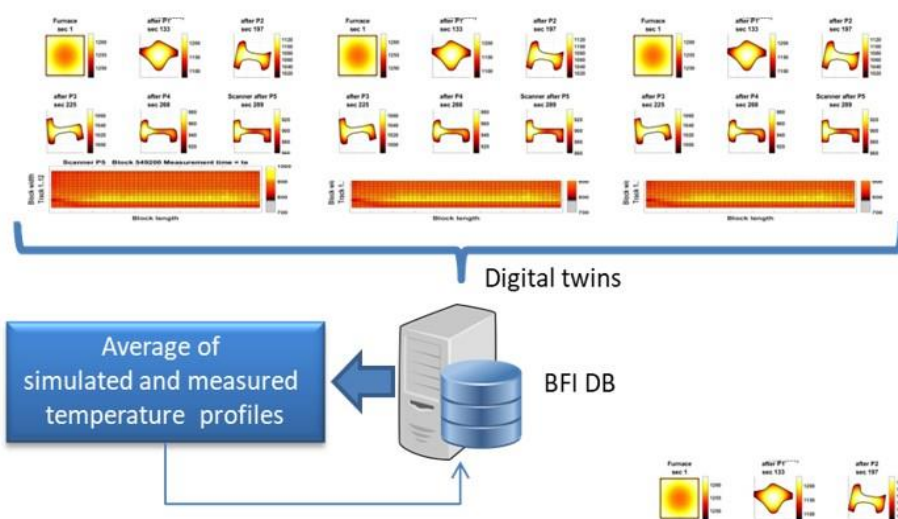


Loos, Neuer, ESTAD2017

Temperatur und Phasenüberwachung bei Langprodukten

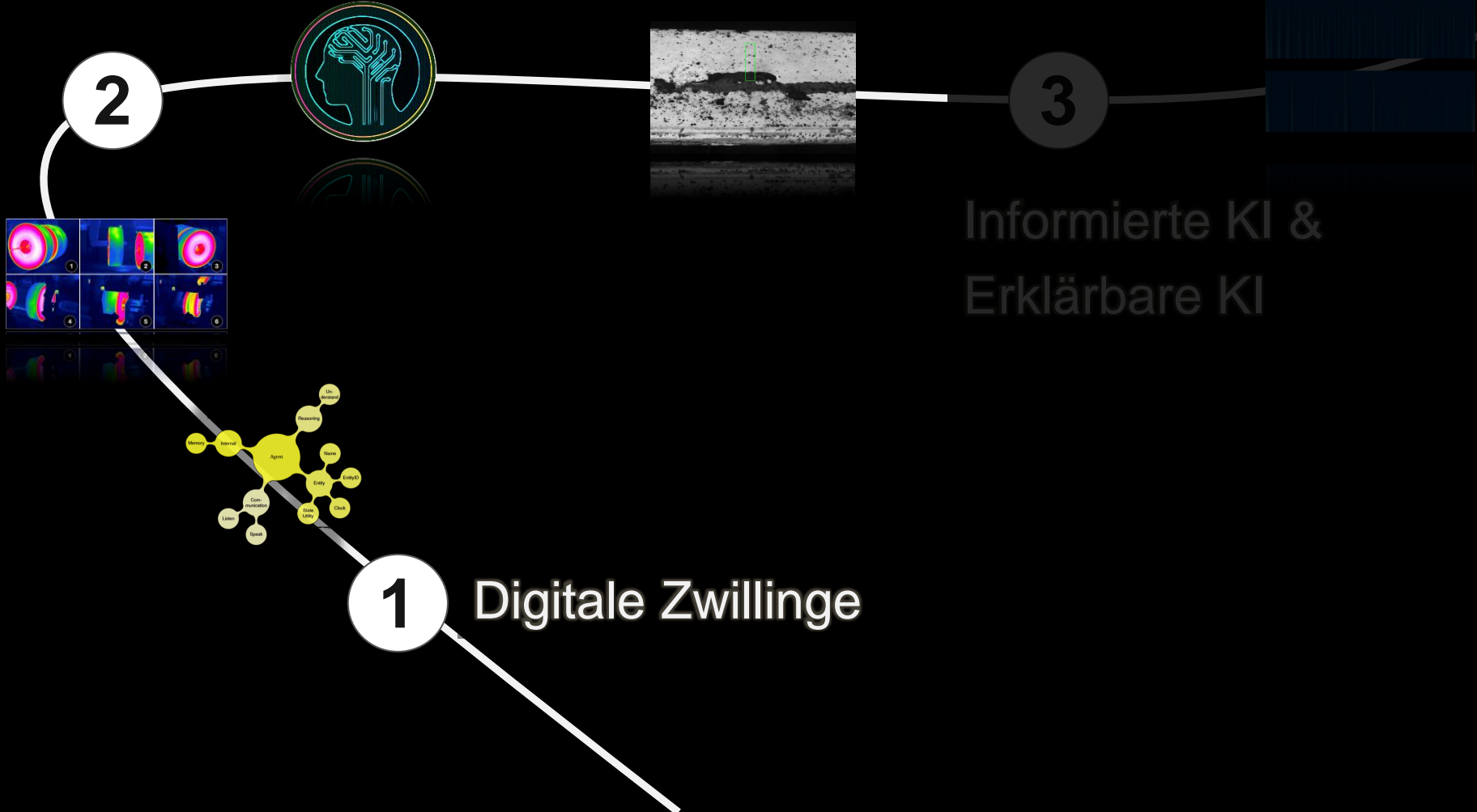


- Überwachung des **Temperaturverlaufs**
- Vorhersage der **Zeit-Temperatur-Umwandlung** und Prädiktion von Materialcharakteristik
- Umgehung **ungewollter Phasenbereiche**



Source: W. Schatt, 1991

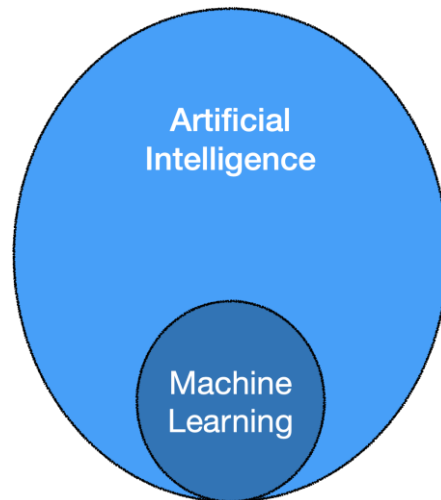
Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz



Maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz

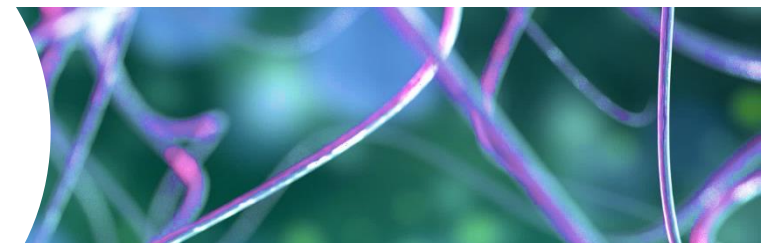
„*Artificial intelligence* is the science and engineering of making computers behave in ways that, until recently, we thought required human intelligence“,

- Andrew Moore, Carnegie Mellon University



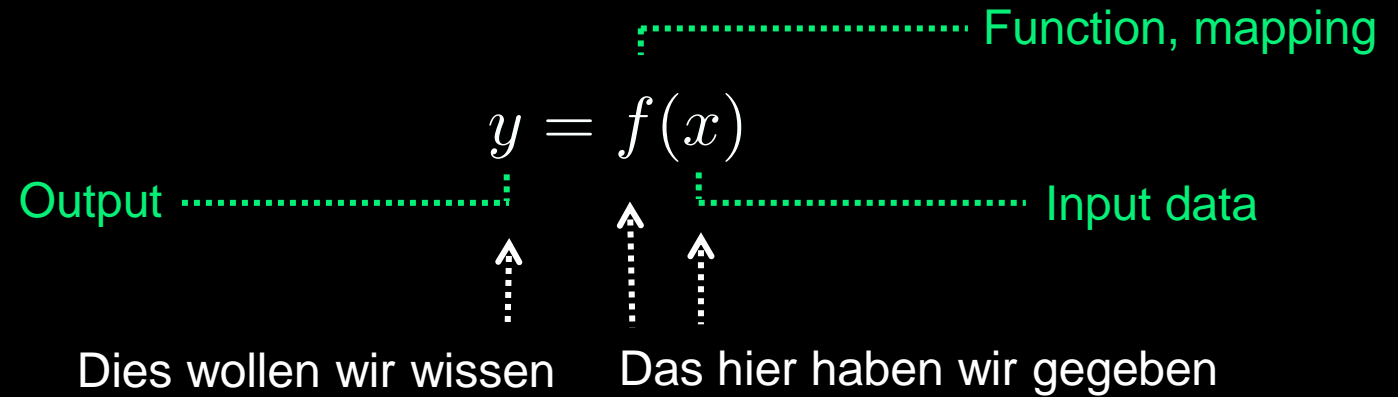
„*Machine learning* is the study of computer algorithms that allow computer programs to automatically improve through experience“,

- Tom Mitchell, Carnegie Mellon University

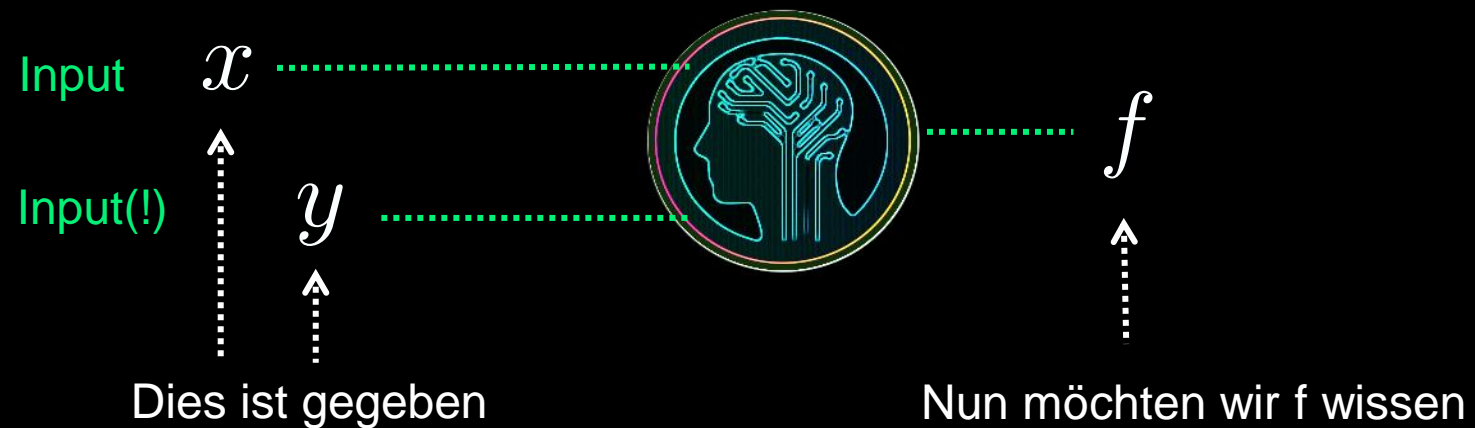


Maschinelles Lernen

Normaler Ansatz

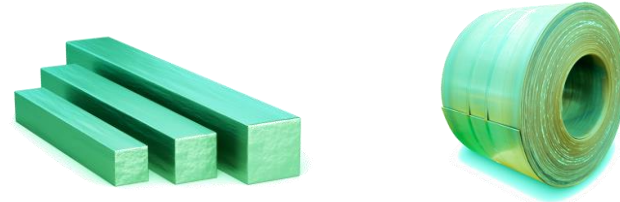


Überwachtes Lernen (mit Labeln)

