

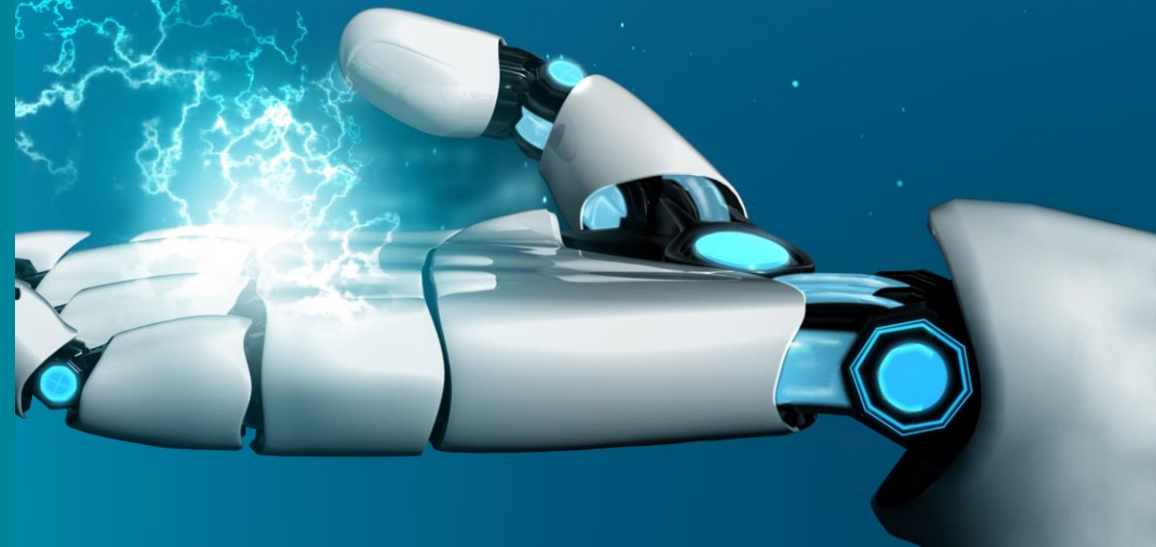


microtec nord 2022  
Intelligente Systeme – Lernfähige Hard- und Software

---

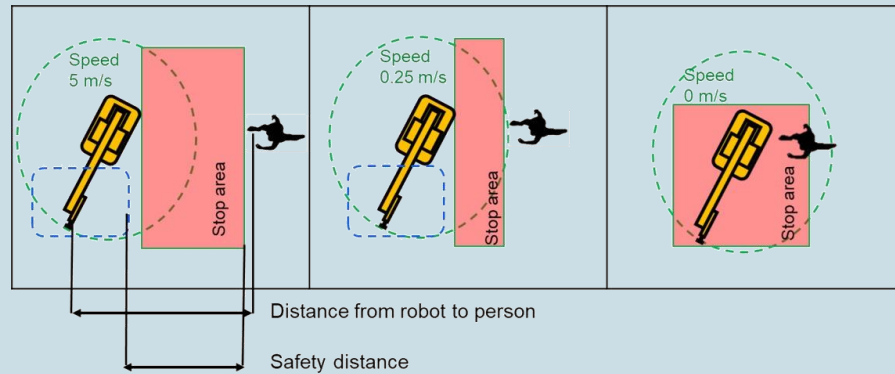
NeurOSmart - Analoge neuromorphe  
Beschleuniger, die effiziente und sichere  
Smart-Sensoren ermöglichen

Dr. Michael Mensing, Fraunhofer ISIT



# Mikro- und Makroskopische Herausforderungen

## Spezifisches Anwendungsproblem



- Mensch-Roboter-Kollaboration in Industrieumgebungen muss sicher aber auch effizient sein
- Energieverbrauch für Sensordatenverarbeitung der Sicherheitssysteme  $\sim 3\text{kW}$
- Statische Sicherheitszonen erhöhen den Platzbedarf und reduzieren die Robotergeschwindigkeit

## Skalierbare Autonomie mit energieeffizienten Sensoren

- Anzahl der Sensoren steigt mit zunehmender Autonomie
- Datenströme sind komplex und divers



# Mikro- und Makroskopische Herausforderungen

## Spezifisches Anwendungsproblem



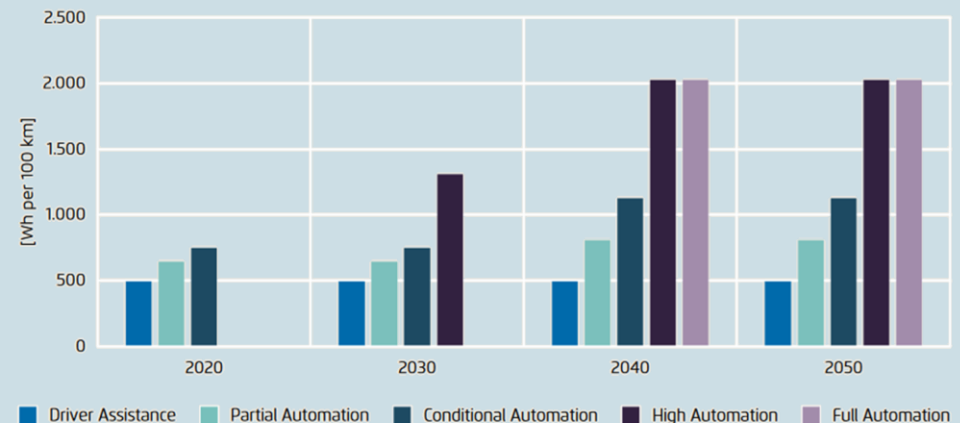
- Mensch-Roboter-Kollaboration in Industrieumgebungen muss sicher aber auch effizient sein
- Energieverbrauch für Sensordatenverarbeitung der Sicherheitssysteme ~3kW
- Statische Sicherheitszonen erhöhen den Platzbedarf und reduzieren die Robotergeschwindigkeit

## Skalierbare Autonomie mit energieeffizienten Sensoren

- Anzahl der Sensoren steigt mit zunehmender Autonomie
- Datenströme sind komplex und divers

