

# DIGITALE WERKZEUGKISTE FÜR DIE METALLBRANCHE

## Modul 1: Machine Learning

---

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas

DER DIGITAL INNOVATION HUB SÜD ALS  
KOSTENLOSES SERVICE FÜR KMU





## **MODUL 1:** MACHINE LEARNING

Partner: TU Graz

Trainer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas

Datum: 4. Oktober<sup>2</sup>2024, 9-13 Uhr

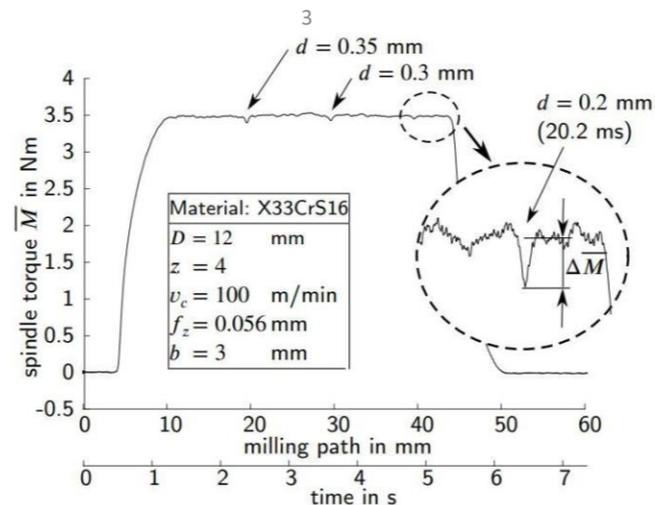
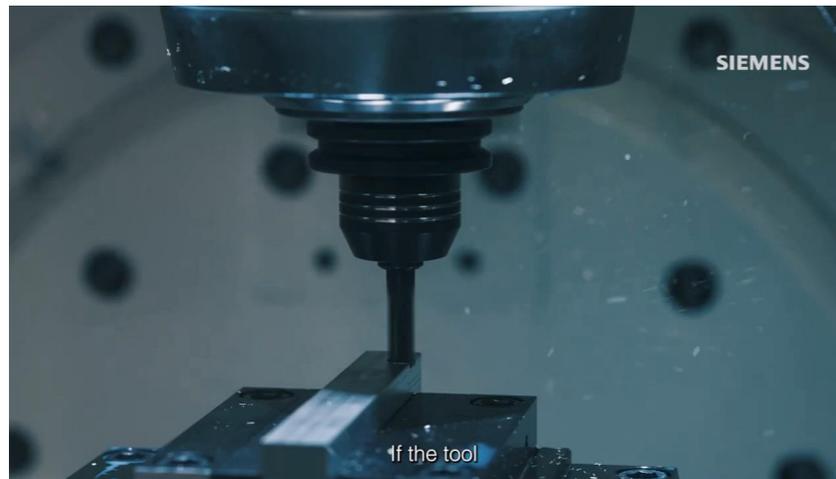
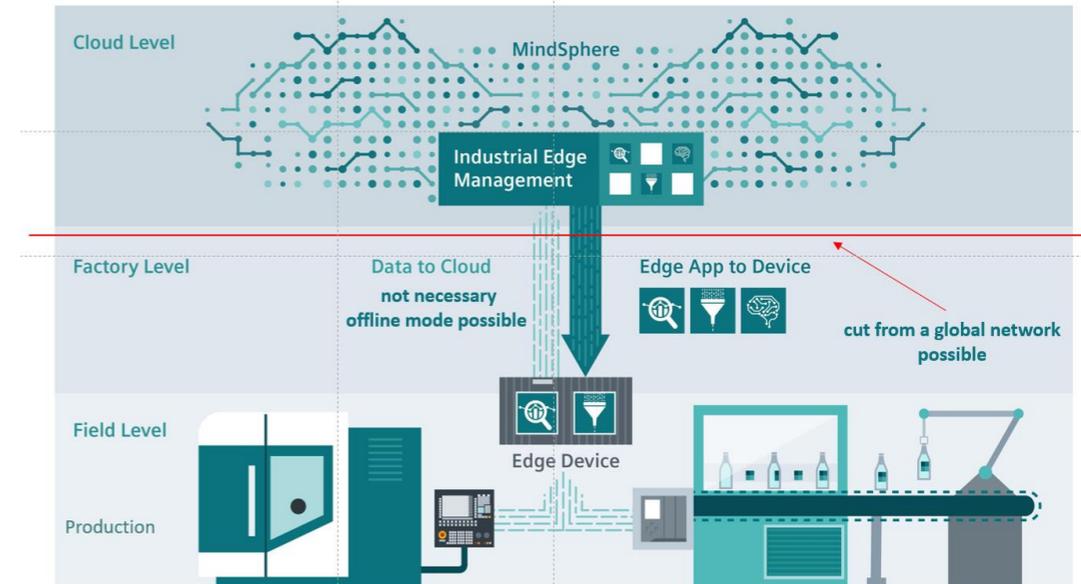
Ort: Campus Technik Lienz, PHTL Lienz



## MODUL 1: MACHINE LEARNING

### Kompetenzen:

- Grundlagen (Machine Learning, Deep Learning, Data Analytics)
- Edge Computing versus Cloud Computing
- Einsatz des Edge Computers in Produktionsanlagen
- Detektion von Werkzeugverschleiß
- Qualitätssicherung durch Anomalie-Erkennung
- Workshop: Machine Tools 2030
- KI in der Robotik



# Zeit zu handeln?



## Warum besteht Handlungsbedarf?

- Wir befinden uns in einer **wirtschaftlichen Rezession**.
- Wir sind **zurückhaltend bei Zukunftsinvestitionen**.
- **Es fehlen Zukunftsperspektiven** für die jungen Menschen.
- Die drängenden **Fragen zur Klimawende und Kreislaufwirtschaft** sind noch **nicht gelöst**.
- Es besteht die Gefahr, dass wertvolles **Know-How abwandert und verloren geht**.
- Die **politische Instabilität in Europa** wirkt sich auf unser Wirtschaften aus.



## „Made in Europe“

*„Fangen wir doch neu zu wirtschaften an und entdecken die Fähigkeiten, Fertigkeiten und den Willen zur kostengünstigen Produktion in der unmittelbaren Nachbarschaft.“*

*Dann wird das Geld wieder im Kreis zirkulieren und nicht in der weiten Welt versickern.“ (F. Haas, 18.09.2024)*

### Made in Europe – State of Play



Was kann das  
**Institut für Fertigungstechnik**  
beitragen?

# Production Lab / Produktionslabor für Zerspanungsforschung

- Forschungs-Schleifmaschine
- CNC-5-Achs-Fräsen mit Ultraschallunterstützung
- CAM-Systeme
- Koordinatenmessmaschine
- CNC-Drehzentren
- Präzisionsfertigung für Prototypen



## Training Workshop / Neue Lehrwerkstätte seit 2020

- Viel Tradition und didaktisches Know-How in der Werkstattfertigung
- Neue Drehmaschinen mit Zyklenautomatik
- 2 CNC-Fräsmaschinen
- CNC-Unrundscheifen für Höchstpräzision
- Zentrierbohrungsscheifen
- Polymer-3D-Druck



# Battery Innovation Center / Fertigung für die Mobilität der Zukunft

- Geometrische Vermessung von Batteriezellen
- Modul-Assemblierung
- Kollaborative Robotik
- Fuel-Stack-Stacking
- „Reinraum“ für Stapelprozesse
- Messtechnik
- Life Cycle Analysen



# AddLab@tugraz / Metall-Additive Fertigung für Serienprodukte

- Polymerdrucker für Prototypen
- L-PBF (Pulverbettverfahren)
- WAAM (Drahtbasiertes Verfahren – Schenkung der AMAG AG an TUG/AddLab)
- SLEDM-Demonstrator
- Topologieoptimierung
- Mess- und Analysetechnik



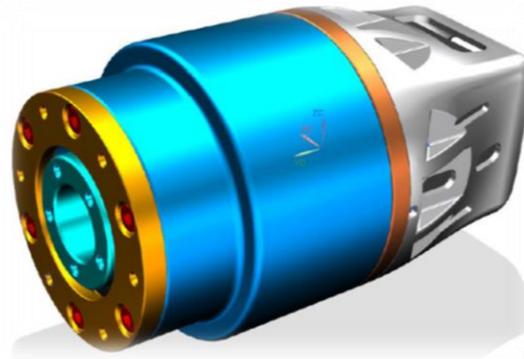
# Fluid Lab / Systementwicklung und Testung in der Fluidtechnik

- Charakterisierung von Ventilen und Aktuatoren in der Hydraulik
- Fahrzeughydraulik
- Piezo-Ventiltechnik
- Neue Medien und Nachhaltigkeit
- Schaltungs-Simulation
- CFD-Analysen



# smartfactory@tugraz / Pilotfabrik für Digitale Transformation

- Datendurchgängigkeit von der Konstruktion bis zur Fertigung
- Digitalisierung der Prozesse
- Automation und Robotik
- Security and Safety
- Drahtlos-Kommunikation in Echtzeit
- Datenräume
- ....



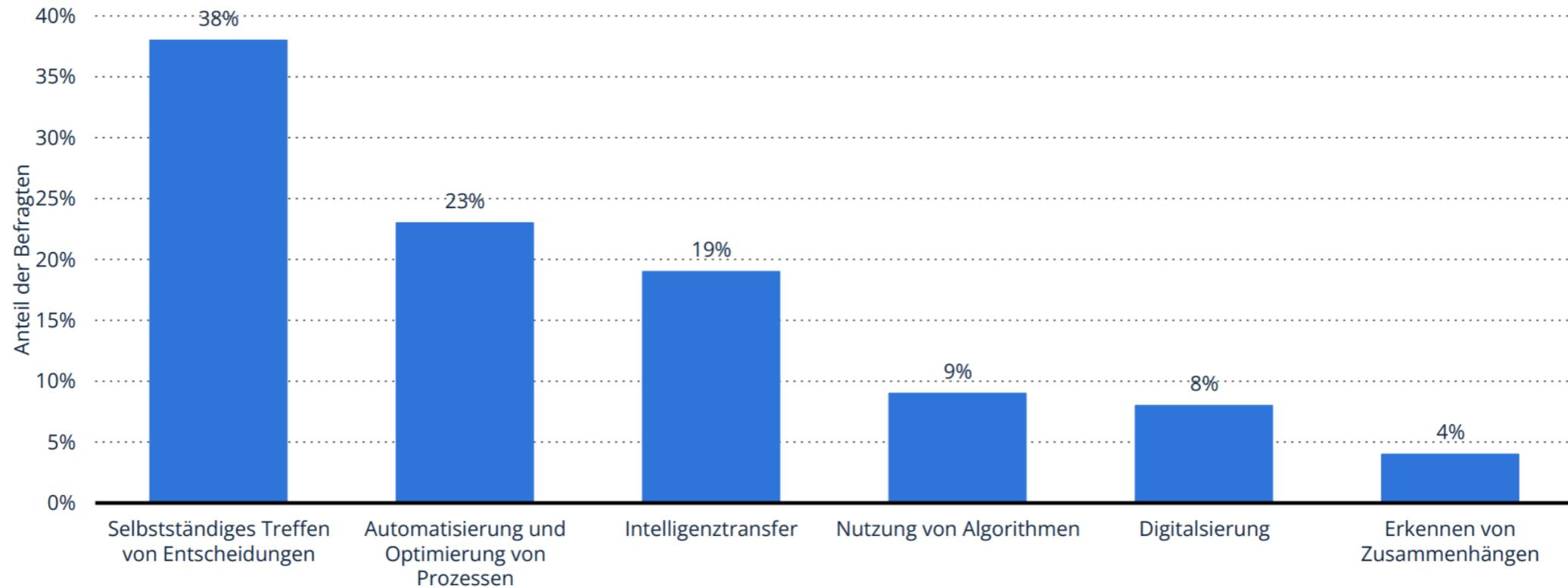
# Was kann das **Maschinelle Lernen** beitragen?

I.

# Grundlagen – Was ist Machine Learning?

# Umfrageergebnis: Wie definieren Sie Künstliche Intelligenz?

Begriffsverständnis von Künstlicher Intelligenz in mittelständischen Unternehmen 2021



13

**Beschreibung:** Wie eine Umfrage von Deloitte aus dem Jahr 2020 zeigt, wird Künstliche Intelligenz in Mittelstandsunternehmen vor allem mit dem selbstständigen Treffen von Entscheidungen (38 Prozent der Befragten), also einem autonomen Charakter, verbunden.

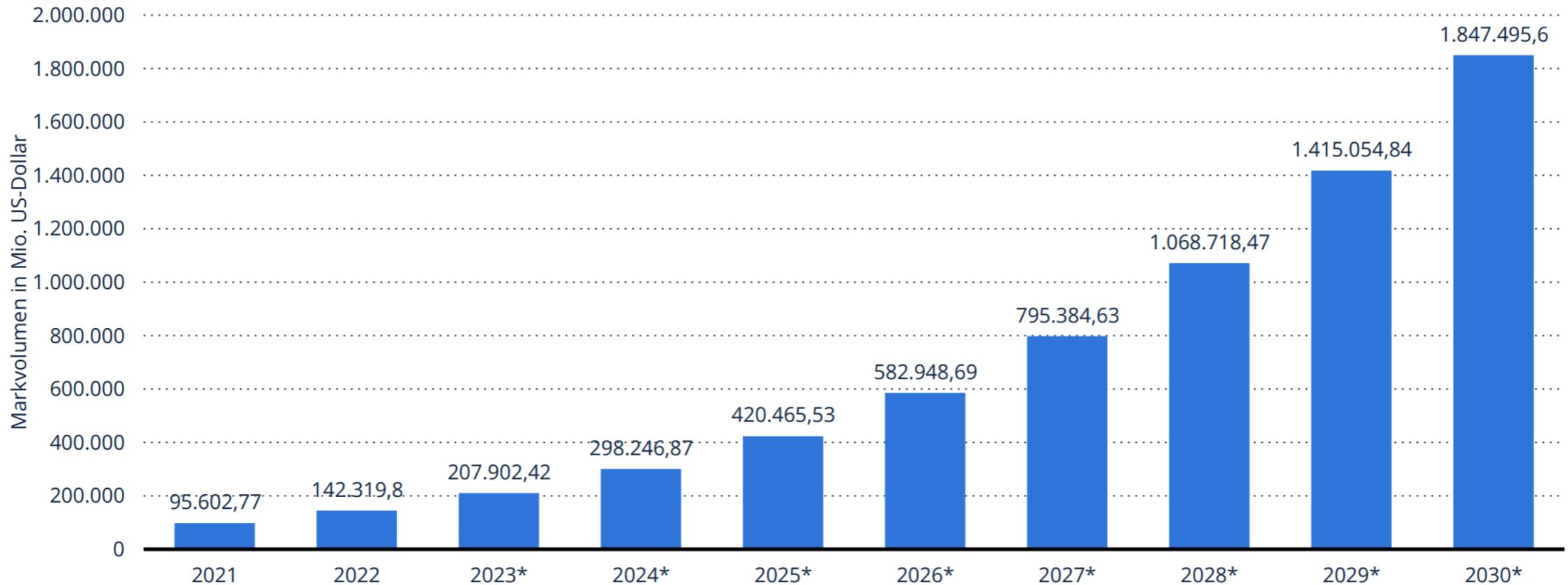
Doch auch die Prozessoptimierung von Arbeitsabläufen im Unternehmen (23 Prozent) zählt zu Definition von KI-Systemen. [Mehr](#)