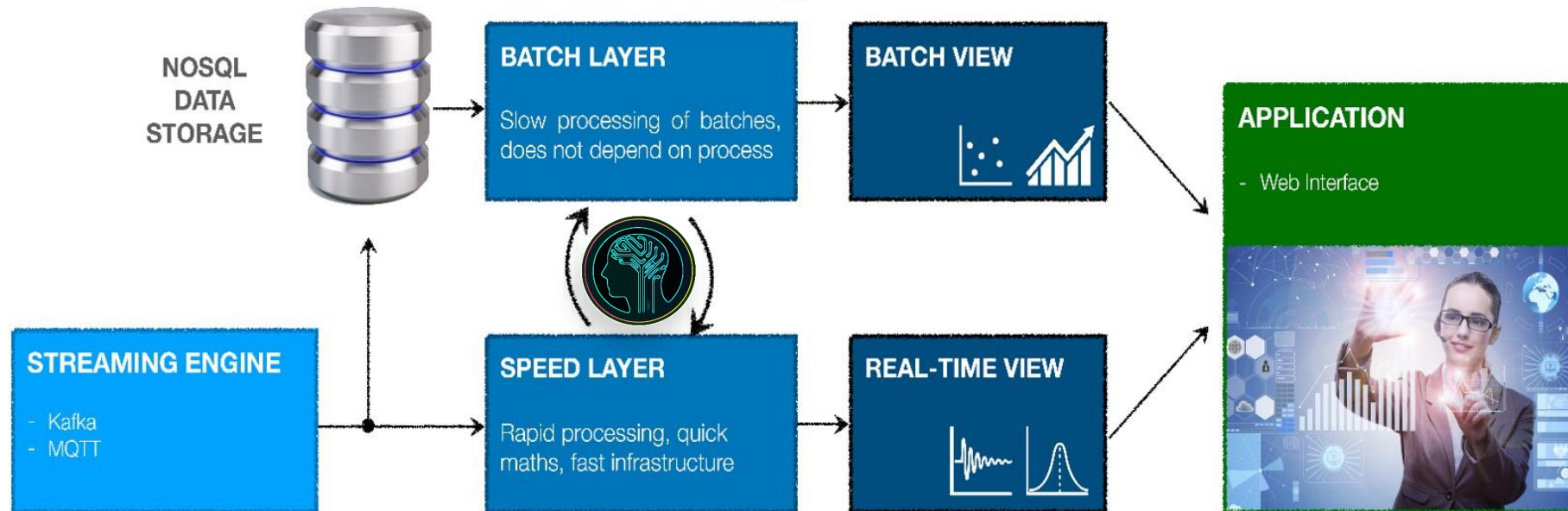


Datenpipeline um digitale Zwillinge zu unterstützen

Langsamer Ast



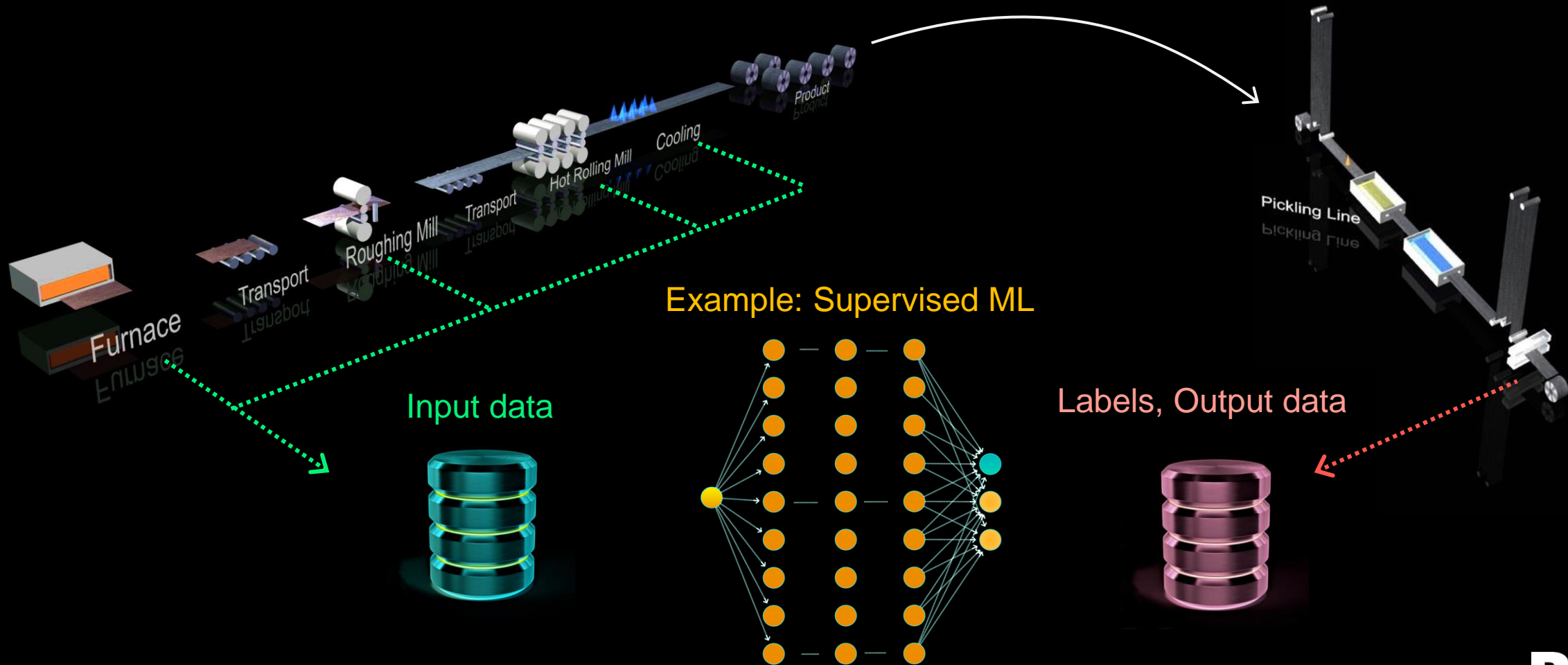
Verwaltet **digitale Strukturen**
Trainiert **ML Modelle**



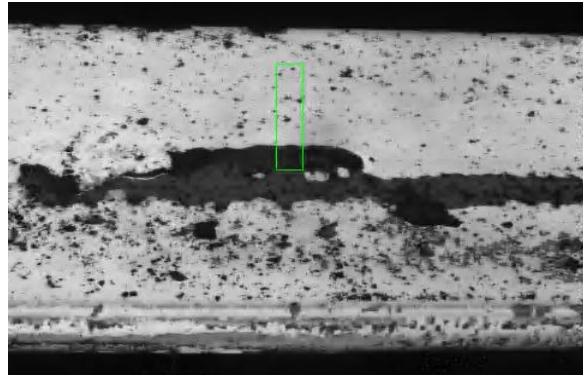
Schneller Ast

Prozessregelung
Dynamische **Reaktionsstrategien**
Online **Entscheidungsunterstützung**