Average efficiency potential by automation level

©Agora Verkehrswende





**Mobile, autonome  
Informationsverarbeitung bedarf  
eines Paradigmenwechsels durch  
neuromorphes und analoges Computing,  
um skalierbar zu bleiben.«**

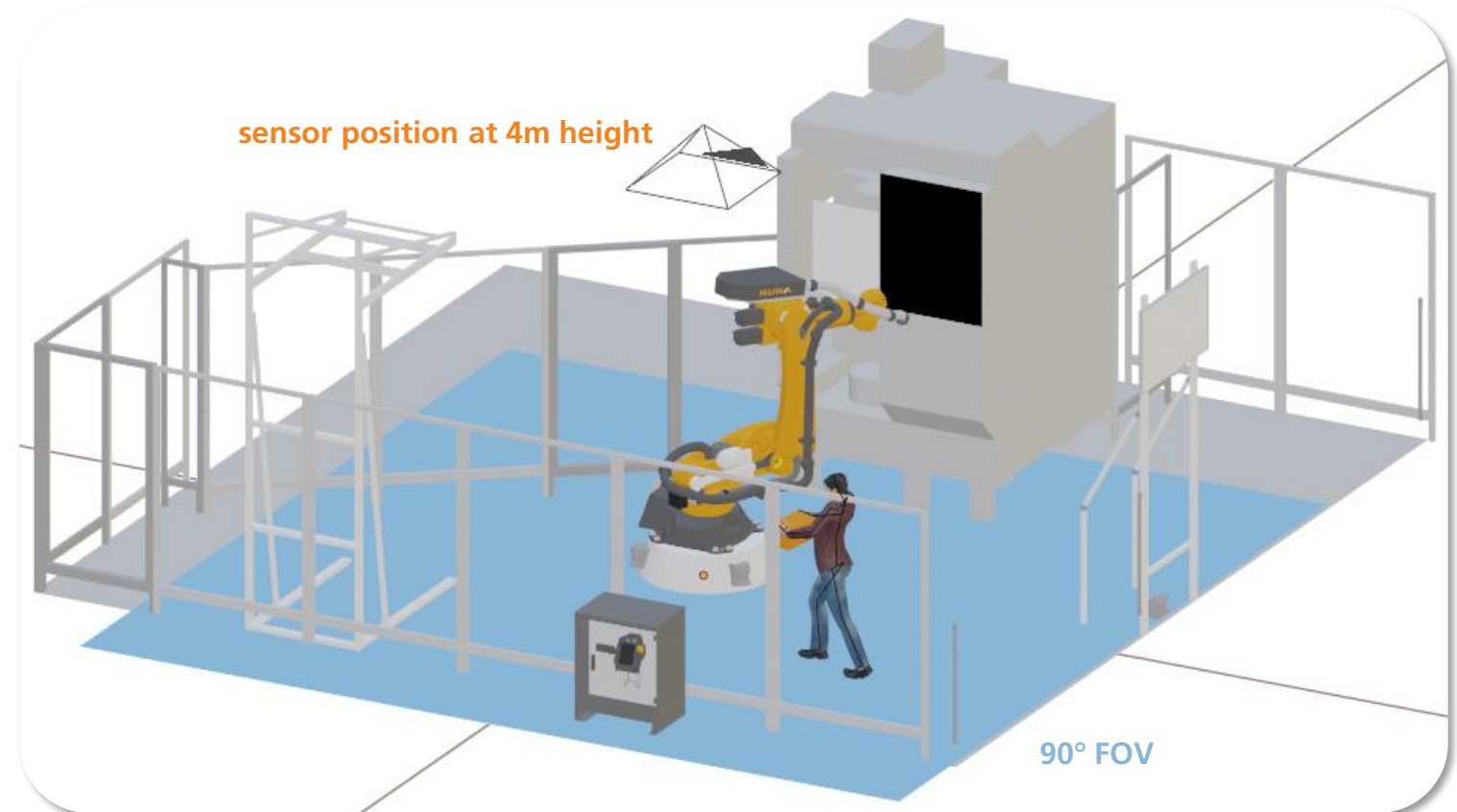
# Übersicht Projektinhalt des Fraunhofer-Leitprojekts NeurOSmart

Effizienzsteigerung und neue Funktionen durch neuromorphe Datenverarbeitung direkt im Sensor

*initial deployment in a human-robot-collaboration environment*

## Mehrstufiger Entwicklungspfad

- Rekonfigurierbares LiDAR-System
- KI-basierte Reduktion der Rohdaten und RoI-Auswahl
- Höchste Energieeffizienz der energieaufwändigsten KI-Verfahren durch einen analogen, neuromorphen, in-memory Beschleuniger
- Anwendungsspezifische, kompakte neuronale Netze
- Evaluierung in einer Mensch-Roboter-Kollaborationsumgebung und basierend auf zertifizierbaren Komponenten