**Hinweis(e):** Deutschland; Oktober bis November 2020; 307 Unternehmen

**Quelle(n):** Deloitte



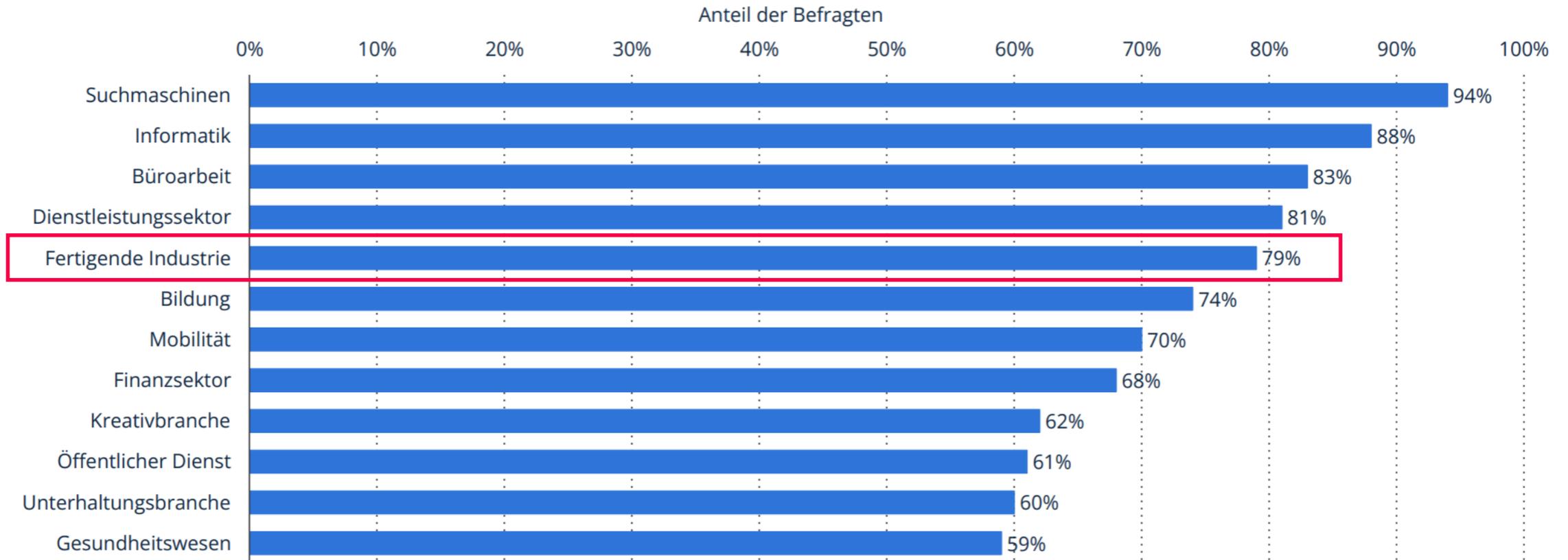
# Umfrageergebnis: Globales Marktvolumen bis 2030



5 **Beschreibung:** Nach Angaben von Next Move Strategy Consulting wird der Markt für Künstliche Intelligenz in den kommenden zehn Jahren ein starkes Wachstum verzeichnen. Bis 2030 soll sich der fast 100 Milliarden US-Dollar starke Markt verzweifachigen. Weitere Informationen finden Sie hier: [Mehr](#)  
**Hinweis(e):** Weltweit; Januar 2023; \*Prognose [Mehr](#)  
**Quelle(n):** Next Move Strategy Consulting



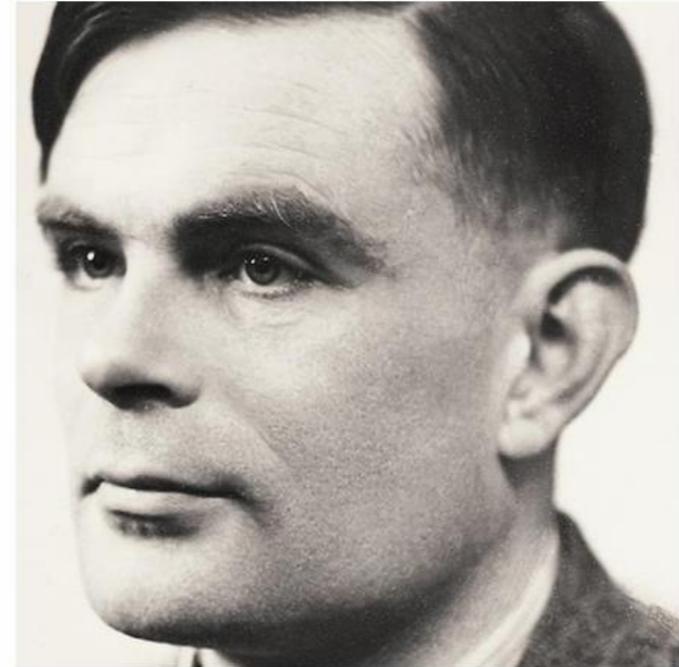
# Umfrageergebnis: In welchem Ausmaß wird KI die Arbeitswelt verändern?



10 **Beschreibung:** In der Frage, inwiefern KI-Anwendungen viele menschliche Tätigkeiten verändern wird, gaben 94 Prozent der Befragten an, dass sich die größten Veränderungen innerhalb der nächsten zehn Jahre im Bereich der Suchmaschinen bemerkbar machen werden. Aber auch in den Bereichen der Informatik (88 Prozent) und der Büroarbeit (83 Prozent) werden viele Veränderungen erwartet. [Mehr](#)  
**Hinweis(e):** Deutschland; April bis Mai 2023; 1.021 Befragte; 16 bis 75 Jahre  
**Quelle(n):** TÜV-Verband

## Was ist „Lernen“?

Um ein Kriterium zu haben, wann eine Maschine eine dem Menschen gleichwertige Intelligenz simuliert, wurde von **Alan Turing** der nach ihm benannte **Turing-Test** vorgeschlagen. Dabei stellt ein Mensch per Terminal **beliebige Fragen an einen anderen Menschen bzw. eine KI**, ohne dabei zu wissen, wer jeweils antwortet. Der Fragesteller muss danach entscheiden, ob es sich beim Interviewpartner um eine Maschine oder einen Menschen handelte. **Ist die Maschine nicht von einem Menschen zu unterscheiden, so ist sie laut Turing intelligent.** Bisher konnte keine Maschine den Turing-Test zweifelsfrei bestehen.



*Quelle: Alan Turing: Computing Machinery and Intelligence.  
Aus: Mind No. 236. Oktober 1950.*

# Fähigkeiten der „starken“ KI

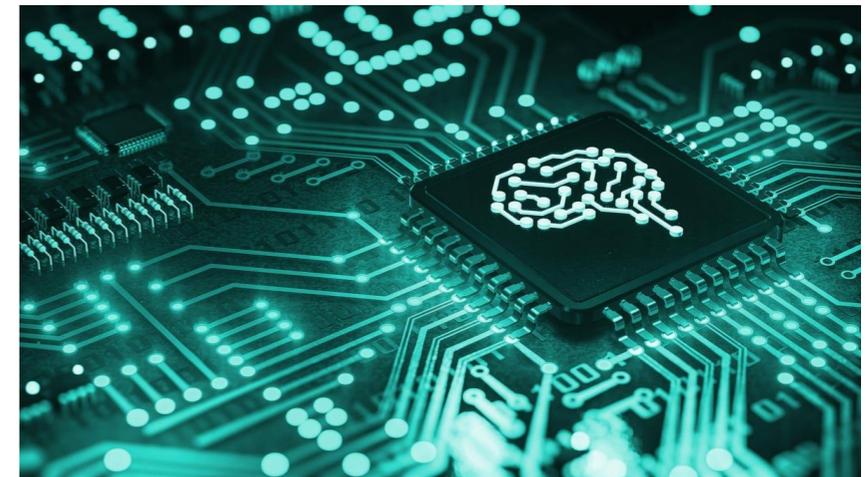
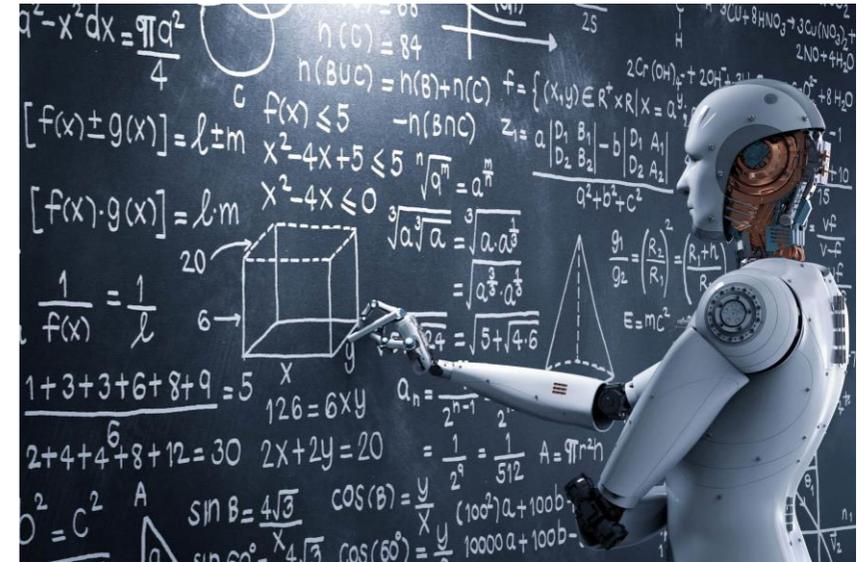
<p><b>Systems that think like humans</b>          "The exciting new effort to make computers think... machines with minds, in the full and literal sense" (Haugeland, 1985)          "[The automation of] activities that we associate with human thinking, activities such as decision-making, problem solving, learning..." (Bellman, 1978)</p>	<p><b>Systems that think rationally</b>          "The study of mental faculties through the use of computational models" (Charniak and McDermott, 1985)          "The study of the computations that make it possible to perceive, reason and act" (Winston, 1992)</p>
<p><b>Systems that act like humans</b>          "The art of creating machines that perform functions that require intelligence when performed by people" (Kurzweil, 1990)          "The study of how to make computers do thinks at which, at the moment, people are better" (Rich and Knight, 1991)</p>	<p><b>Systems that act rationally</b>          "A field of study that seeks to explain and emulate intelligent behavior in terms of computational processes" (Schalkoff, 1990)          "The branch of computer science that is concerned with the automation of intelligent behavior" (Luger and Stubblefield, 1993)</p>

# Definition von Machine Learning im Detail

**Machine Learning** oder maschinelles Lernen ist ein **Teilbereich der künstlichen Intelligenz**. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem **Trainieren von Computern**, um **aus Daten** und Erfahrungen zu lernen und **sich stets zu verbessern** – anstatt explizit dafür programmiert zu werden.

Beim Machine Learning werden **Algorithmen darauf trainiert**, Muster und Korrelationen in großen Datensätzen zu finden und **auf Basis dieser Analyse die besten Entscheidungen** und Vorhersagen zu treffen. **Anwendungen** für maschinelles Lernen **verbessern sich** mit ihrer Nutzung und **werden umso genauer, je mehr Daten** sie zur Verfügung haben.

Sie befinden sich **überall** um uns herum – in unseren **Haushalten**, in unseren **Warenkörben**, in unseren **Unterhaltungsmedien** und in unserem **Gesundheitswesen**, aber natürlich vor allem bei **Produktionsanlagen**.



[Machine Learning: Die Zukunft der Intelligenz | Definition, Arten und Beispiele | SAP](#)

# Was hat Machine Learning mit KI zu tun?

**Machine Learning** – und seine **Deep-Learning-Komponenten** sowie die **neuronalen Netze** – sind alles **konzentrische Teilmengen** von **Künstlicher Intelligenz**.

**KI** verarbeitet **Daten**, um **Entscheidungen** und **Prognosen** zu treffen.

**Die Algorithmen** verwenden sie, lernen dadurch dazu und **werden intelligenter**, **ohne** dass eine **zusätzliche Programmierung** erforderlich ist.

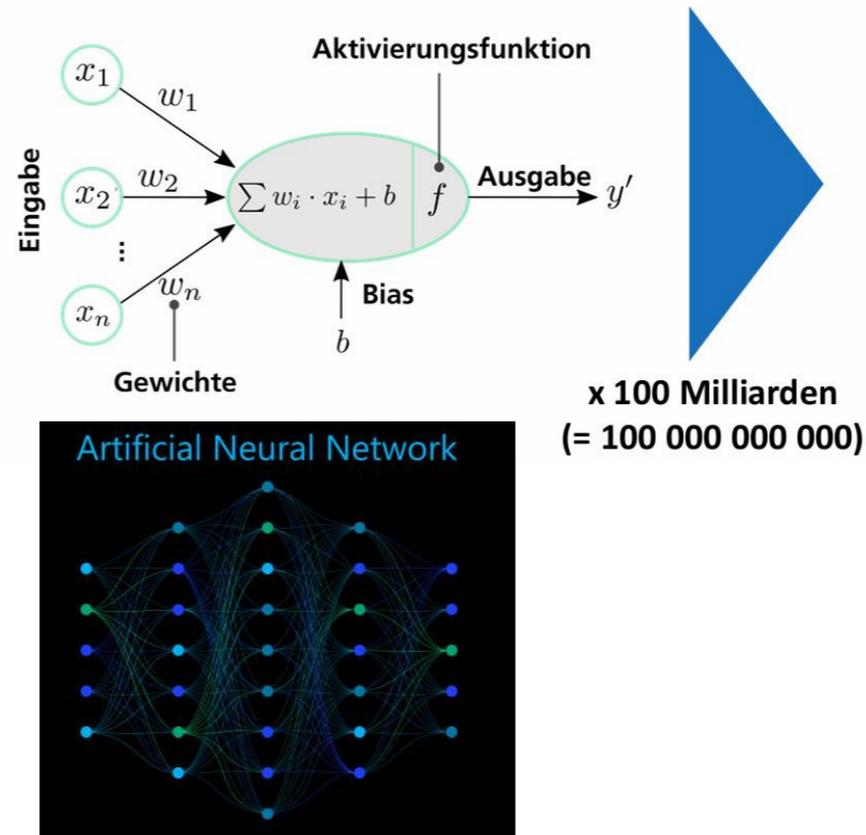
**KI** ist das **übergeordnete Element** aller darunterliegenden Teilmengen des maschinellen Lernens. Die **erste Teilmenge** umfasst **maschinelles Lernen**; darin **enthalten** ist **Deep Learning** und wiederum **darin befinden sich** die **Neuronalen Netze**.