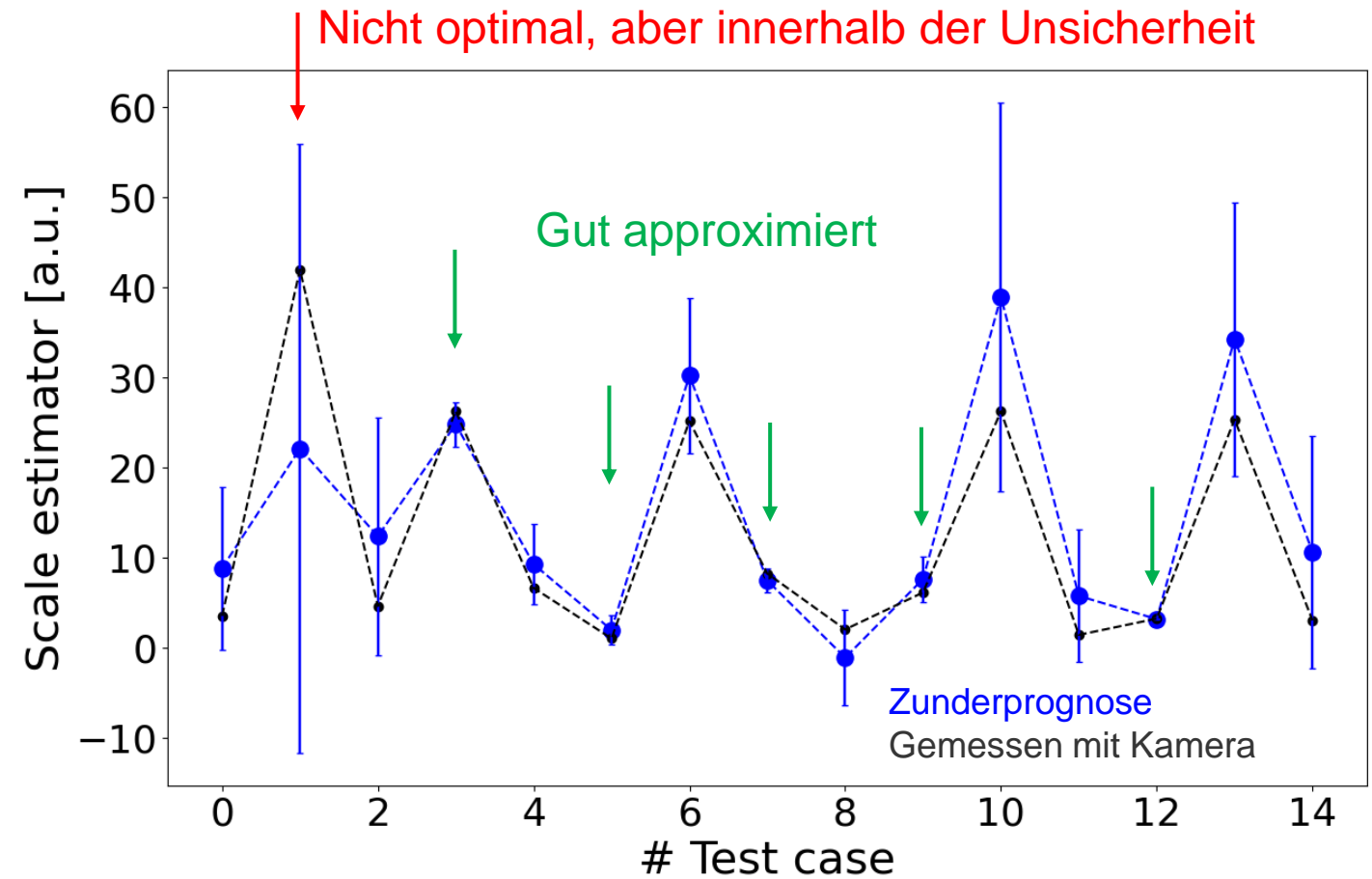
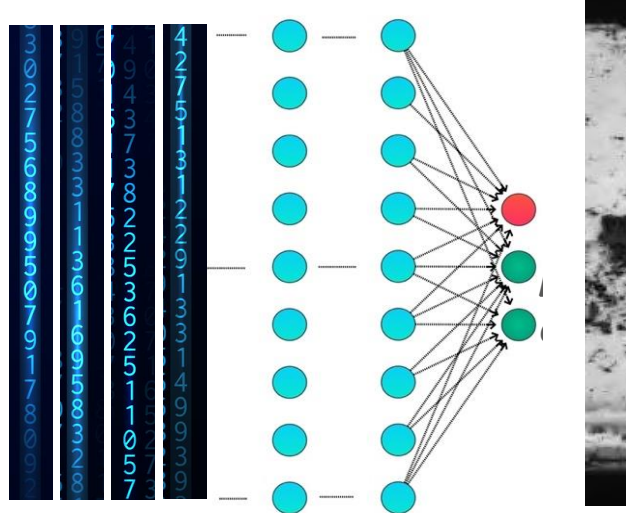
Idealvorstellung: ML zur Vorhersage der Produktqualität