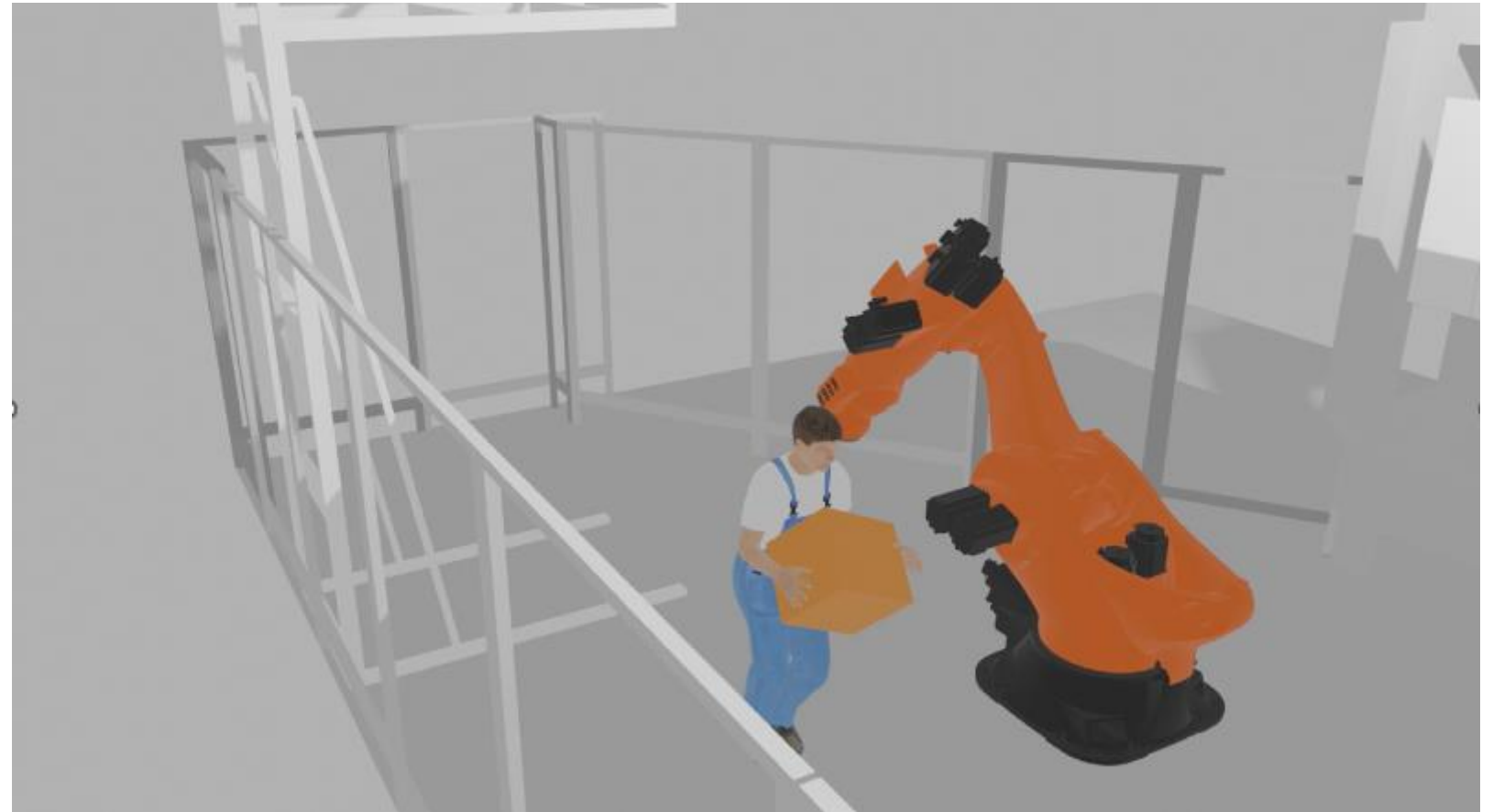


# Übersicht Projektinhalt des Fraunhofer-Leitprojekts NeurOSmart

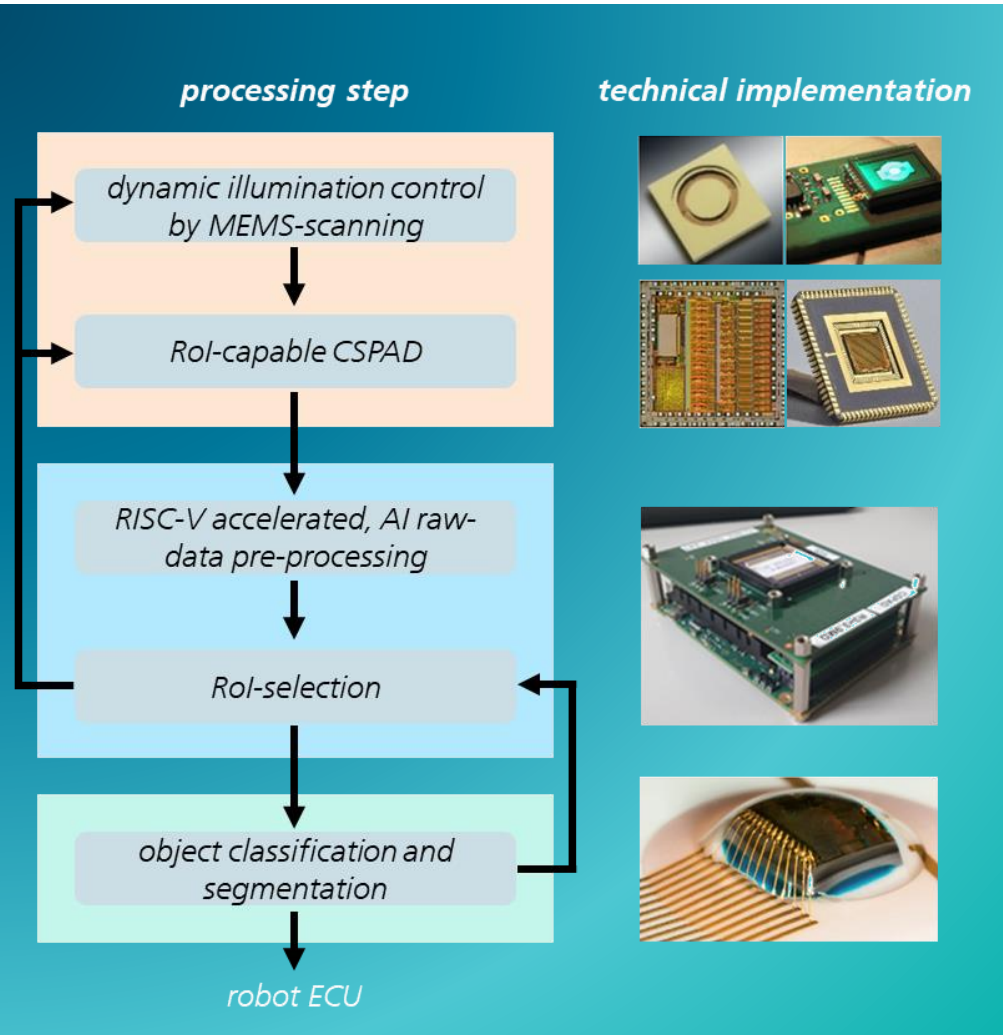
Effizienzsteigerung und neue Funktionen durch neuromorphe Datenverarbeitung direkt im Sensor