# Was ist ein Neuronales Netz

Ein **künstliches neuronales Netzwerk** ist den **Neuronen in einem biologischen Gehirn nachempfunden**. Künstliche Neuronen werden **Knoten** genannt und sind in mehreren Schichten gruppiert, die parallel arbeiten. Wenn ein künstliches Neuron ein **numerisches Signal** empfängt, **verarbeitet es dieses** und **sendet Signale an die anderen** mit ihm verbundenen Neuronen. Wie im menschlichen Gehirn führt die **neuronale Verstärkung** zu einer **verbesserten Mustererkennung**, Fachkenntnis und allgemeinem Lernen.

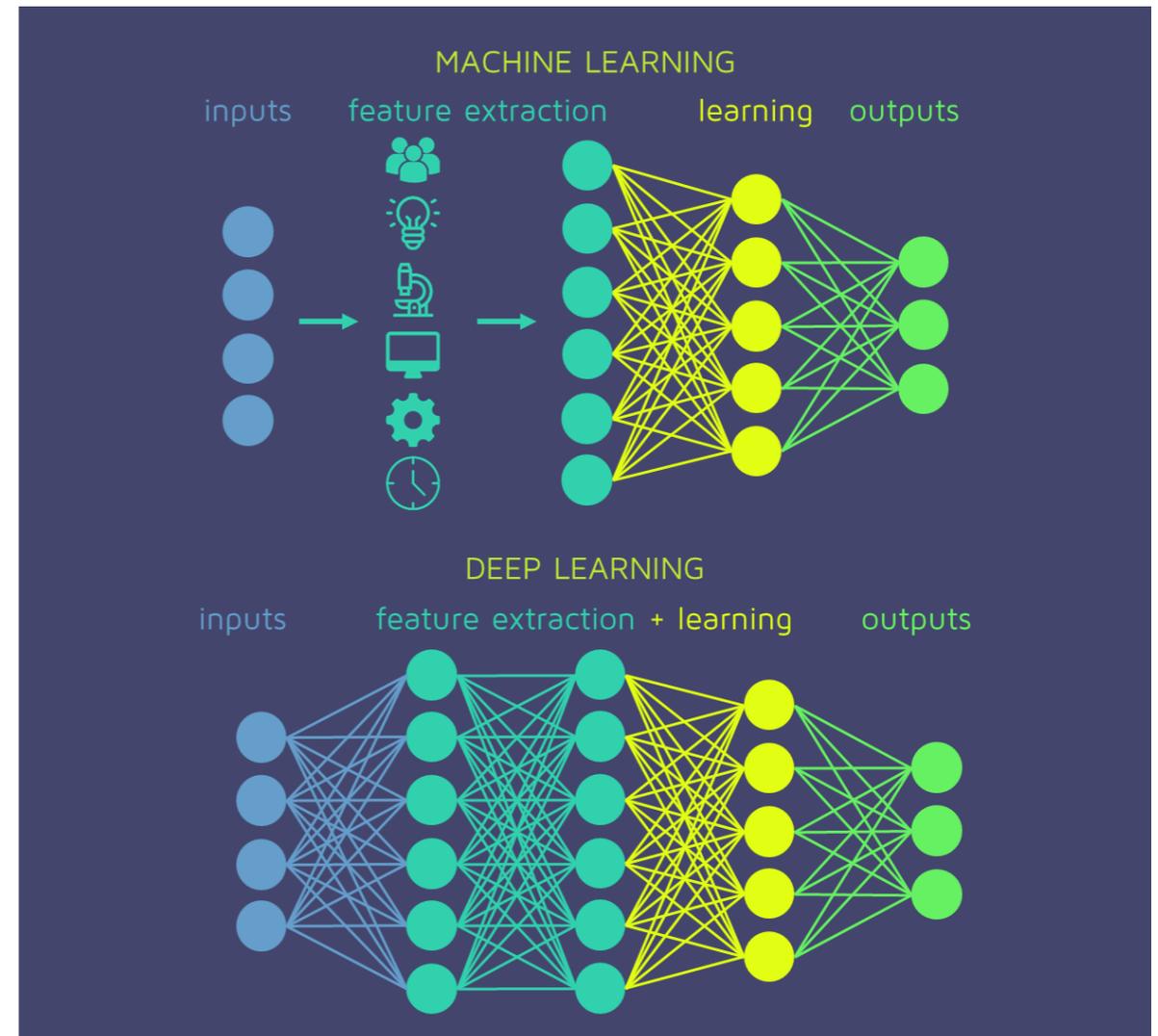
## Bottom-Up Approach



# Was ist Deep Learning?

Diese Art von maschinellem Lernen wird als „Deep“ (tief) bezeichnet, da sie **viele Schichten** des neuronalen Netzes und **riesige Mengen komplexer und unterschiedlicher Daten** umfasst. Um Deep Learning zu ermöglichen, arbeitet das System mit mehreren Schichten im Netz zusammen und **extrahiert zunehmend höherwertige Ausgaben**.

**Beispiele für Deep-Learning-Anwendungen** sind **Spracherkennung, Bildklassifizierung** und **pharmazeutische Analysen**.



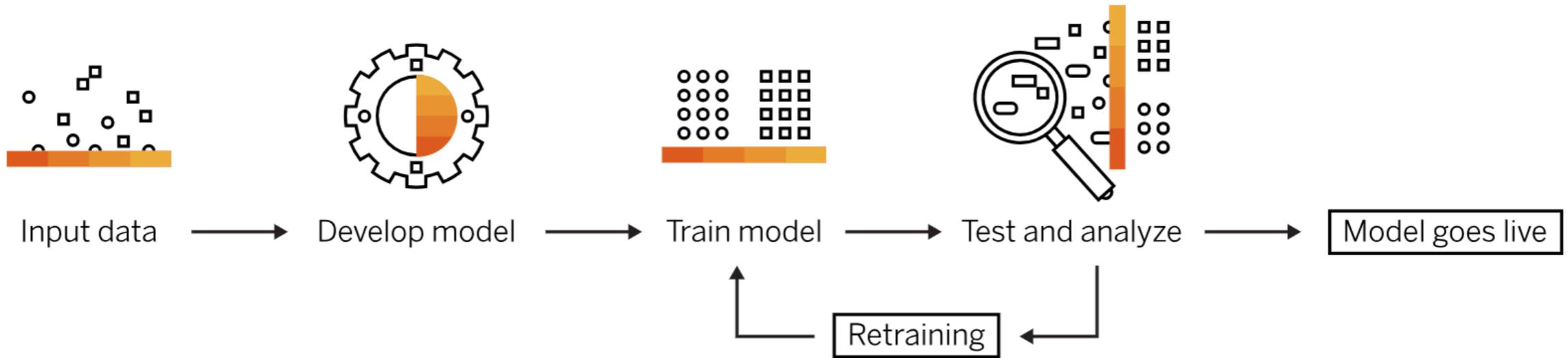
# Wie funktioniert Machine Learning?

**Machine Learning** besteht aus **mehreren Arten von maschinellen Lernmodellen**, die verschiedene algorithmische Techniken verwenden.

Abhängig von der **Art der Daten** und dem **gewünschten Ergebnis** kann eines von **vier Lernmodellen** genutzt werden: **überwacht**, **unüberwacht**, **teilüberwacht** oder **bestärkend**

Innerhalb jedes dieser Modelle können eine oder mehrere algorithmische Techniken angewendet werden – je nach den genutzten Datensätzen und den beabsichtigten Ergebnissen. Algorithmen des maschinellen Lernens sind grundsätzlich dafür ausgelegt, **Dinge zu klassifizieren, Muster zu finden, Ergebnisse vorherzusagen** und **fundierte Entscheidungen** zu treffen.

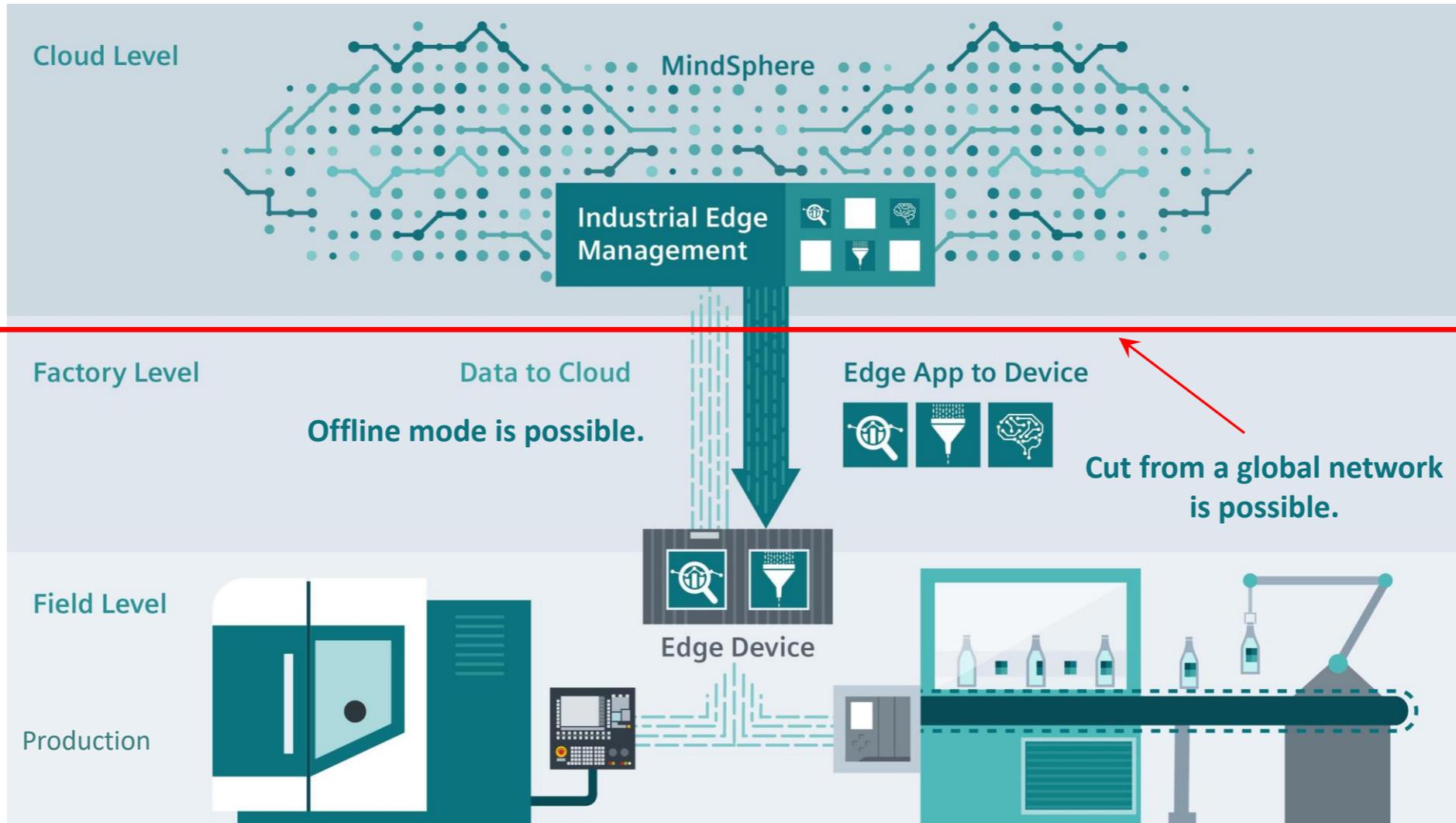
# Der Machine Learning Prozess im Überblick



# II.

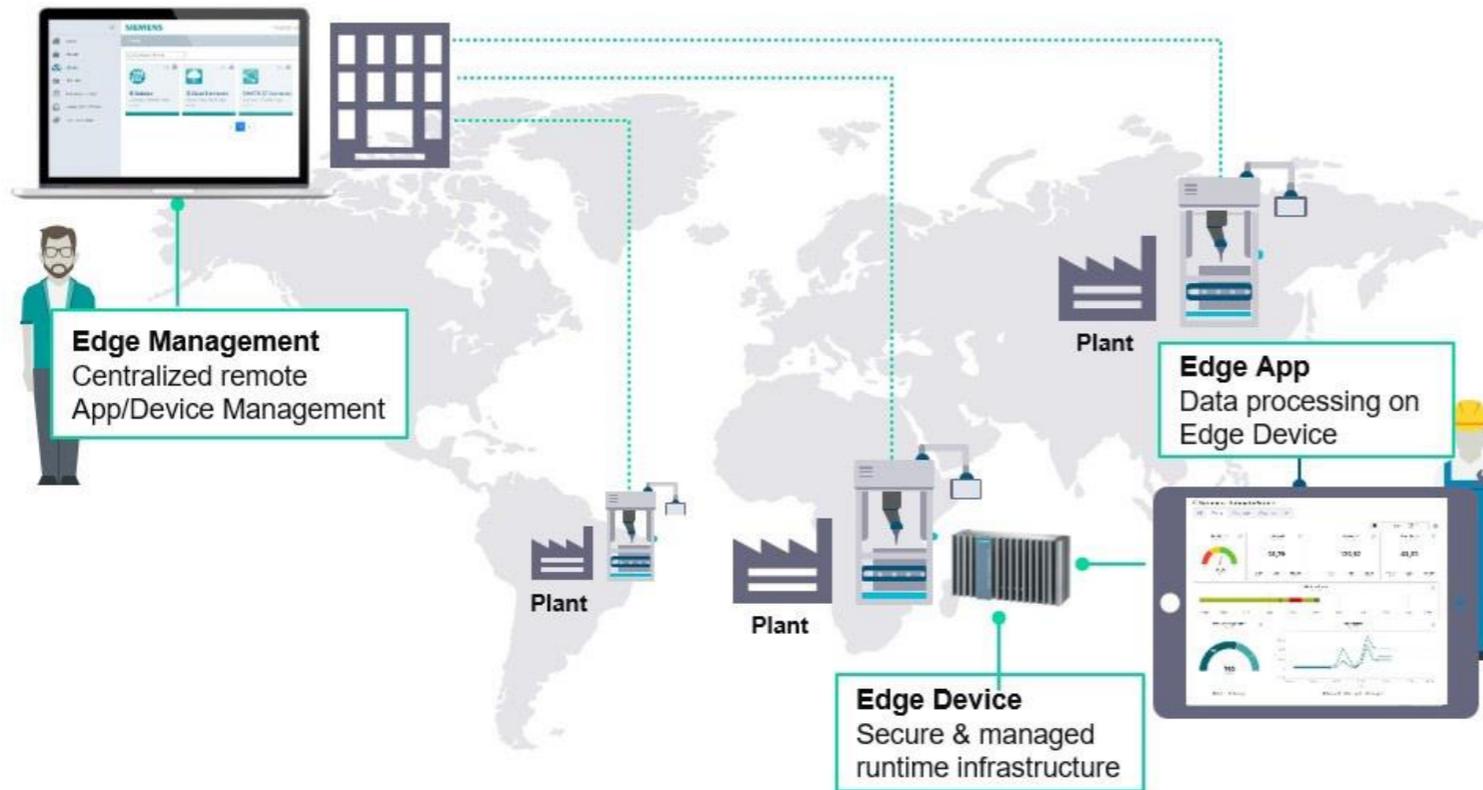
## Prozessoptimierung durch „Edge Computing“