Beispiel: Zunderprognose mittels Mixed-Density Network

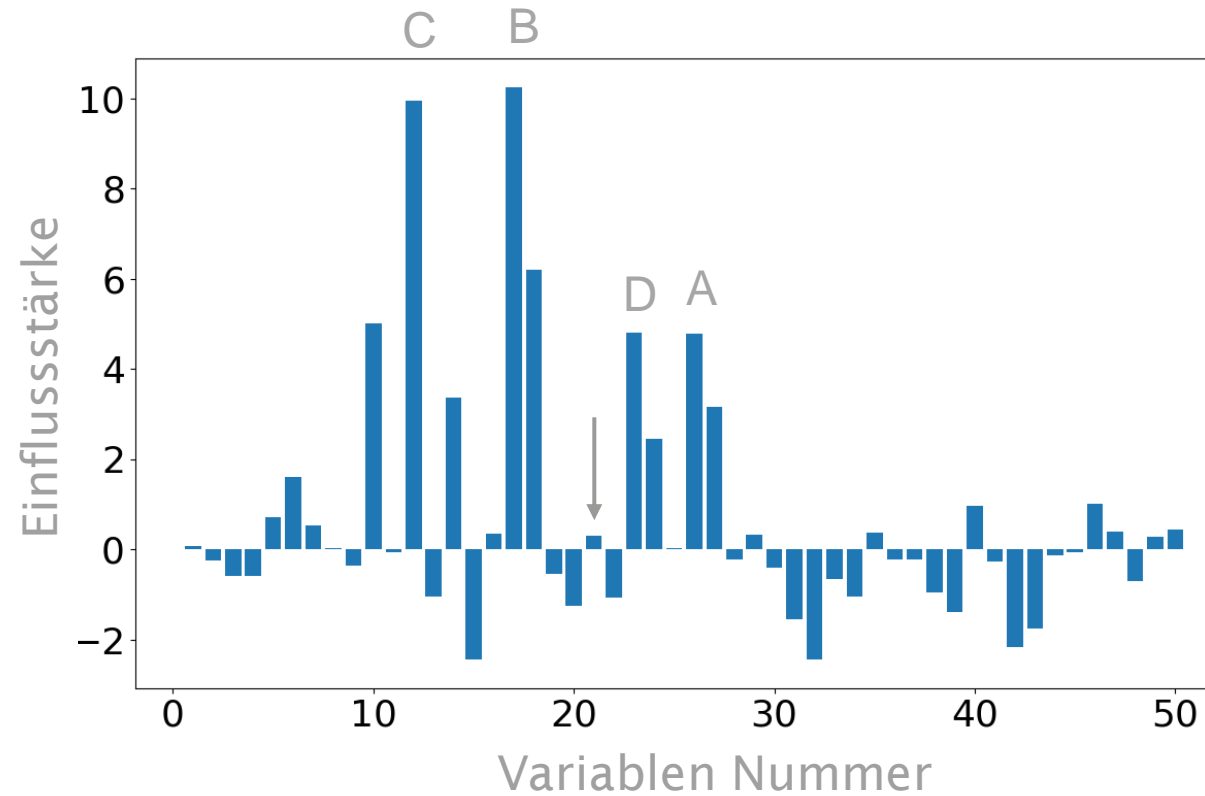


A B C D



Neuer et al. ESTEP Workshop on AI&ML, 2020

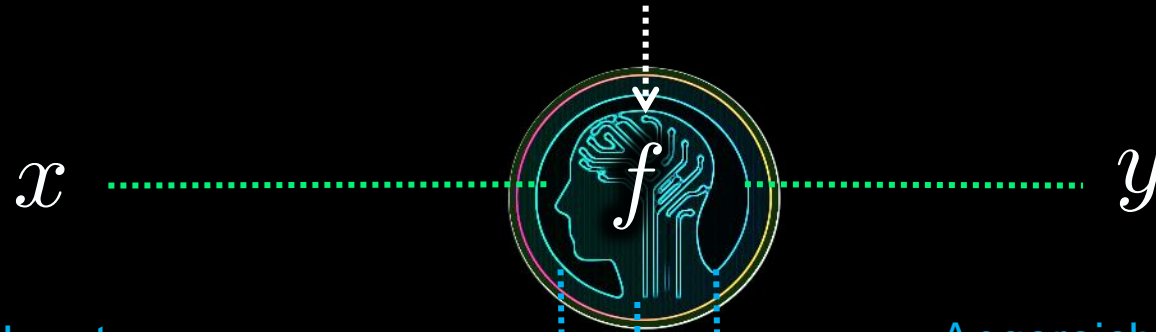
Möglich nur durch das Modell: Sensitivitätsanalyse



Neuer, ESTEP Workshop on AI&ML, 2020

Physikalisch-Informierte KI – jetzt wirklich KI

Wir wollen immer noch f ermitteln



“Angereicherter“ Input

Angereicherter Output

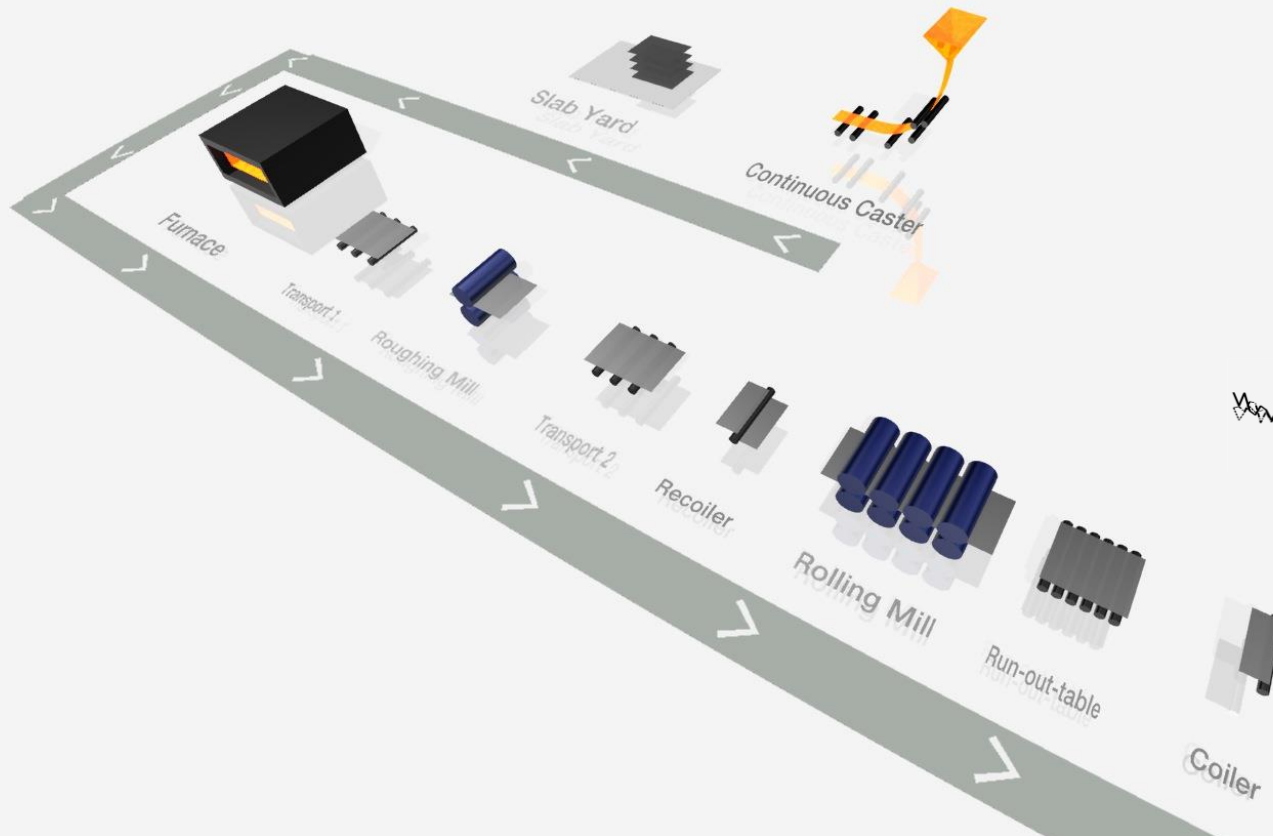
- Mathematische Transformationen
 - Fourier/Laurent Transformation
 - Laplace Transformation
 - Ableitungen
 - Integrationen
- **Existierende Modelle**
 - Walzmodell
 - Kühlmodell
 - Jede Annahme über f

Randbedingungen

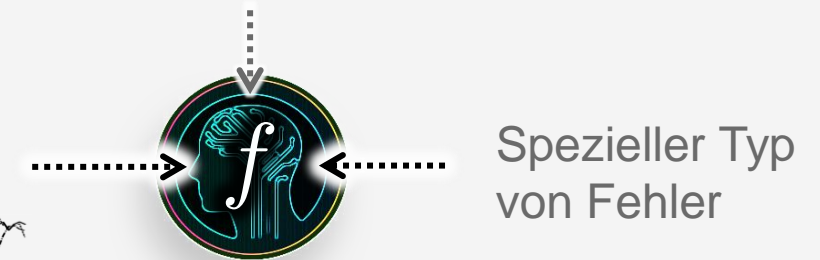
- Konditionierung der neuronalen Schichten
- Wahrscheinlichkeitsverteilungen

- Mathematische Transformation
 - Mittelwert
 - Min / Max Werte
 - Ableitungen
 - Integrationen
- ...