## Mehrstufiger Entwicklungspfad

- Rekonfigurierbares LiDAR-System
- KI-basierte Reduktion der Rohdaten und RoI-Auswahl
- Höchste Energieeffizienz der energieaufwändigsten KI-Verfahren durch einen analogen, neuromorphen, in-memory Beschleuniger
- Anwendungsspezifische, kompakte neuronale Netze
- Evaluierung in einer Mensch-Roboter-Kollaborationsumgebung und basierend auf zertifizierbaren Komponenten

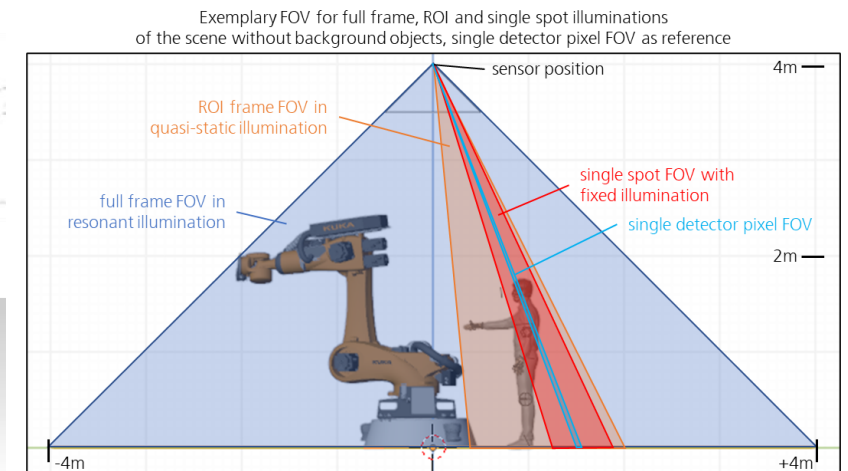
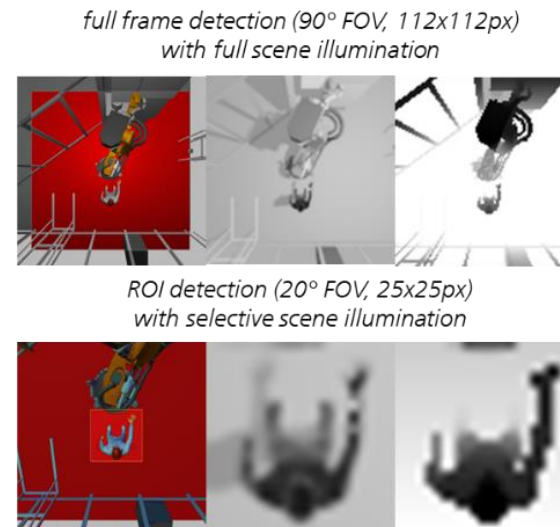


# What's new? Technologische Innovationen im Projekt



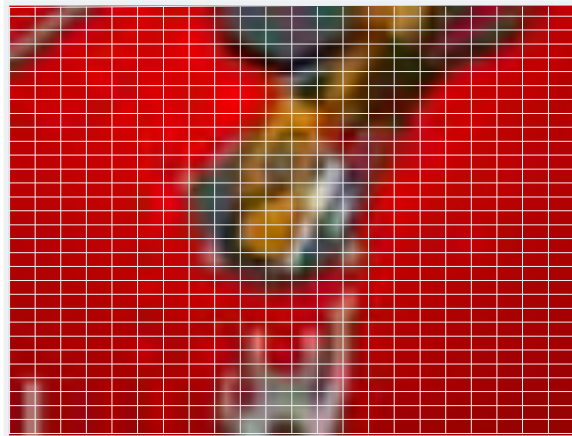
## „Nur dort messen, wo etwas passiert“

- MEMS-Scanner-basierte Szenenausleuchtung bis  $90^\circ \times 90^\circ$  FOV
- CMOS Integrated Spad (CSPAD) Detektor mit  $112 \times 112$  Pixeln, binning- und ROI-fähig
- Detektion und Szenenausleuchtung können durch eine reaktionsschnelle, integrierte Datenverarbeitung in Echtzeit ( $\geq 20$  fps) angepasst werden



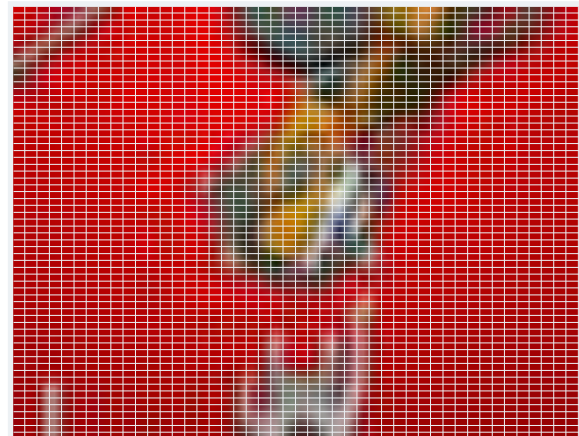
# NeurOSmart CSPAD Entwicklung: 0.7k → 3k → 12k Pixel