# Architektur des Edge Computing



# Siemens Industrial Edge

## Industrial Edge Platform Operation



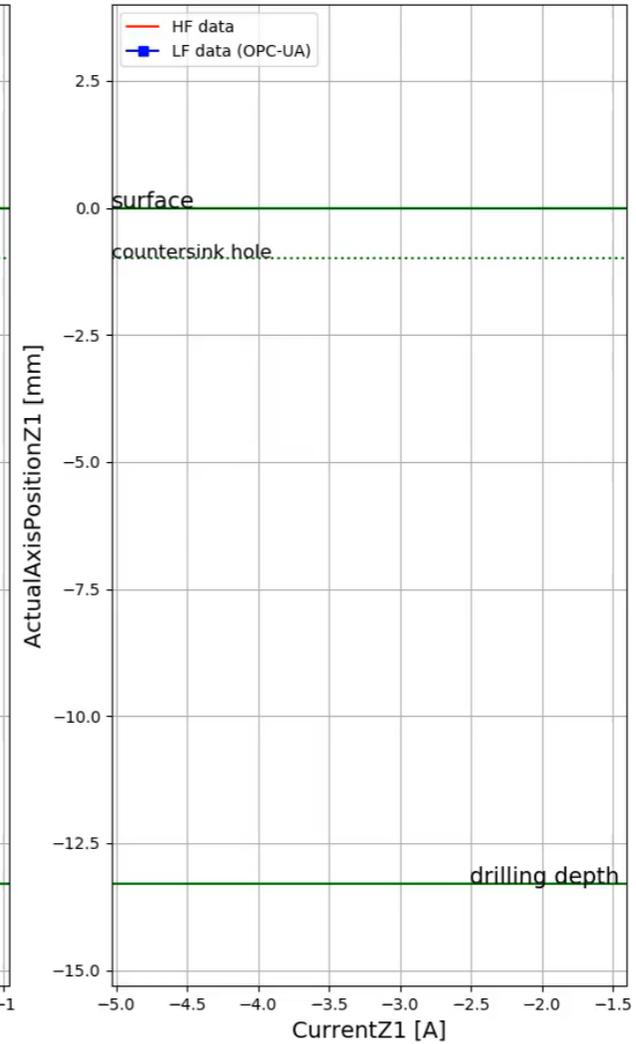
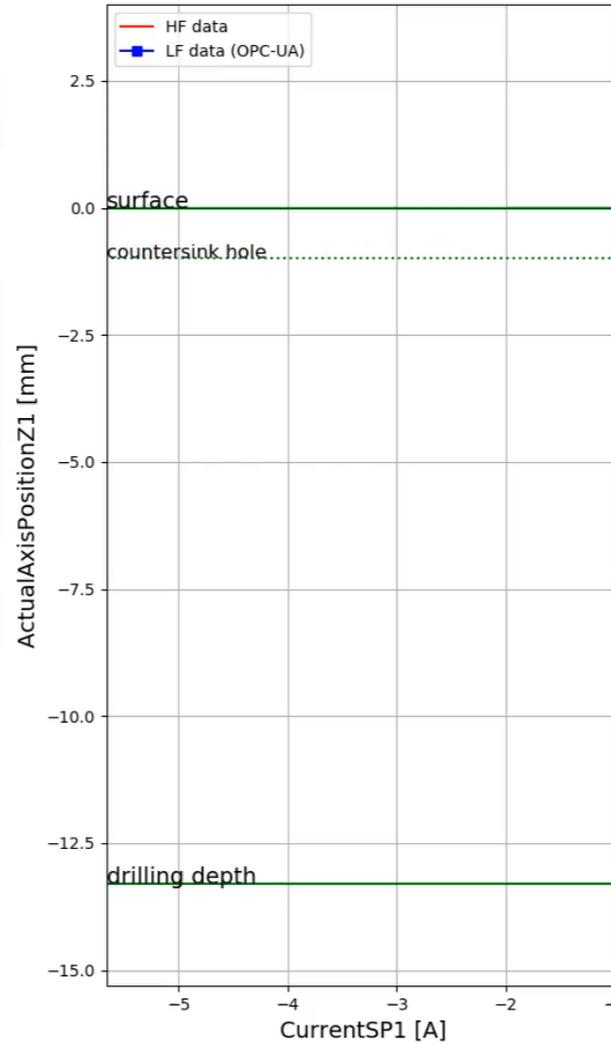
- **Digitales Ökosystem** aus Edge-Devices, Edge-Apps und Gerätemanagement-Infrastruktur
- **Verwendete App**  
*Analyze MyWorkpiece*  
*/Capture4Analysis*
- Aufzeichnung von Maschinendaten (Spindelmoment) mit einer **Frequenz von 500 Hz**

Quelle: Edge- und Fog-Computing im Internet of Things, Quelle: Chalapathi u. a. (2021), S. 295.

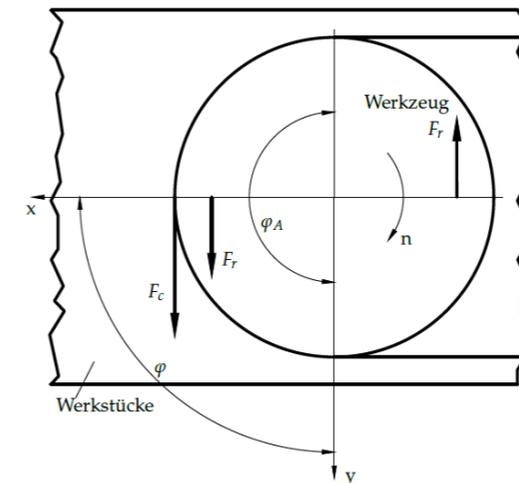
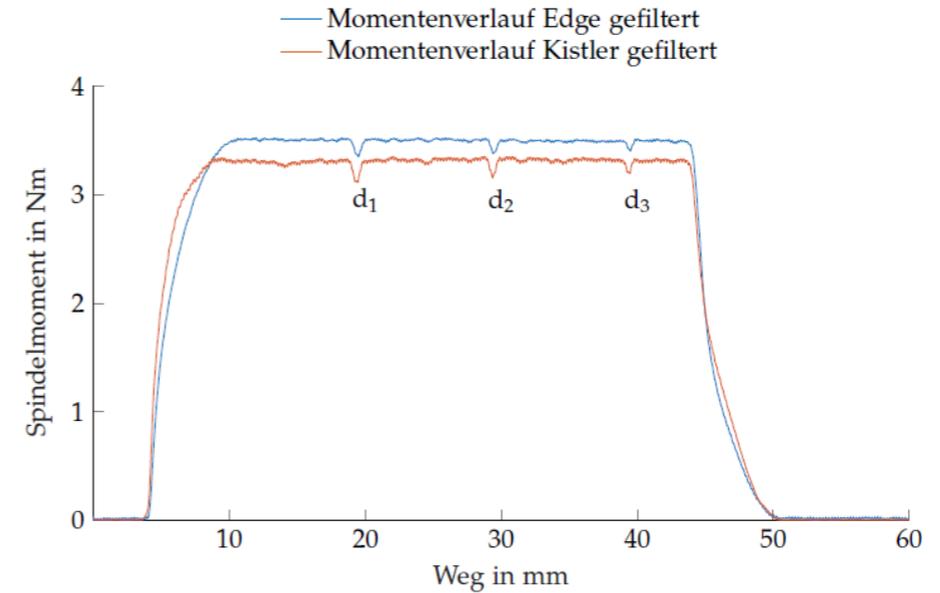
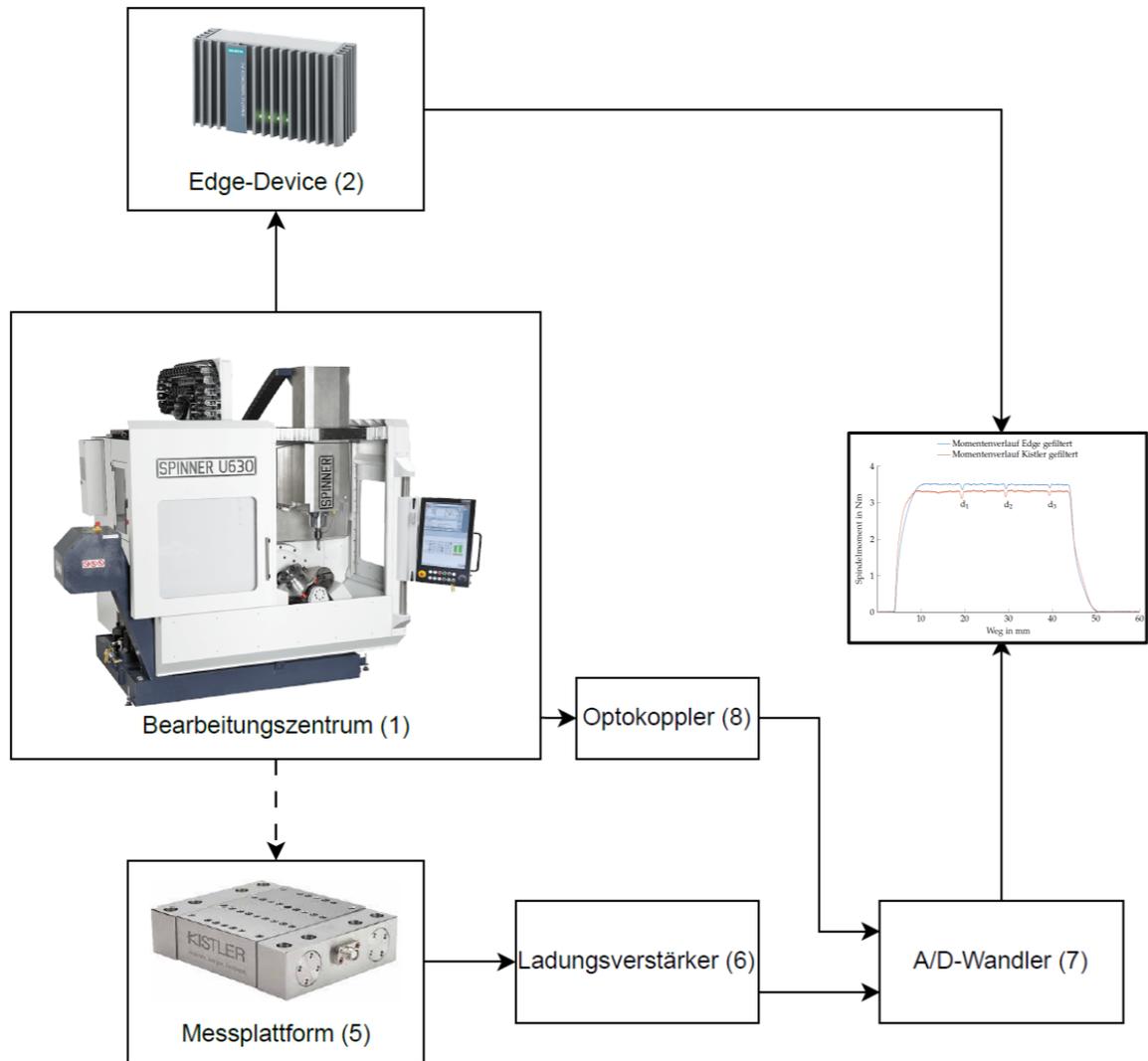
# Werkzeug-Verschleißdetektion (z.B. Bohren)



$n = 13300 \text{ min}^{-1}$   
 $f = 0,12 \text{ mm}$

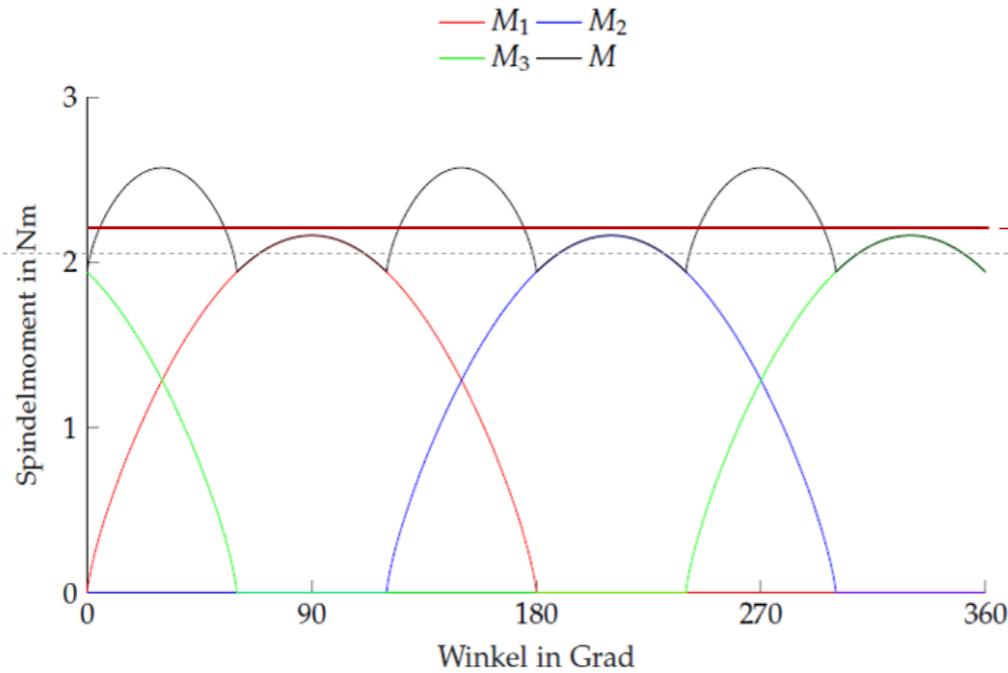


# Versuchsaufbau: Qualitätssicherung während der Bearbeitung

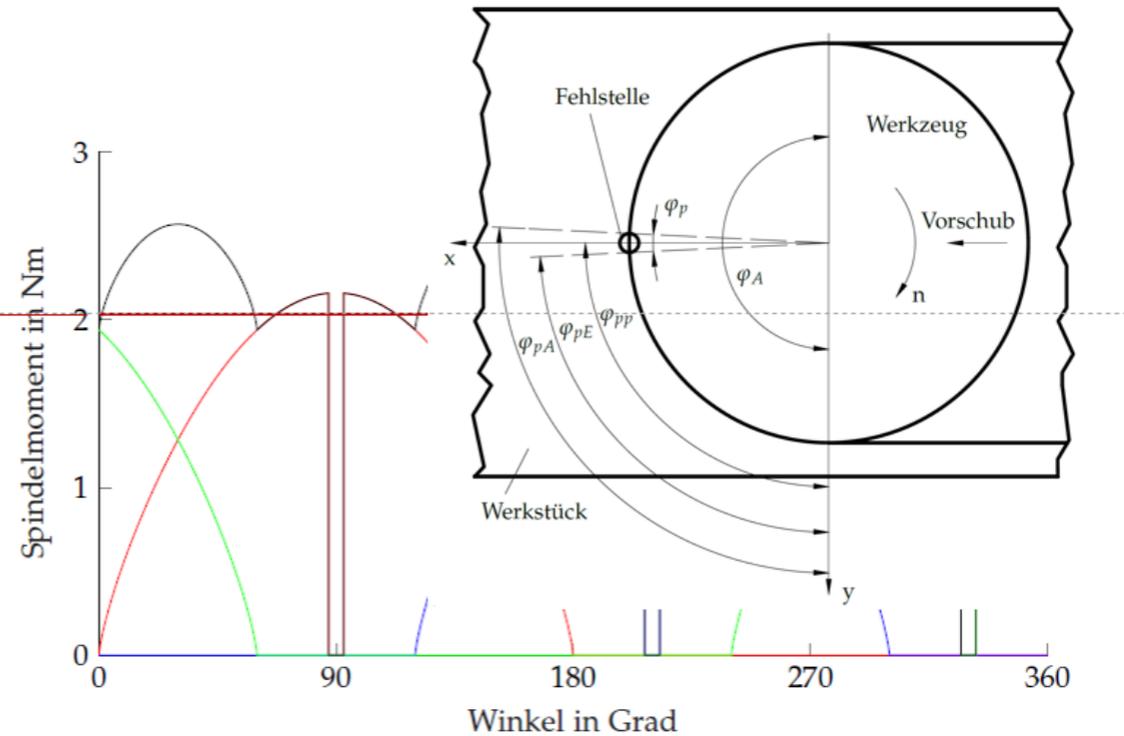


# Rechnerische Betrachtung der Porendetektion

$$F_c = z_{ie} k_{c1.1} b h(\varphi)^{1-m_c} K \quad M = \frac{D}{2} z_{ie} k_{c1.1} b h(\varphi)^{1-m_c} K$$