Informierte KI über semantische Beschreibung



Defektvorhersage



- Keine gute Vorhersage
- Hohe False-Positive Rate
- Trainiert sehr lang

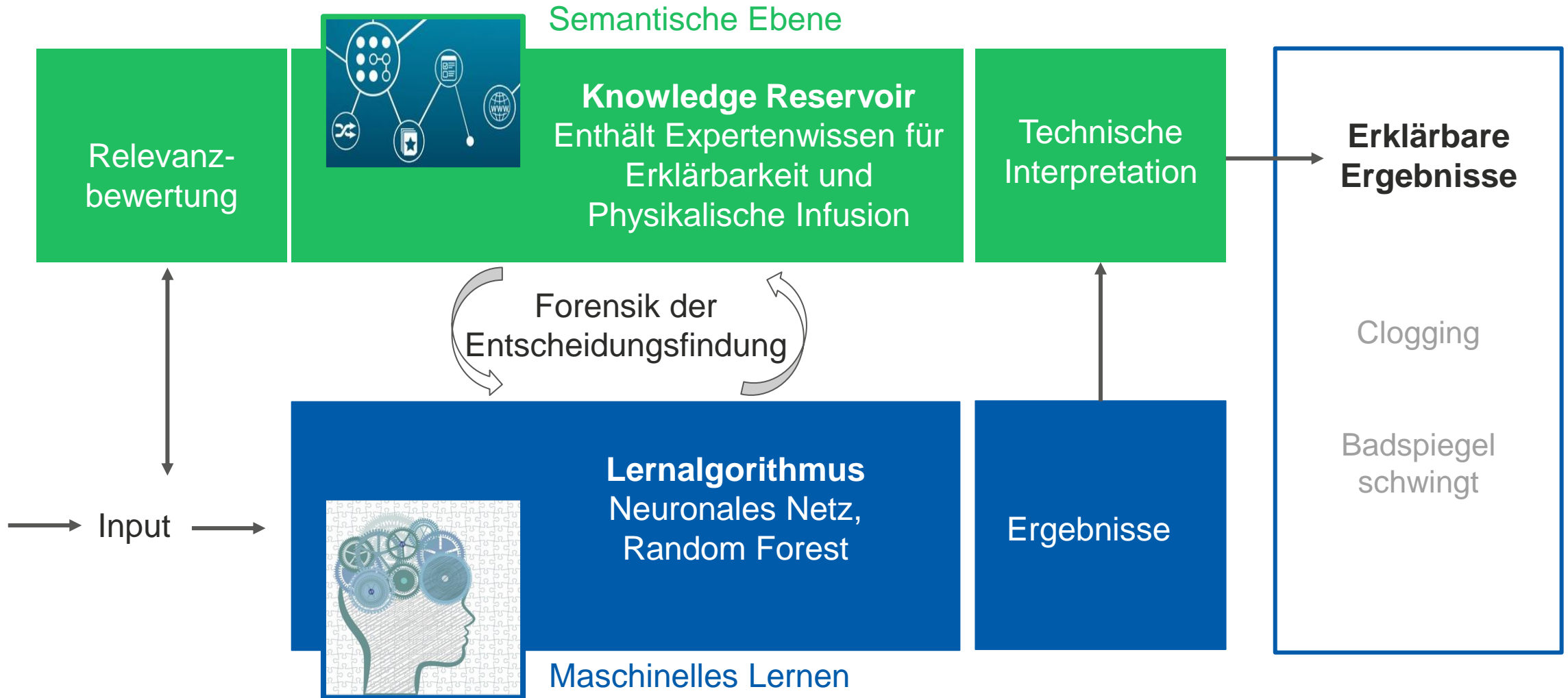
Morlet-Wavelet Transformation

Gut

Schlecht



Erklärbare KI – hier **wirklich künstliche Intelligenz**



Zusammenfassung

- **Digitale Zwillinge**
 - Nicht nur Datenstruktur, sondern aktives Element zur Steuerung und Regelung von Prozessketten
 - Ausgestattet mit Modellen zur Vorhersage
- **Maschinelles Lernen**
 - Trainiert auf großen Mengen digitaler Zwillinge
 - Stellt dem Zwilling ein Vorhersagemodell zur Verfügung
- **Physikalisch-Informierte KI**
 - Nutzt vorhandene analytische Modelle (wie sie seit Jahren und Jahrzehnten genutzt werden)
 - Macht das Lernverfahren „schlauer“
- **Erklärbare KI**
 - Greift auf Expertenwissen zurück und übersetzt algorithmische Ergebnisse in Anschauungen



Vielen Dank für Ihr Interesse!

Kontakt: Dr. Marcus J. Neuer

VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH

Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf

Telefon +49 211 98492 -254 · Fax +49 211 98492 -251

E-Mail marcus.neuer@bfi.de · www.bfi.de

E-Mail marcus.neuer@bfi.de · www.bfi.de

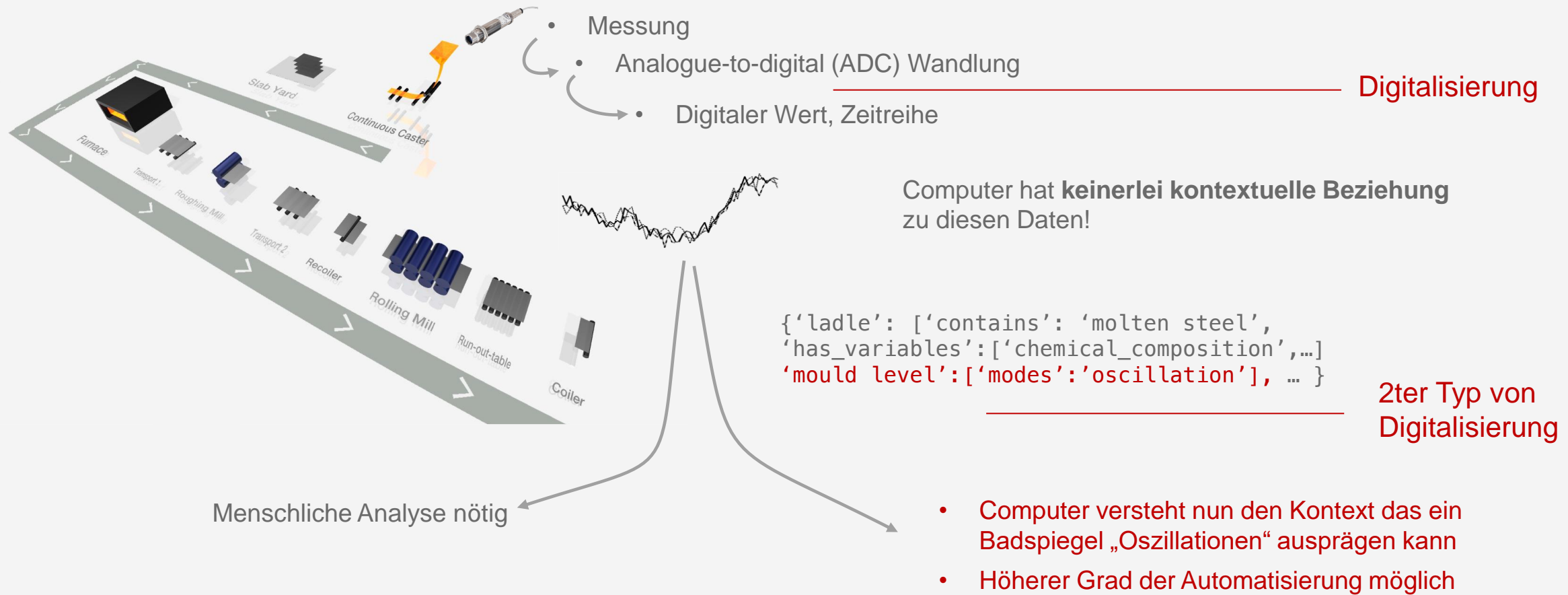
Telefon +49 211 98492 -254 · Fax +49 211 98492 -251

Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf

VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH

Kontakt: Dr. Marcus J. Neuer

Informierte KI über semantische Beschreibung



Standard Trainingssituation

Gemessene Daten x

- Zeitreihen
- Längenreihen
- Pattern und Bilder
- Kontinuierliche Streams



y

Klassifikation

- Klassen (True, False)
- Klassen (0,1,2,3,...)

Regression

- Zeitreihen
- Fließkommazahlen
- ...

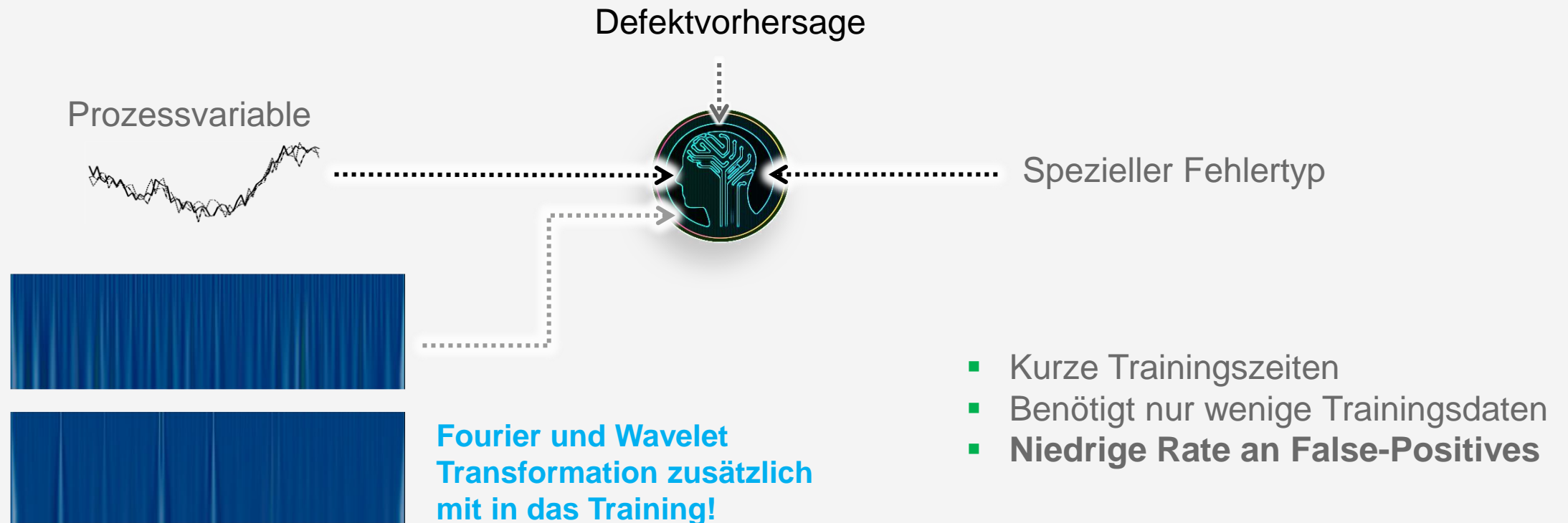
Neuronale Netze

- Backpropagation
- Regularisierung

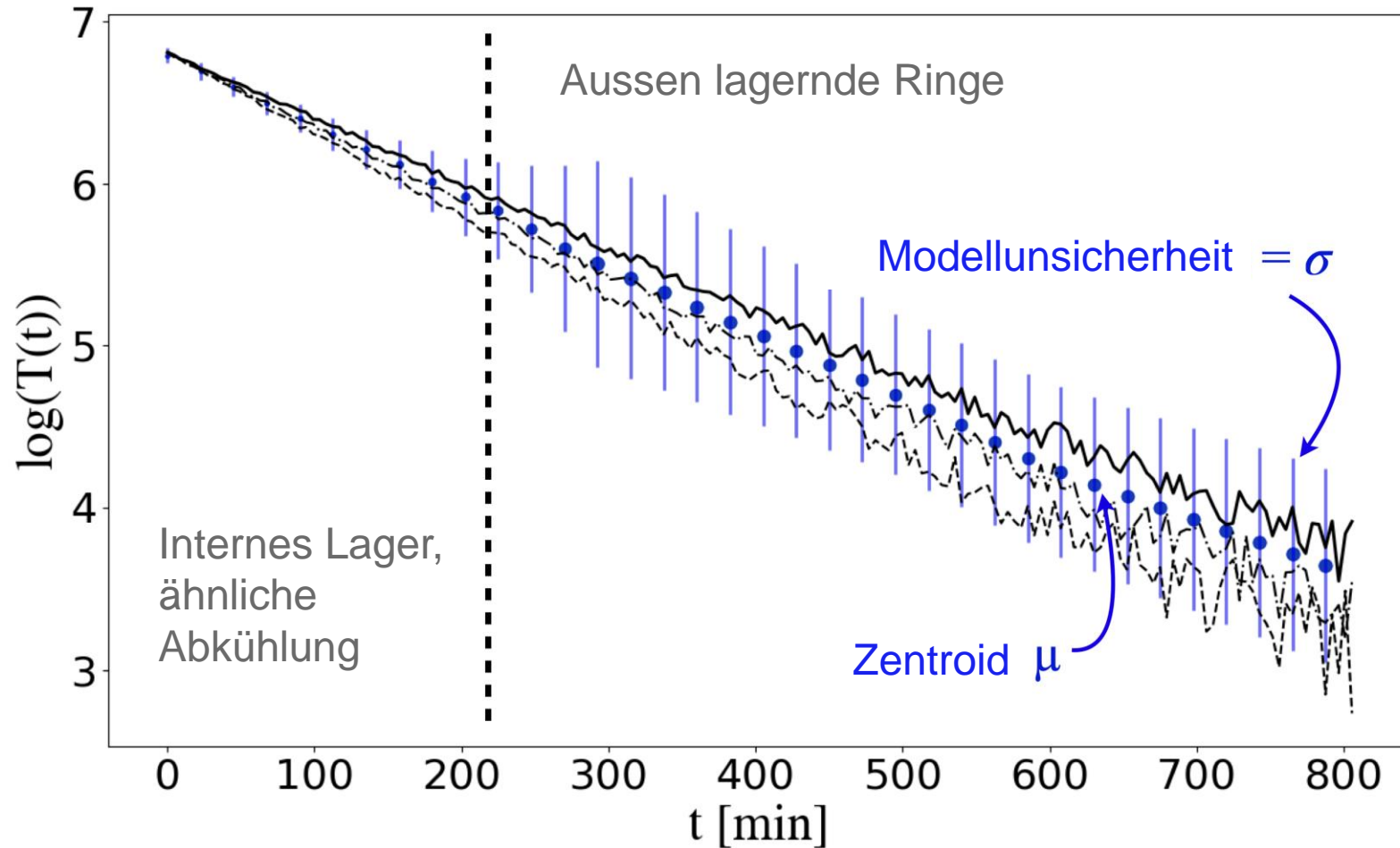
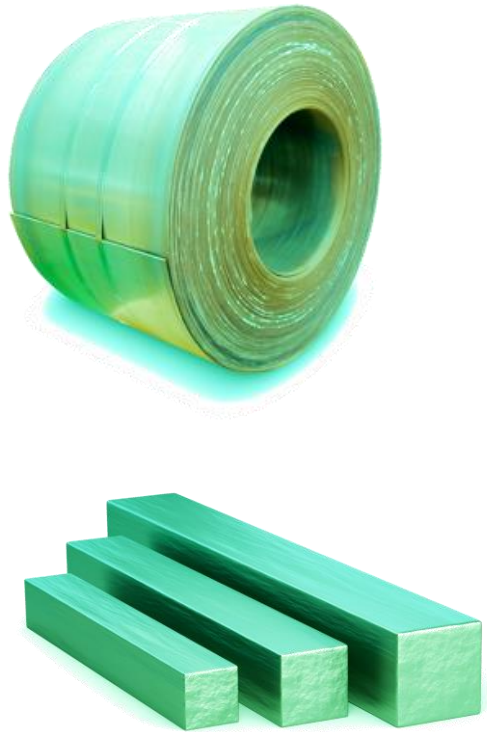
Decision tree / forest