- 32x24px
- FoV 30x40°



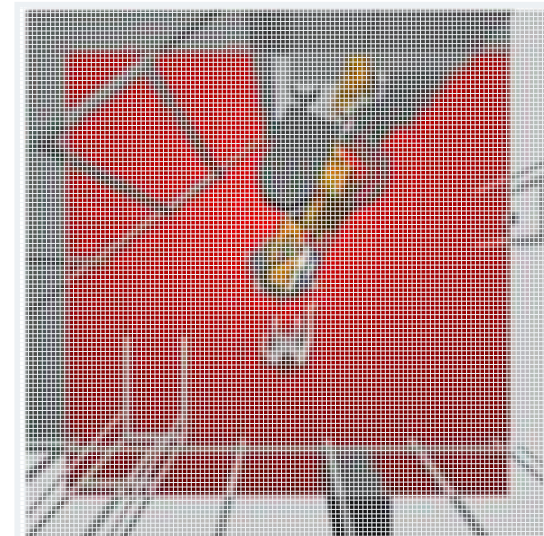
● Q2/2022

- 64x48px
- FoV 30x40°



● Q1/2023

- 112x112px
- FoV 90x90° seq. Flash



● Q2/2023

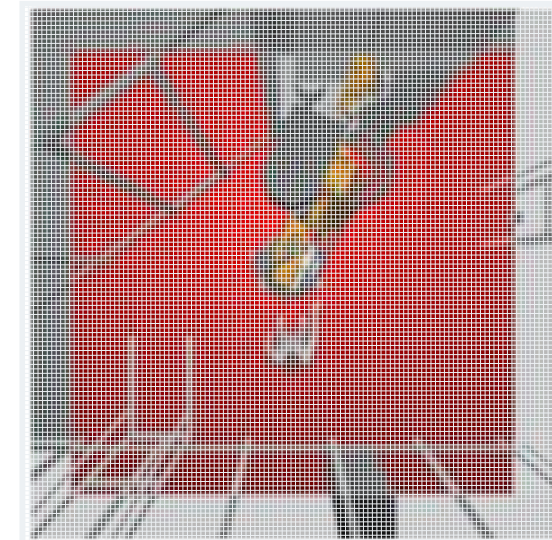
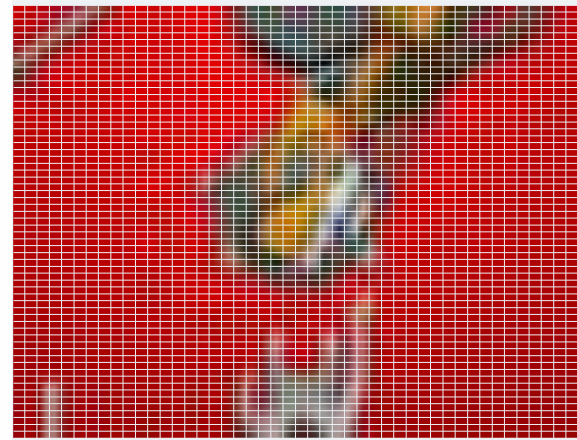
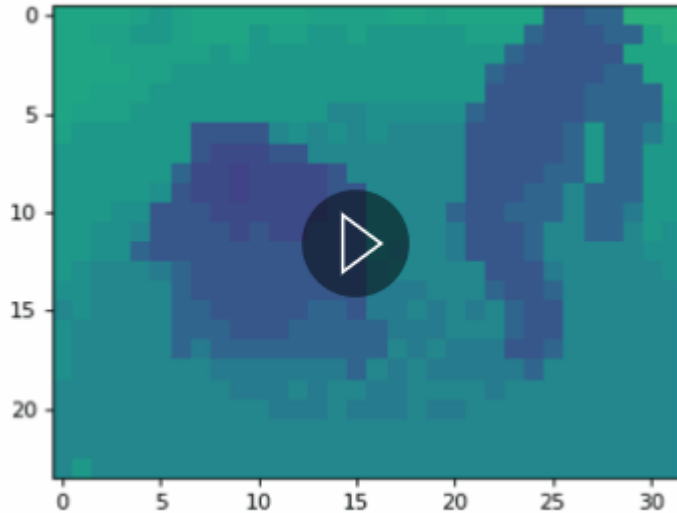


# NeurOSmart CSPAD Entwicklung: 0.7k → 3k → 12k Pixel

- 32x24px
- FoV 30x40°

- 64x48px
- FoV 30x40°

- 112x112px
- FoV 90x90° seq. Flash



● Q2/2022

● Q1/2023

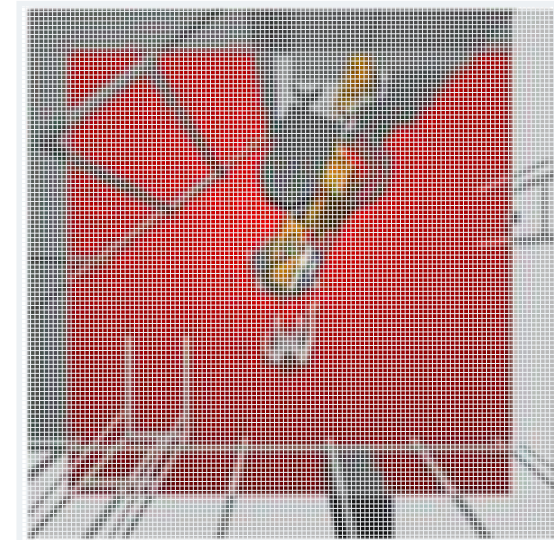
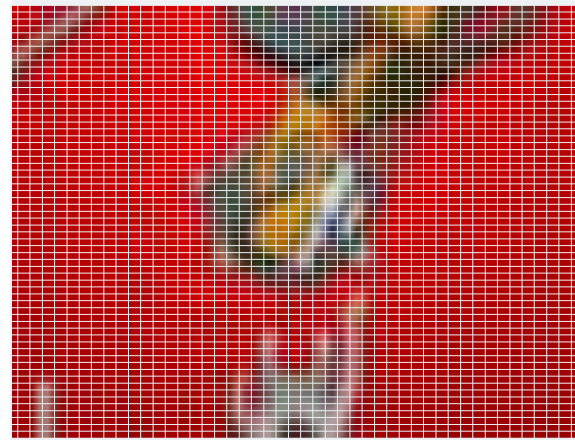
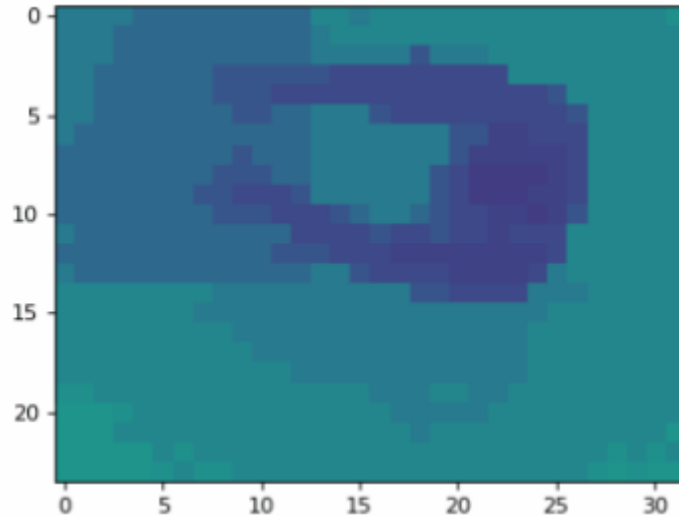
● Q2/2023