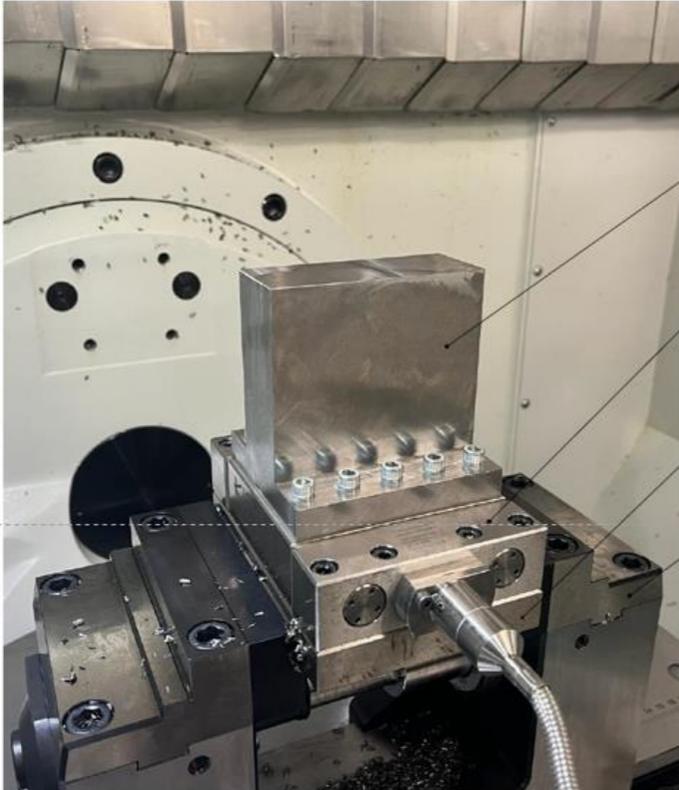


Spindel-Momentenverlauf ohne Pore (D = 10 mm, z = 3)  
Quelle: Mündler (2024)

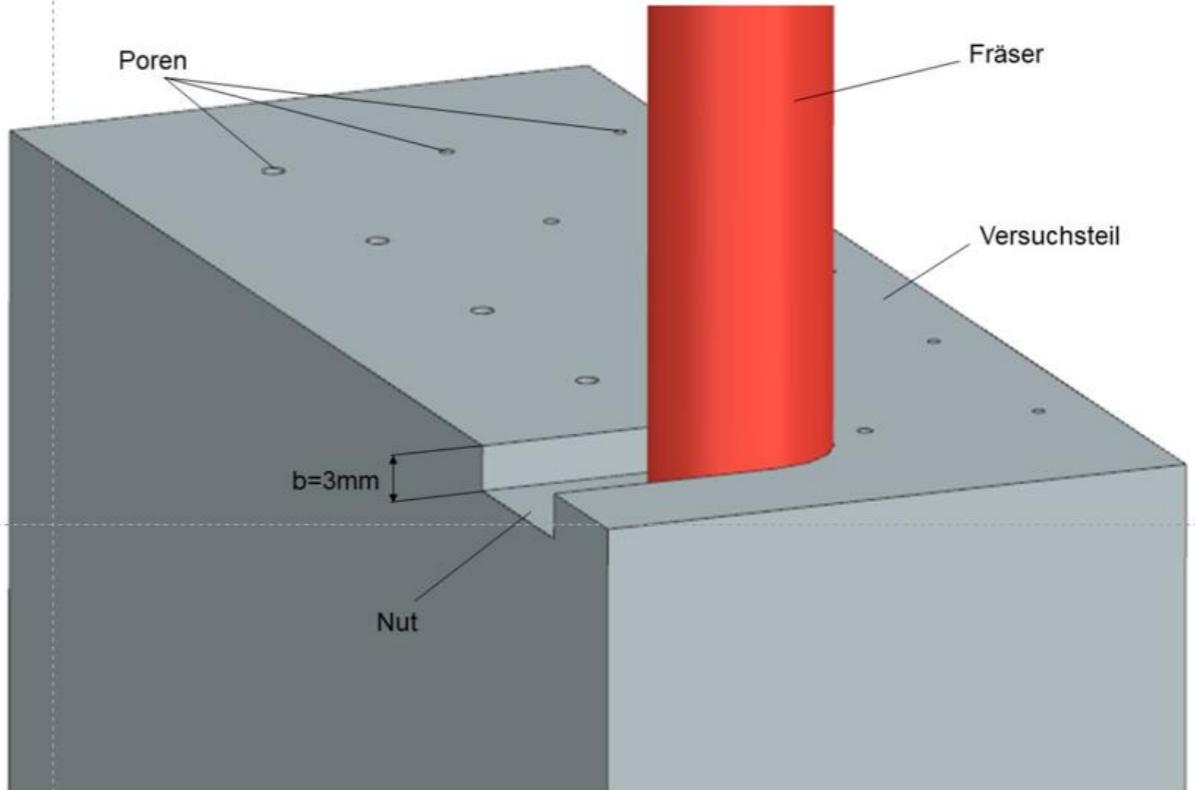


Spindel-Momentenverlauf ohne Pore (D = 10 mm, z = 3, d = 0.5 mm)  
Quelle: Mündler (2024)

# Berechnungsmodell als Basis für maschinelles Lernen



Versuchsteil  
Messplattform  
Befestigungsplattform  
Schraubstock



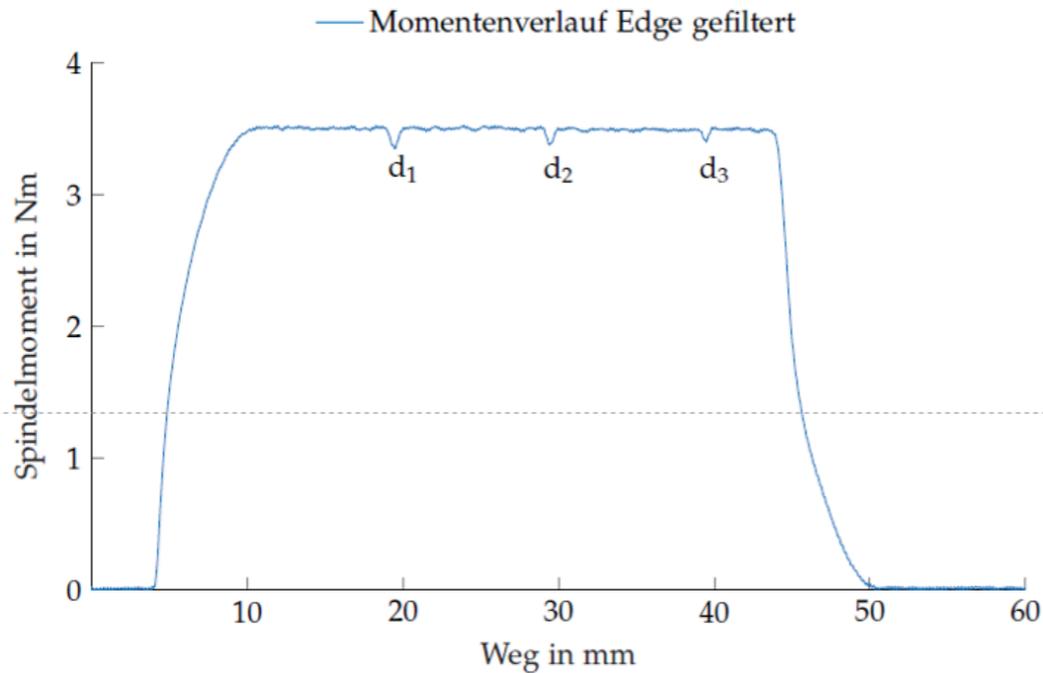
Versuchsaufbau Werkstückeebene, Quelle: Mündler (2024)

Werkstoff: X33CrS16

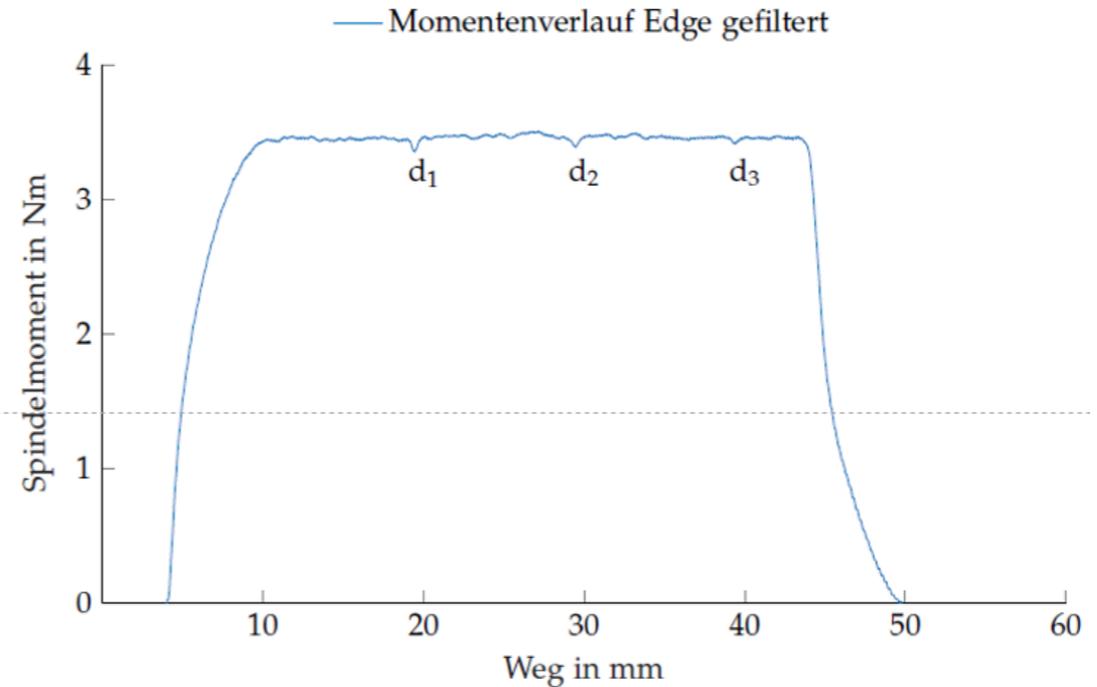
hohe spez.  
Schnittkraft

$$\Delta M = z \cdot k_{c1.1} \cdot b \cdot K \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot f_z^{1-m_c} \cdot d \cdot (c_2 \varphi_{pp}^2 + c_1 \varphi_{pp} + c_0)$$

# Drehmomentverläufe bei Poren



Spindel-Momentenverlauf eines Versuchs  
 ( $D = 12 \text{ mm}$ ,  $z = 4$ ,  $d_1 = 0.6 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 0.5 \text{ mm}$ ,  $d_3 = 0.4 \text{ mm}$ )

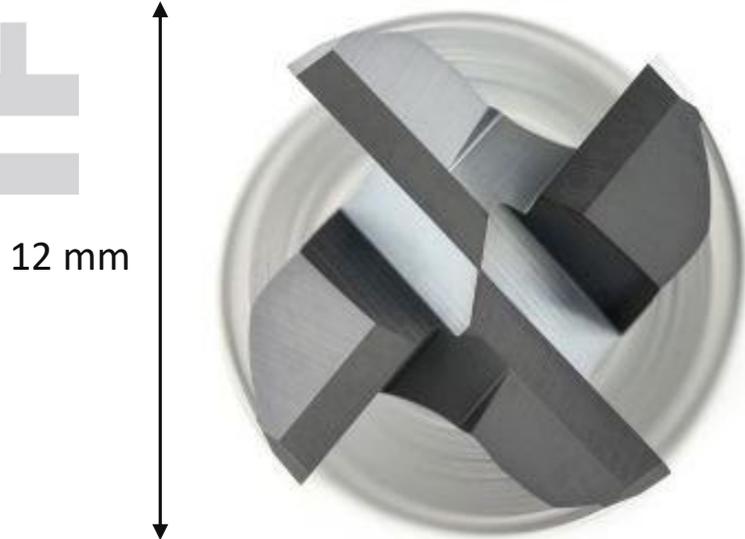


Spindel-Momentenverlauf eines Versuchs  
 ( $D = 12 \text{ mm}$ ,  $z = 4$ ,  $d_1 = 0.35 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 0.3 \text{ mm}$ ,  $d_3 = 0.2 \text{ mm}$ )