- IB3, probabilistisch

Informierte KI über semantische Beschreibung



Modelle des Zwillings sagen Zustände voraus und wie sicher sie damit sind



Digital twins implement the **cognitive model** within the production

External

Internal

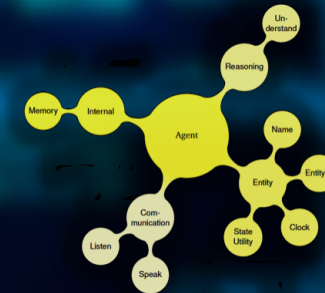
Behaviour



Sensors

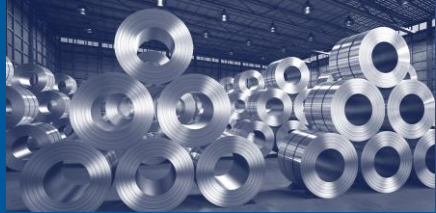


Process models / machine learning

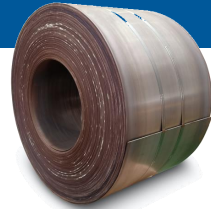


Agent "activity"

Historie der Anwendungsforschung

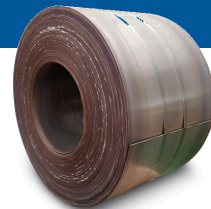


Agenten



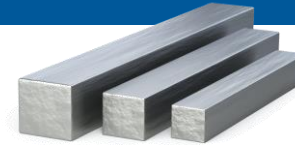
I2MSteel
2012

Digitaler Zwilling



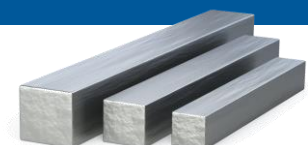
SOProd
2014

Cyber-Physische
Systeme



CyberPOS
2016

Kognitive
Zwillinge



CAPRI, Proteus
2020

Logistik

Physikalische
Vorhersage

Physikalische
Vorhersage

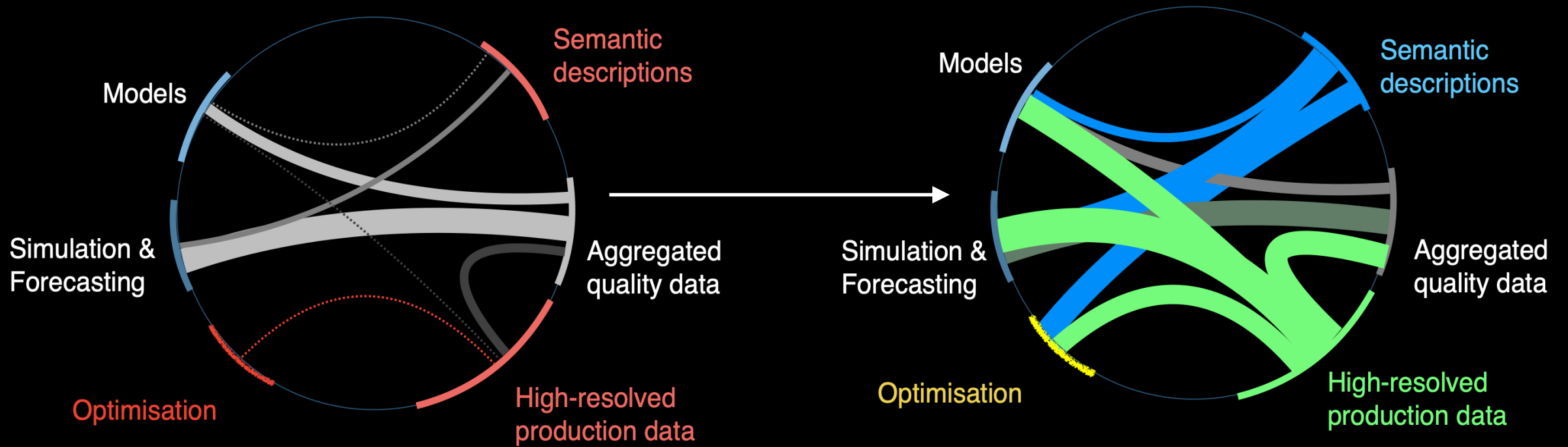
Kombination
mehrerer
kognitiver Schritte



Fähigkeiten des digitalen Systems



Gestern, Heute, Morgen



Wo wir stehen...



... wo wir hin möchten