# NeurOSmart CSPAD Entwicklung: 0.7k → 3k → 12k Pixel

- 32x24px
- FoV 30x40°

- 64x48px
- FoV 30x40°

- 112x112px
- FoV 90x90° seq. Flash

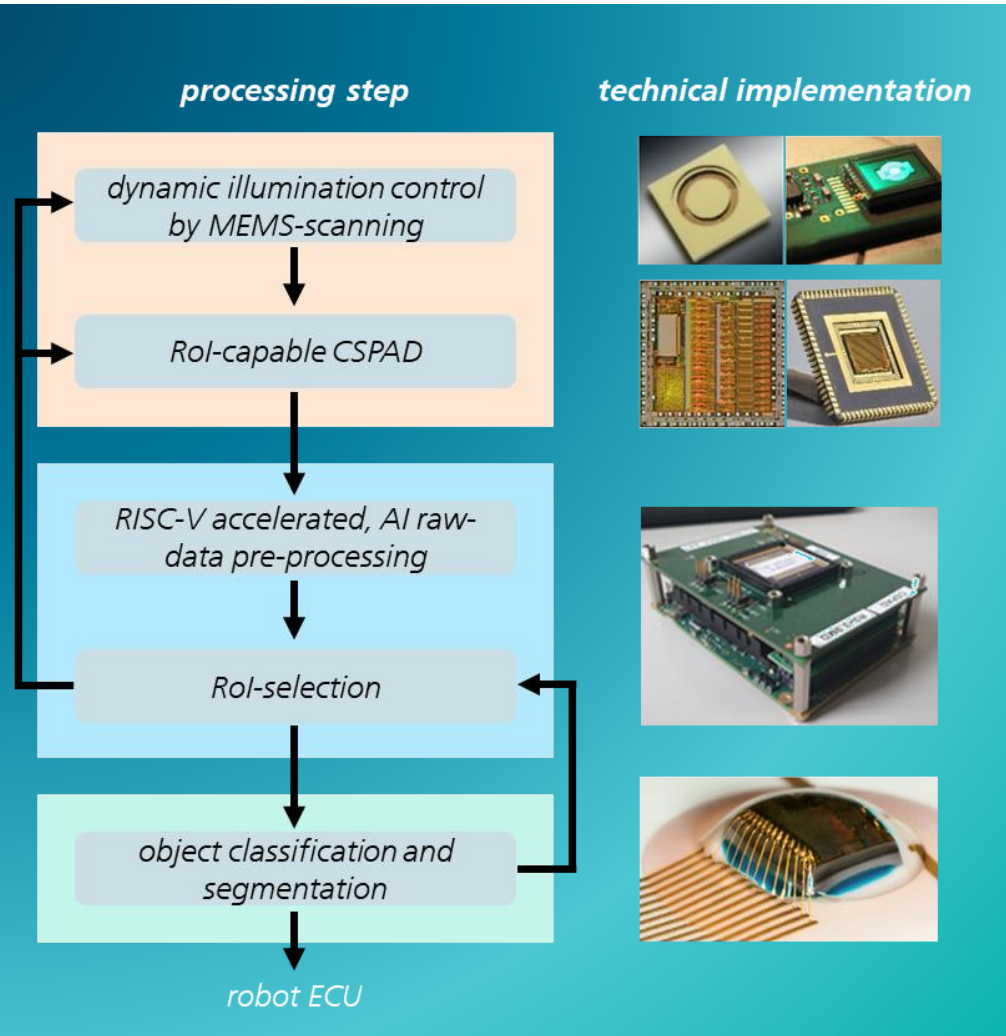


● Q2/2022

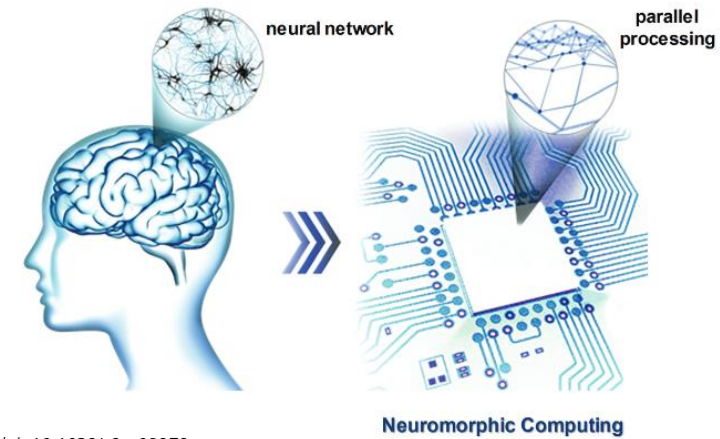
● Q1/2023

● Q2/2023

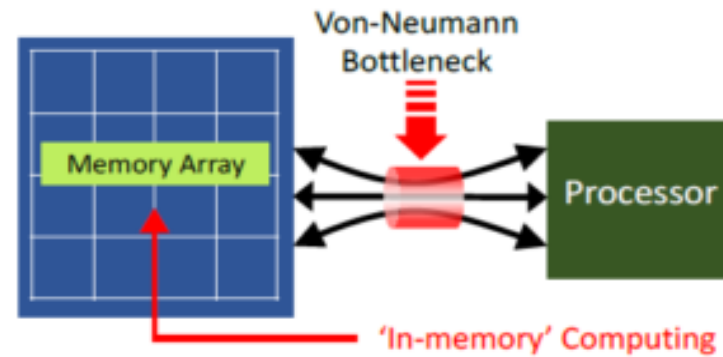
# What's new? Technologische Innovationen im Projekt