Kleinste detektierbare Pore:  $d \approx 0,2 \text{ mm}$

# Qualität produzieren und gleichzeitig prüfen – “Edge Computing”



12 mm

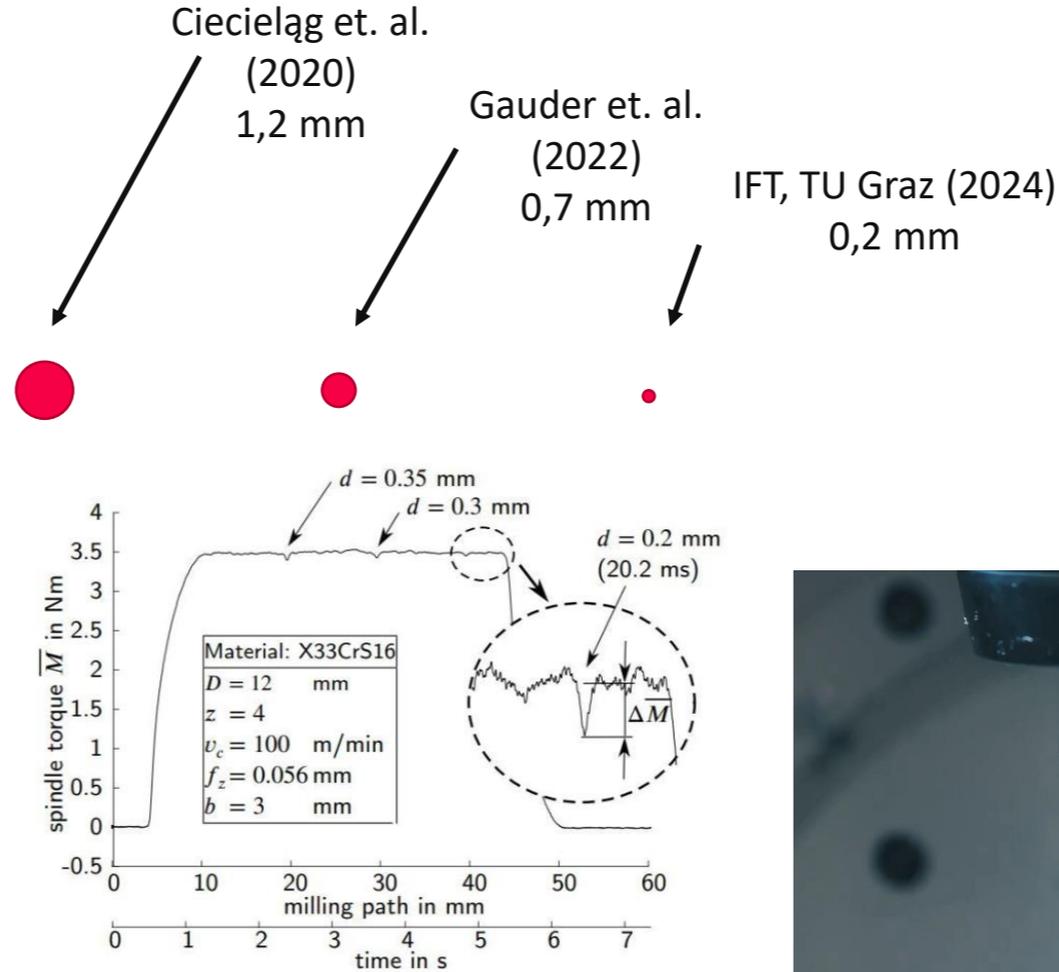


Fig. 4. Spindle torque  $\bar{M}$  during groove milling with small material defects (air pores) diameters  $d$  at the milling path positions 20 mm, 30 mm, and 40 mm. In this setting,  $d_{min} = 0.2$  mm air pores are the limit for being robustly detected.



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)  
 ScienceDirect  
 Procedia CIRP 00 (2024) 000–000



[www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia)

18th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering  
 Exploring the edge of the edge: Utilization of available CNC machine data for material defect detection  
 Markus Brillinger<sup>a,\*</sup>, Josef Mündler<sup>b</sup>, Jörg Edler<sup>b</sup>, Michael Heiss<sup>c</sup>, Franz Haas<sup>b</sup>  
<sup>a</sup>ProFuture GmbH - Area 4.2 Cognitive Production Systems, Inbeldgasse 25F, Graz 8010, Styria, Austria  
<sup>b</sup>Institute of Production Engineering, Graz University of Technology, Inpstrasse 24, Graz 8010, Styria, Austria  
<sup>c</sup>Siemens AG Österreich, Digital Industries, Digital Enterprise, Siemensstraße 90, Vienna 1210, Vienna, Austria  
 \* Corresponding author. Tel.: +43 664 1507593. E-mail address: markus.brillinger@profuture.at

**Abstract**  
 Moving towards sustainable production, zero-defect manufacturing plays an important role. Achieving this, the identification of material defects during machining is a decisive factor. This paper introduces an innovation through a theoretical model for the smallest detectable material defect in machining, solely based on machine data from the existing numerical controller, eliminating the need for external sensors. The verified model correlates the material defect size with spindle torque changes (affected by tool-, material-, machine-, and machining parameters) and demonstrates the identification of 0.2mm defects compared to 0.7mm in the literature as a remarkable contribution to zero-defect manufacturing.  
 © 2024 The Authors. Published by ELSEVIER B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)  
 Peer-review under responsibility of the scientific committee of the 18th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 10-12 July, Gulf of Naples, Italy  
 Keywords: Material defect detection; Edge computing; Virtual sensor; Zero-defect manufacturing; CNC machine data



# III.

## Maschinelles Lernen und „KI“ in der Produktion „niederschwellig“ nutzen

# Maschinelles Lernen in der Bildverarbeitung

## Effizienz und Präzision steigern

Einsatz datengesteuerter Modelle zur Vereinfachung komplexer Problemstellungen und zur Optimierung von Produktionsprozessen.

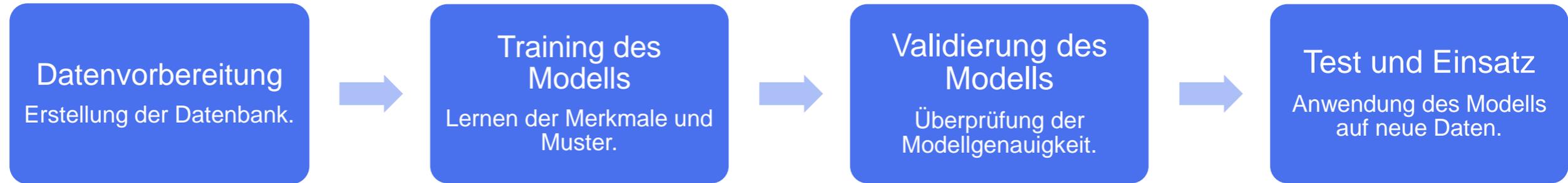
## Erweiterte Fähigkeiten

Ermöglichung prädiktiver Wartung und verbesserte Qualitätskontrolle durch Erkennungs- und Klassifizierungssysteme.

## Adaptive Systeme

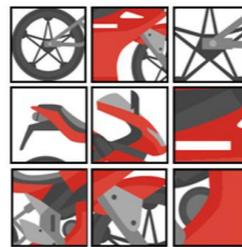
Lernfähige Algorithmen, die für eine Vielzahl von Anwendungen, von der einfachen Qualitätskontrolle bis zu automatisierten Fertigungsprozessen, adaptiert werden können.

# Funktionsweise des Machine Learning Systems



- Objects
- + Kapsel
- + Lego
- + Maus
- + Sponge
- + Testfotos

Datenstruktur, Quelle: IFT

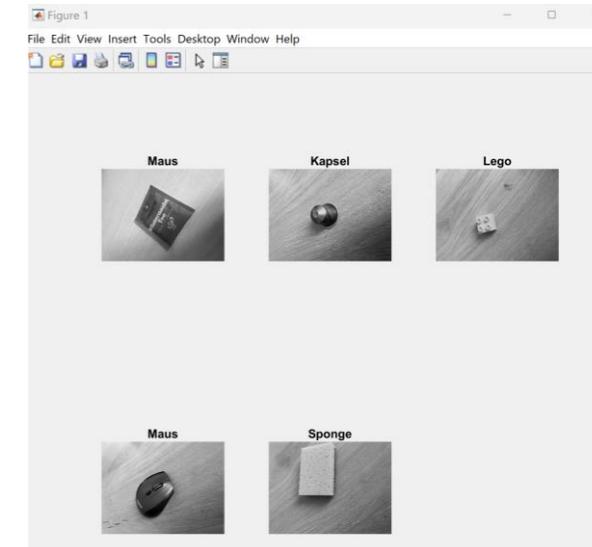


Merkmalsextraktion, Quelle: In Anlehnung an [www.educative.io](http://www.educative.io)

Model 2

True Class	Kapsel	115		1	
	Lego		101		
	Maus	2	1	105	
	Sponge			1	101
	Predicted Class	Kapsel	Lego	Maus	Sponge

Konfusionsmatrix, Quelle: IFT



Ergebnisse, Quelle: IFT

# Programmstruktur

- **Koordiniertes Zusammenspiel:** Das Trainingskript bereitet die Daten vor, das Testskript evaluiert.
- **Zugängliche Technologie für Ingenieur:innen:** Moderne Tools und Plattformen wie MATLAB machen die Modellerstellung und -anwendung für Interessierte ohne tiefere Programmierkenntnisse zugänglich.

```

1 %% Object Identification - Training Phase
2 % Set base directory
3 baseDir = pwd; % or specify your base directory like 'C:\Users\MM\Desktop\Bilderkennung'
4
5 %% Load image data
6 imset = imageSet(fullfile(baseDir, 'Objects'), 'recursive');
7
8 %% Pre-process Training Data: *Feature Extraction*
9 % Requires: Computer Vision System Toolbox
10
11 % Create a bag-of-features from the Object image database
12 bag = bagOfFeatures(imset, 'VocabularySize', 170, 'PointSelection', 'Detector');
13
14 %% Encode the images as new features
15 imagefeatures = encode(bag, imset);
16
17 %% Create a Table using the encoded features
18 Objects = array2table(imagefeatures);
19 Objects.ObjectType = getImageLabels(imset);
20
21 %% Train a classifier
22 classificationLearner;
23
24 % Note: After training the classifier, you should manually save it to a file named 'trainedClassifier.mat'
25 % This process is interactive and requires user input to complete the training and saving.
26
27 %%
28 % Save the Bag-of-Features model
29 save(fullfile(baseDir, 'bag.mat'), 'bag');
30

```

**Object\_Identification**

MATLAB Skript für das Training, Quelle: IFT

```

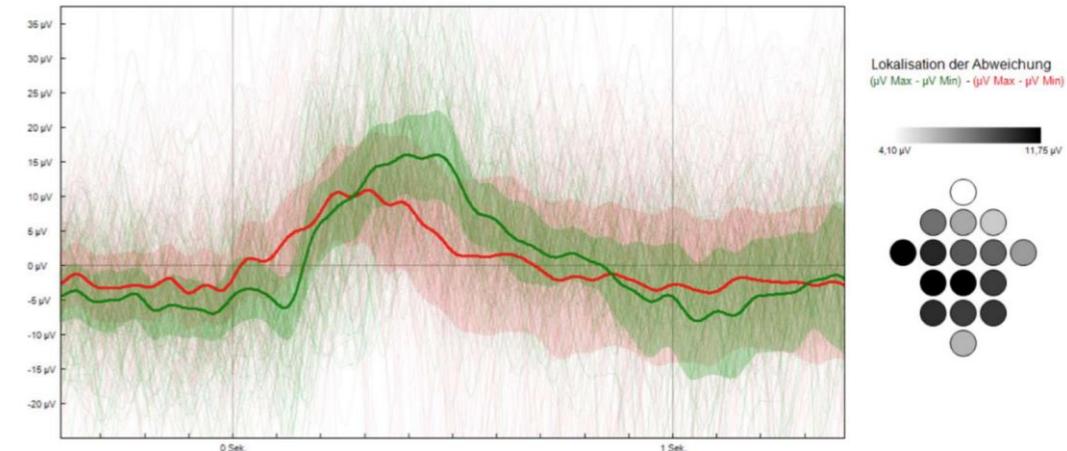
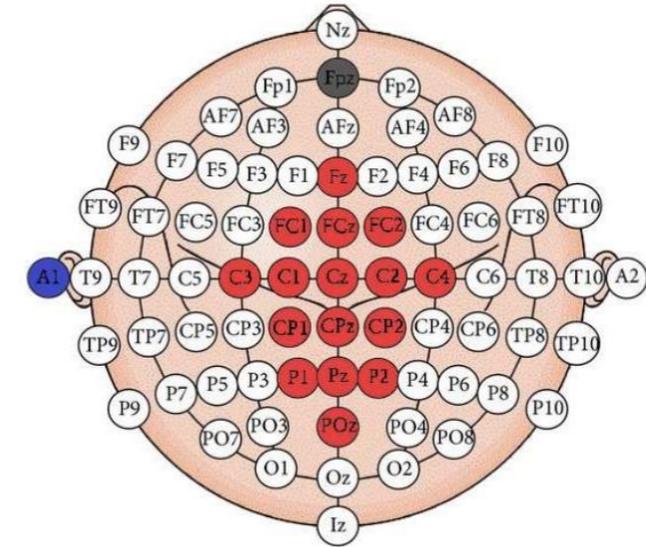
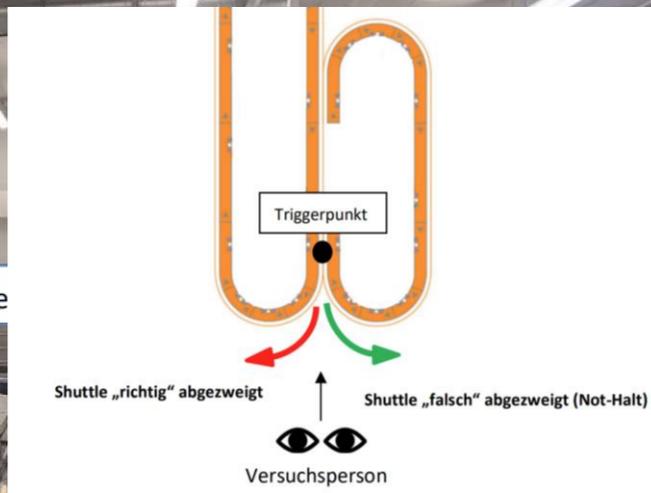
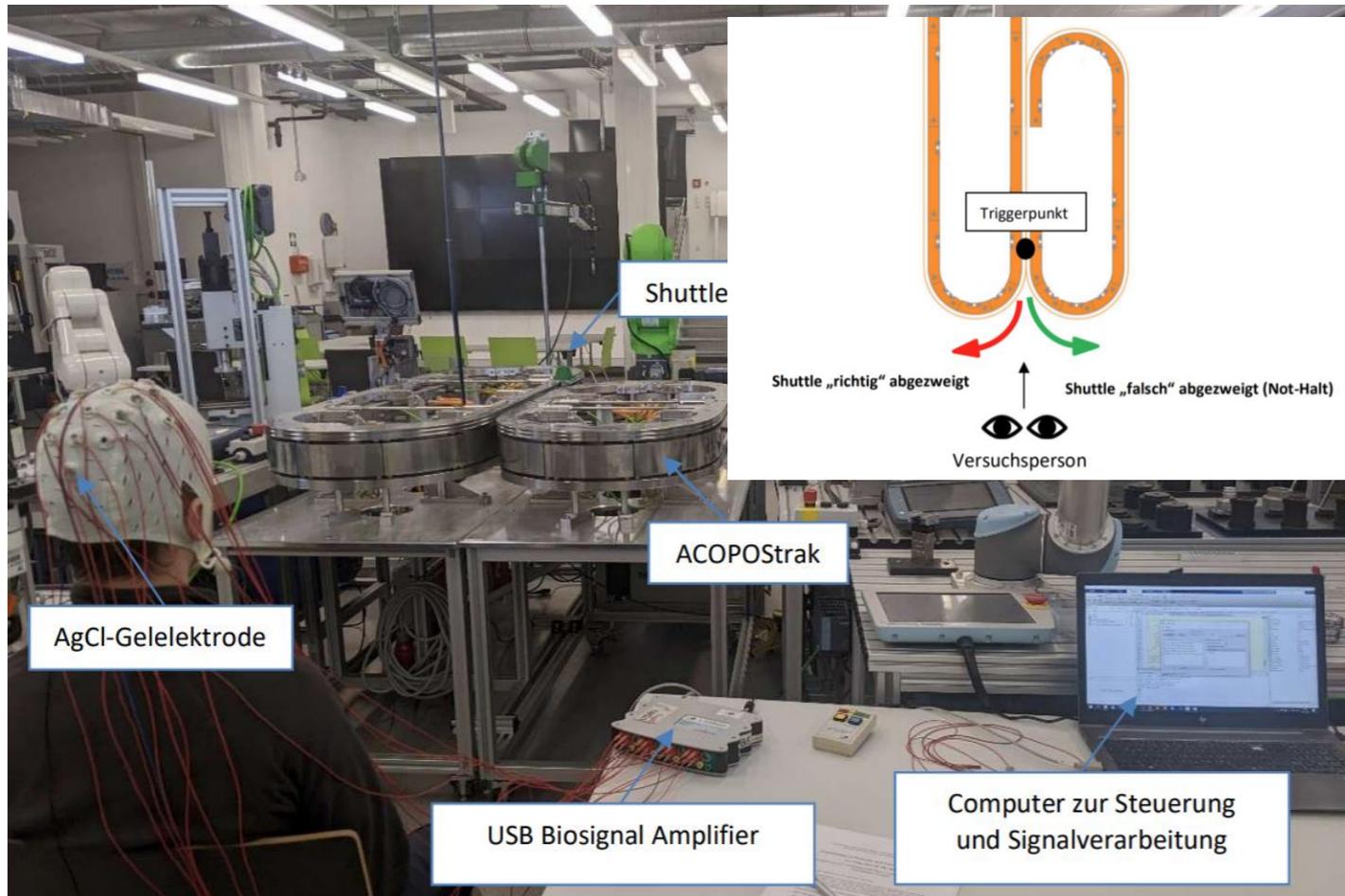
1 %% Object Identification - Testing Phase
2
3 % Set the base directory
4 baseDir = pwd; % Use the current directory or set it manually if needed
5
6 %% Load the trained classifier and bag of features
7 load(fullfile(baseDir, 'trainedClassifier.mat'));
8 load(fullfile(baseDir, 'bag.mat'));
9
10 %% Specify the folder containing test images
11 testImageFolder = fullfile(baseDir, 'Testfotos'); % Relative path to test images
12
13 %% Read all image files from the folder
14 imageFiles = dir(fullfile(testImageFolder, '*.jpg')); % Assumes JPEG images
15 imageFiles = [imageFiles; dir(fullfile(testImageFolder, '*.png'))]; % Includes PNG images if needed
16
17 %% Prepare the figure for subplotting
18 figure;
19 numImages = length(imageFiles);
20 numCols = ceil(sqrt(numImages));
21 numRows = ceil(numImages / numCols);
22
23 %% Perform object detection on each image in the folder
24 for i = 1:numImages
25     testImagePath = fullfile(testImageFolder, imageFiles(i).name);
26     fprintf('Processing image: %s\n', testImagePath);
27     ObjectFinderOnImage(trainedClassifier, bag, testImagePath, i, numRows, numCols);
28 end
29

```

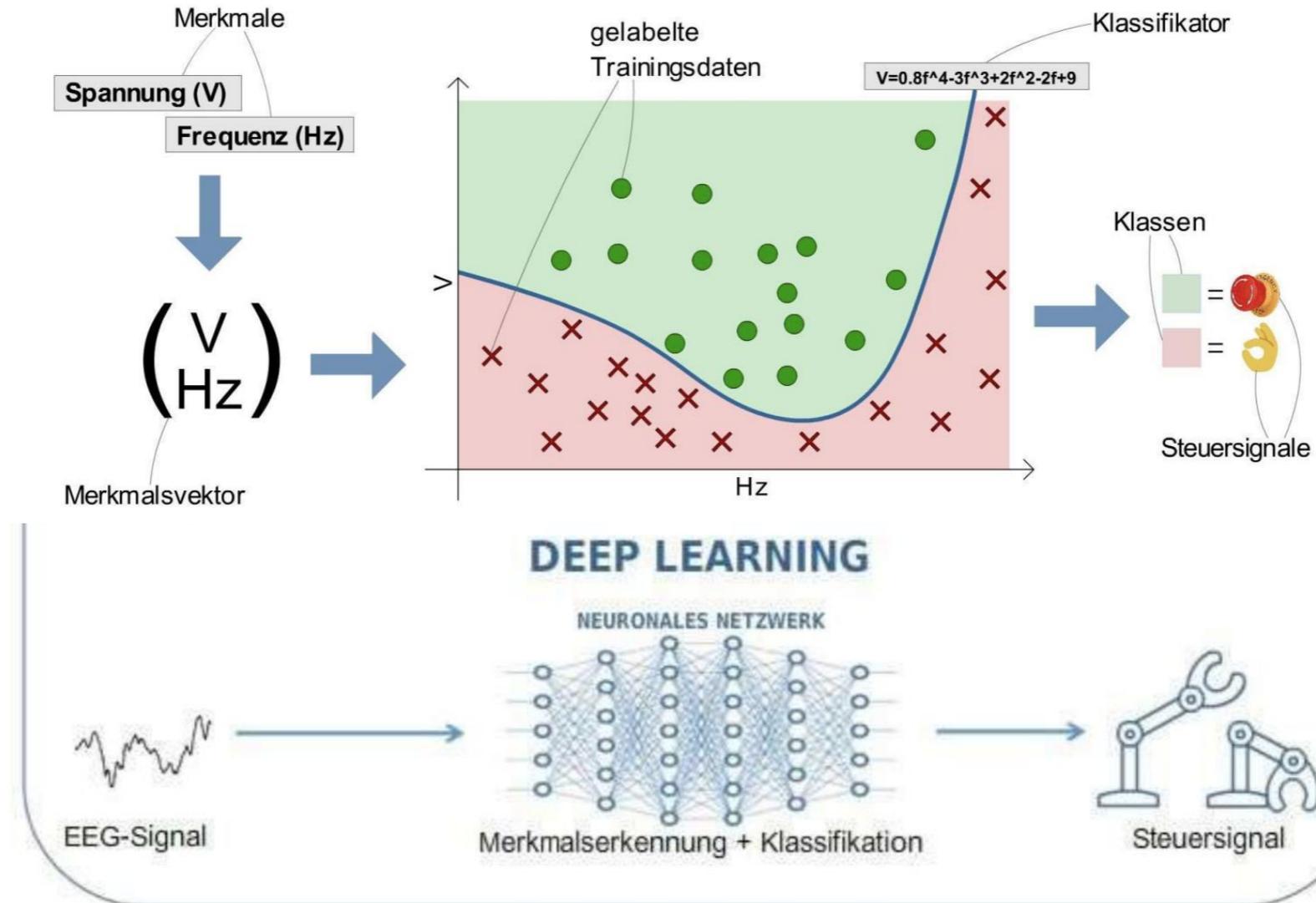
**Object\_Testing**

MATLAB Skript für das Testen, Quelle: IFT

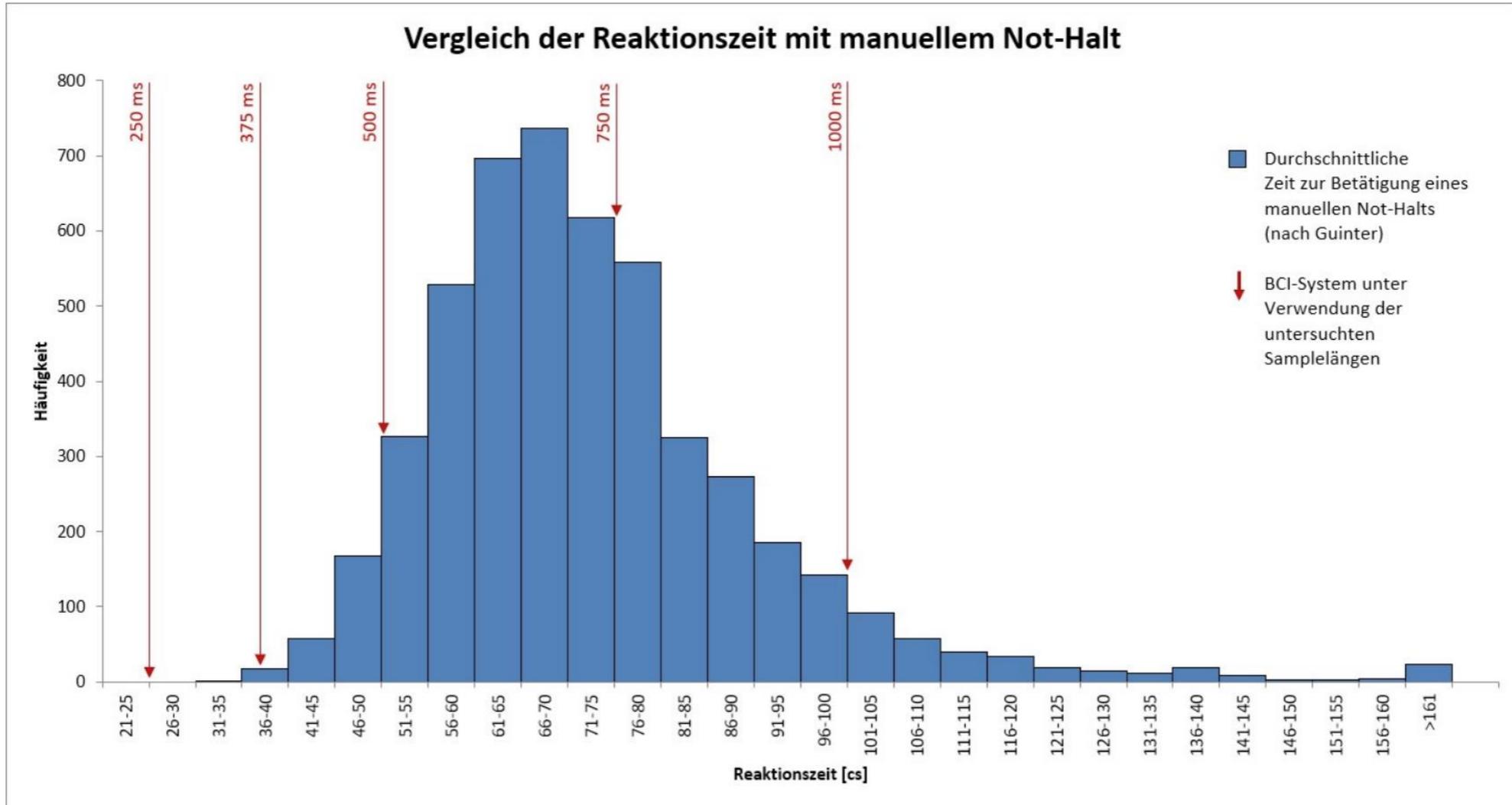
# Brain Computing Machine Interface (New Emergency Stop)



# Wie funktioniert Deep Learning?



# Vergleich Brain-Computing-Interface zu konv. NOT-HALT



# IV.

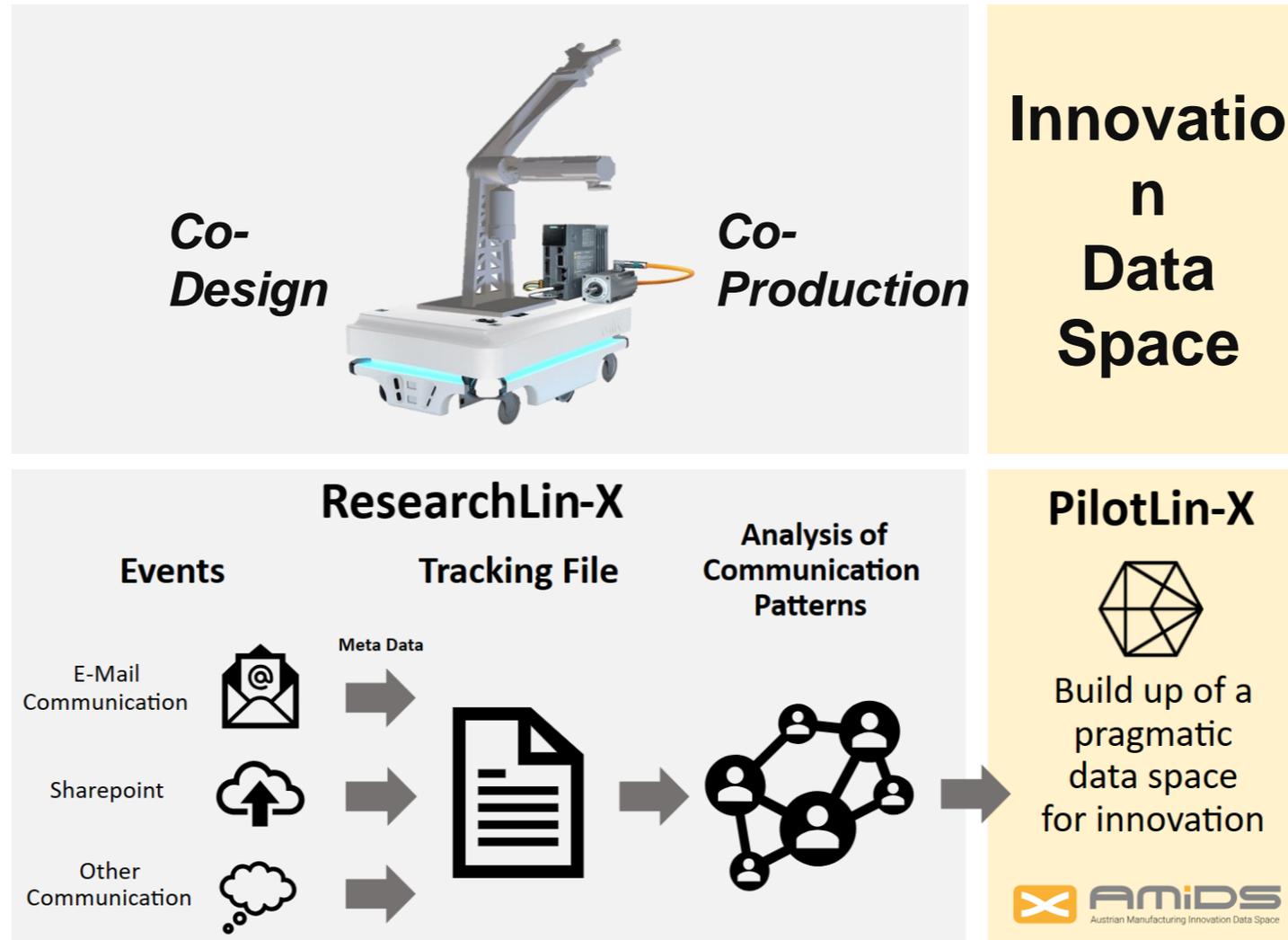
## **Sichere Datenräume schaffen und Kooperationen aufbauen**

# Datenräume nutzen – „Austrian Manufacturing Data Space“

- AMIDS als österreichischer Datenraum
- KI mit Daten versorgen ohne die Datensouveränität zu verlieren.
- Datenmenge eines KMUs im Vergleich sehr klein.
- Beispiele: Co-Design, Co-Production, Energie-Management



# ResearchLin-X and PilotLin-X



V.