## Hybride, neuromorphe Datenverarbeitung direkt im Sensorknoten

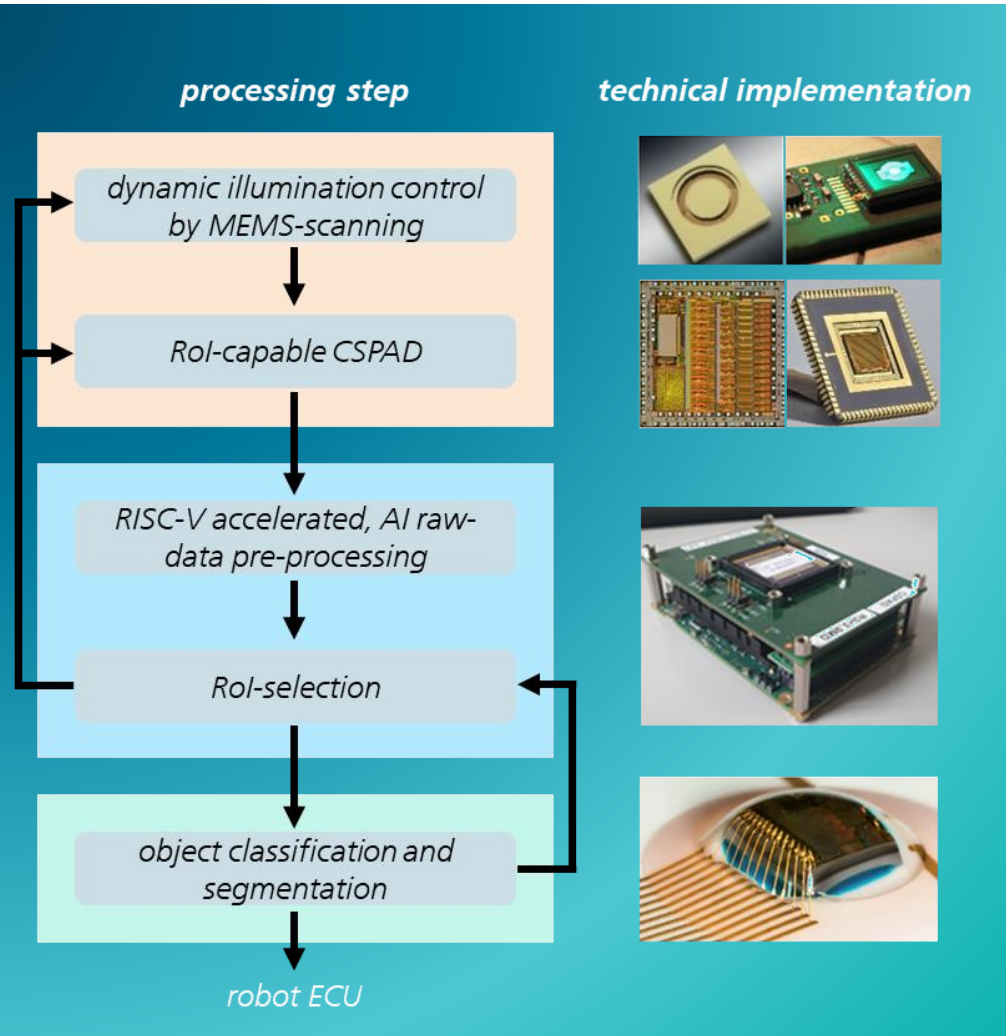


doi: 10.1039/c9nr08979a



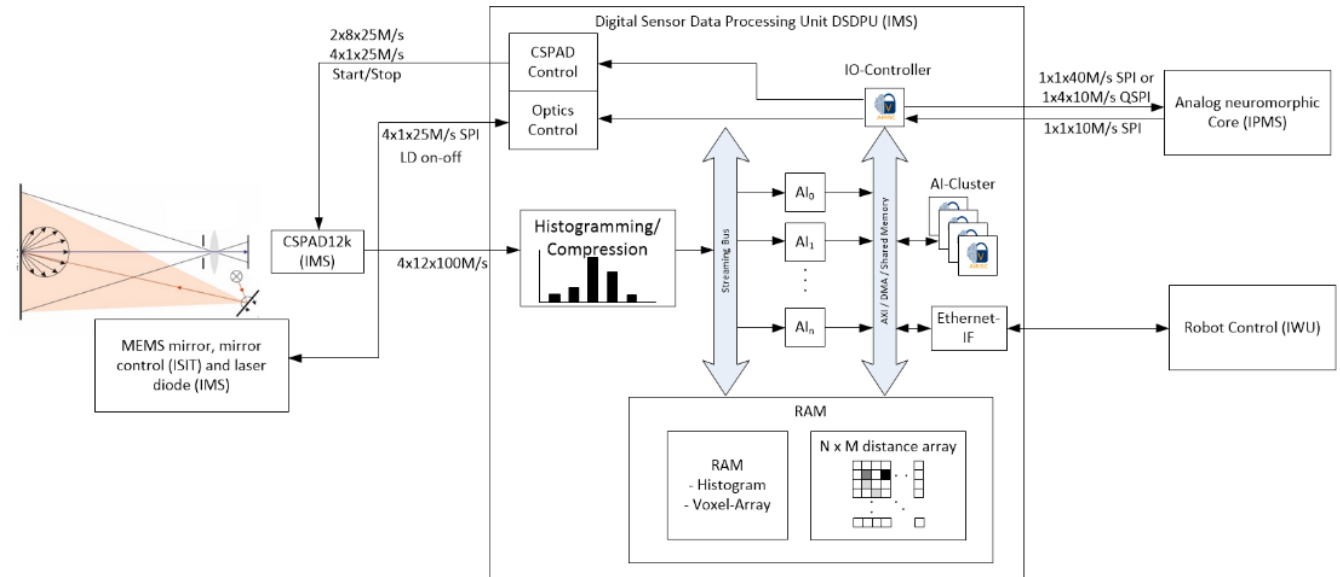
© Tom Dillinger

# What's new? Technologische Innovationen im Projekt

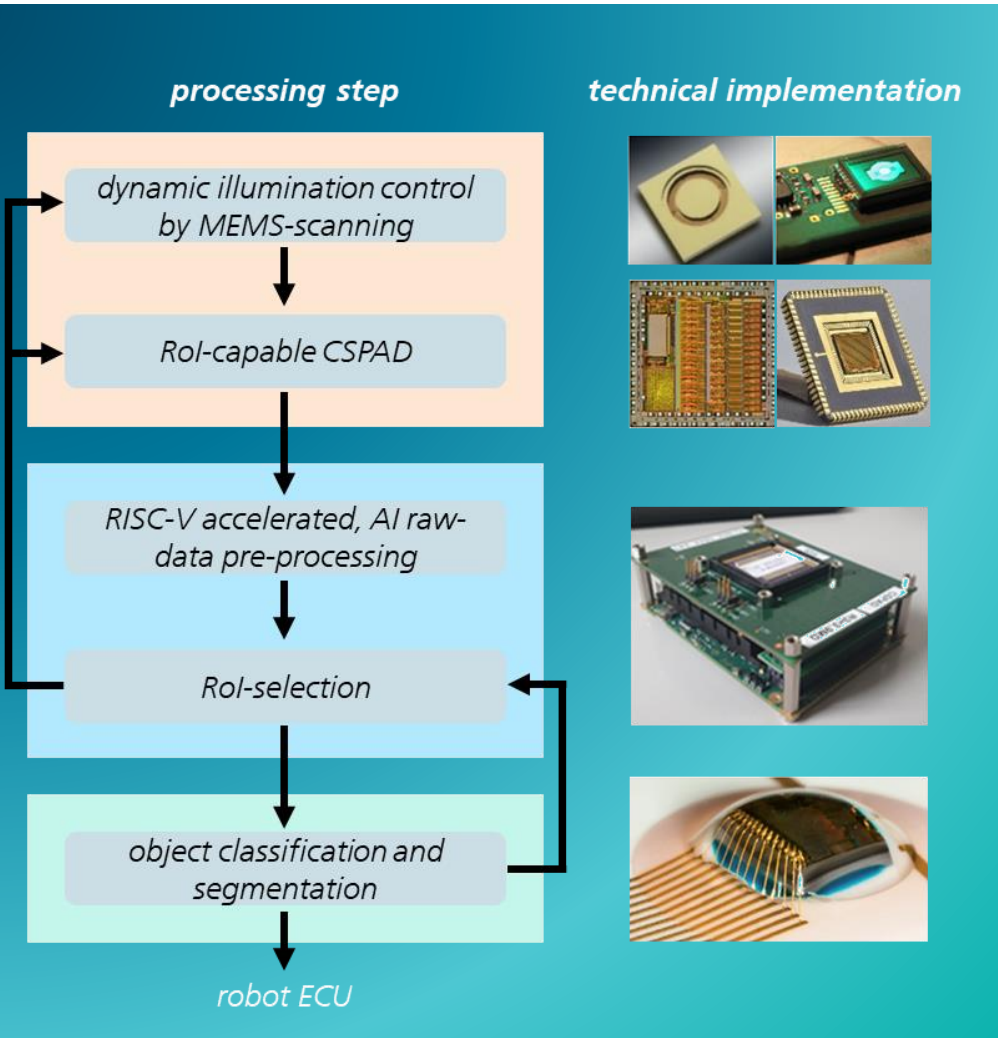