# KI und Robotik / Automation

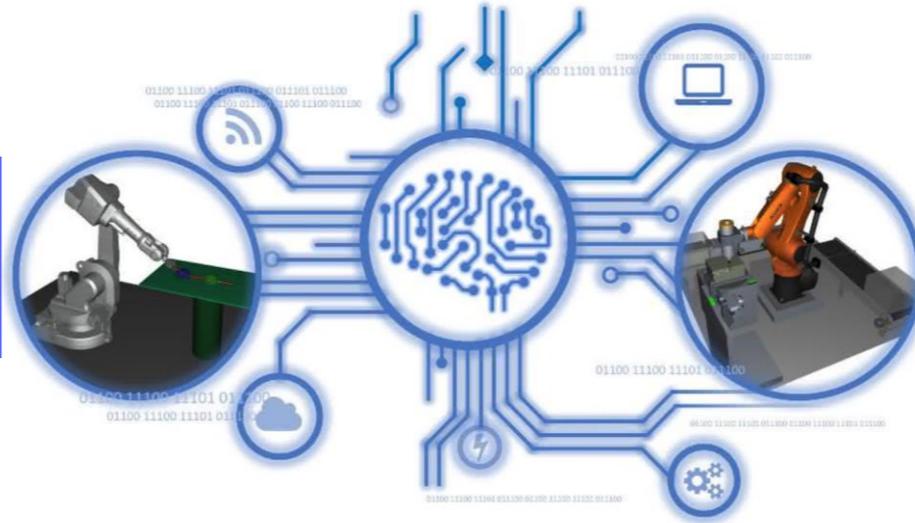
# Agile Produktion



# Robotics & Artificial Intelligence



Programmierung via Spracheingabe

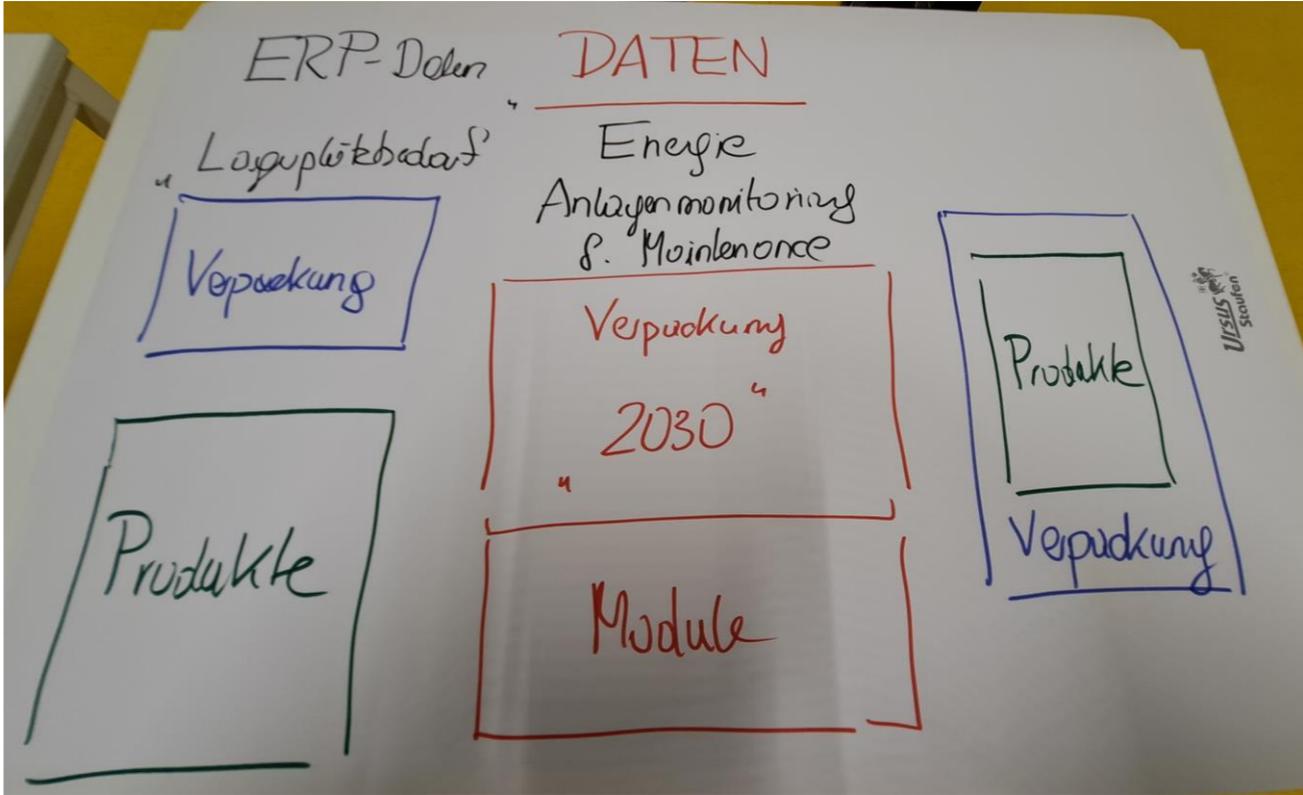
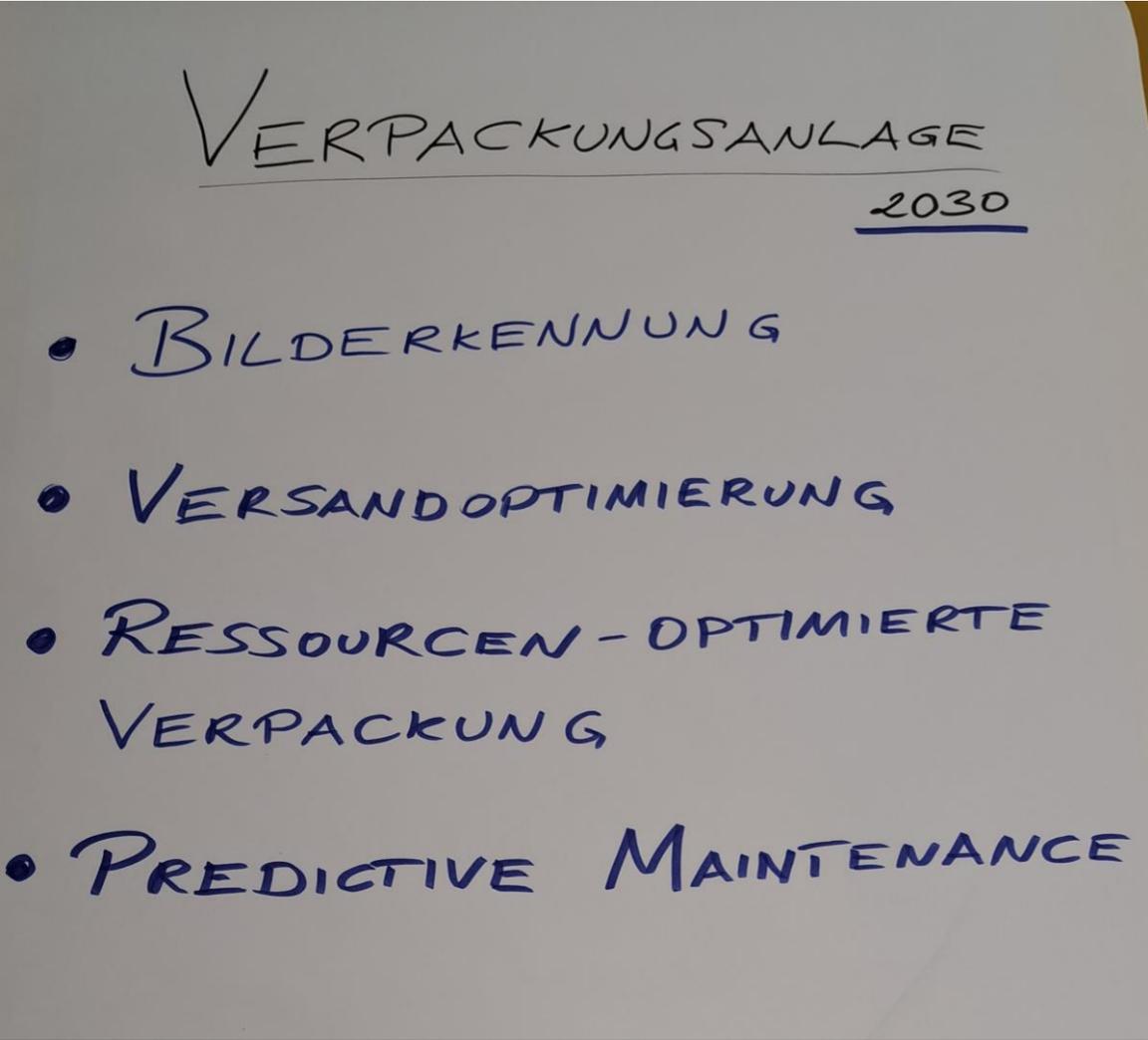


Erkennen der Umgebung

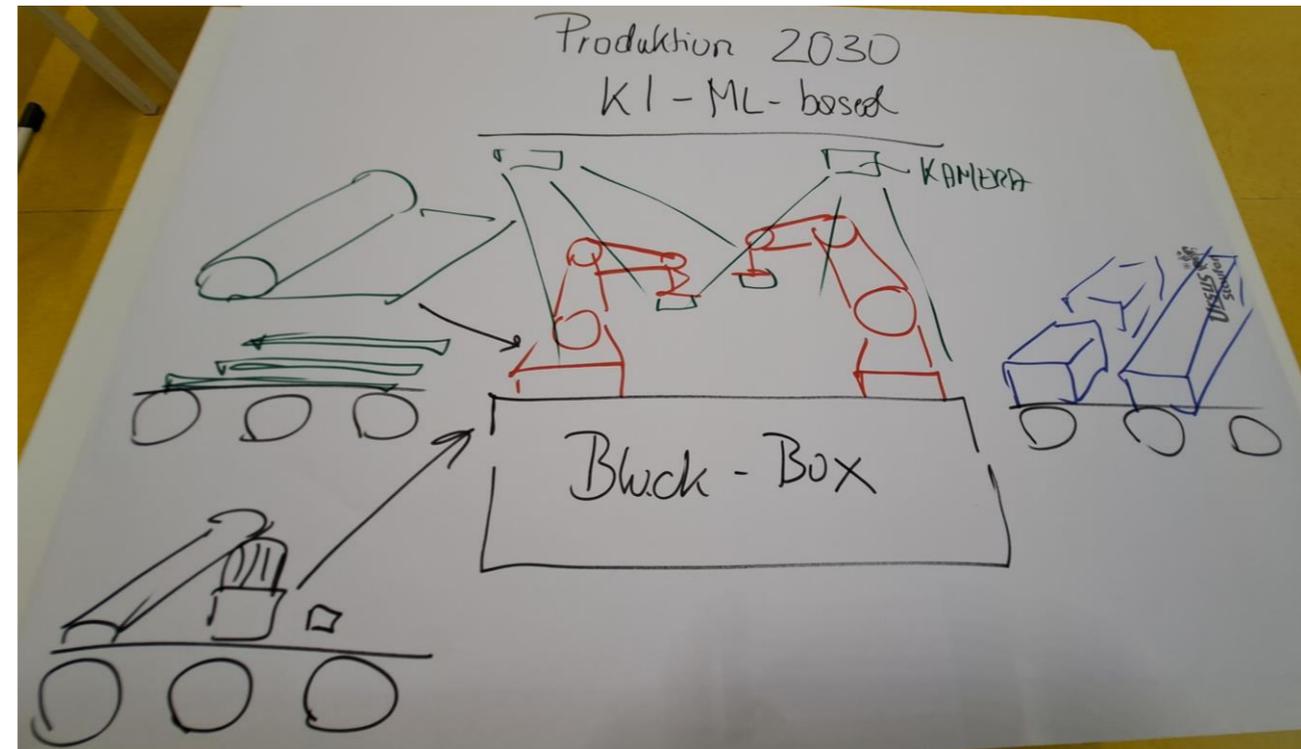
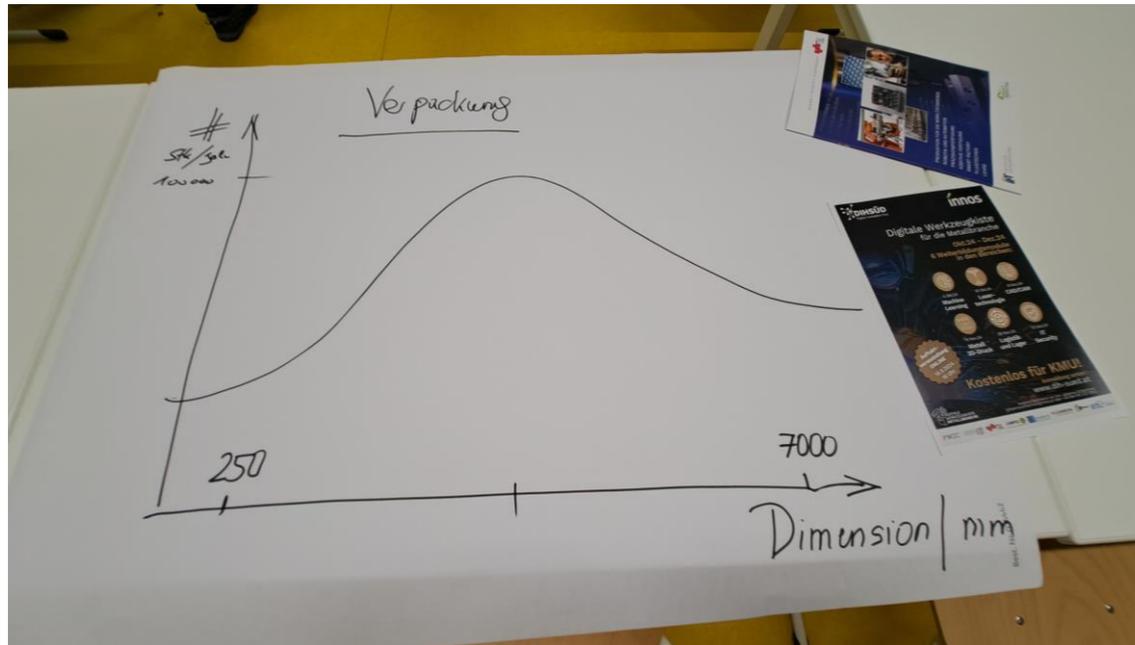
# VI.

## Gruppenarbeit / Gruppenfotos

# Gruppenarbeit – Verpackungsanlage 2030



# Losgrößen-Distributionsverteilung der Pakete Produktionslayout



# Erinnerungsfotos



# DIGITALE WERKZEUGKISTE FÜR DIE METALLBRANCHE

## Modul 1: Machine Learning

---

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas

DER DIGITAL INNOVATION HUB SÜD ALS  
KOSTENLOSES SERVICE FÜR KMU