## Hybride, neuromorphe Datenverarbeitung direkt im Sensorknoten

- Flexible, FPGA-basierte Rohdatenaufbereitung und Vorverarbeitung mit anwendungsspezifischen, rekonfigurierbaren AIRISC Clustern

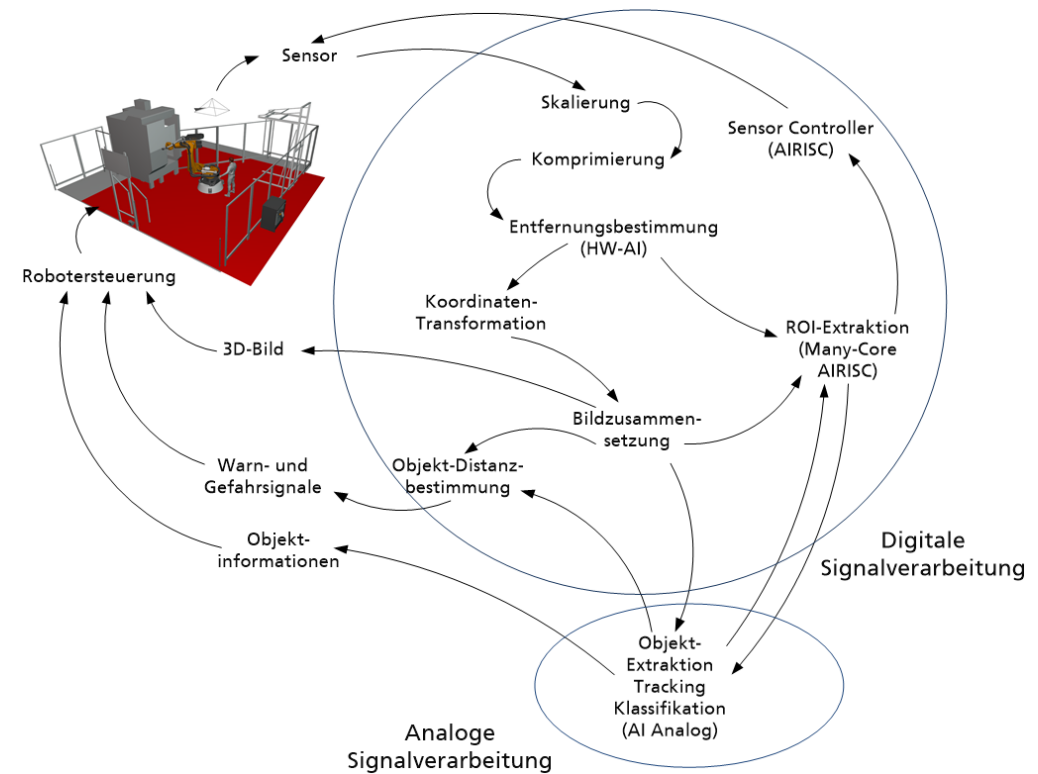


# What's new? Technologische Innovationen im Projekt

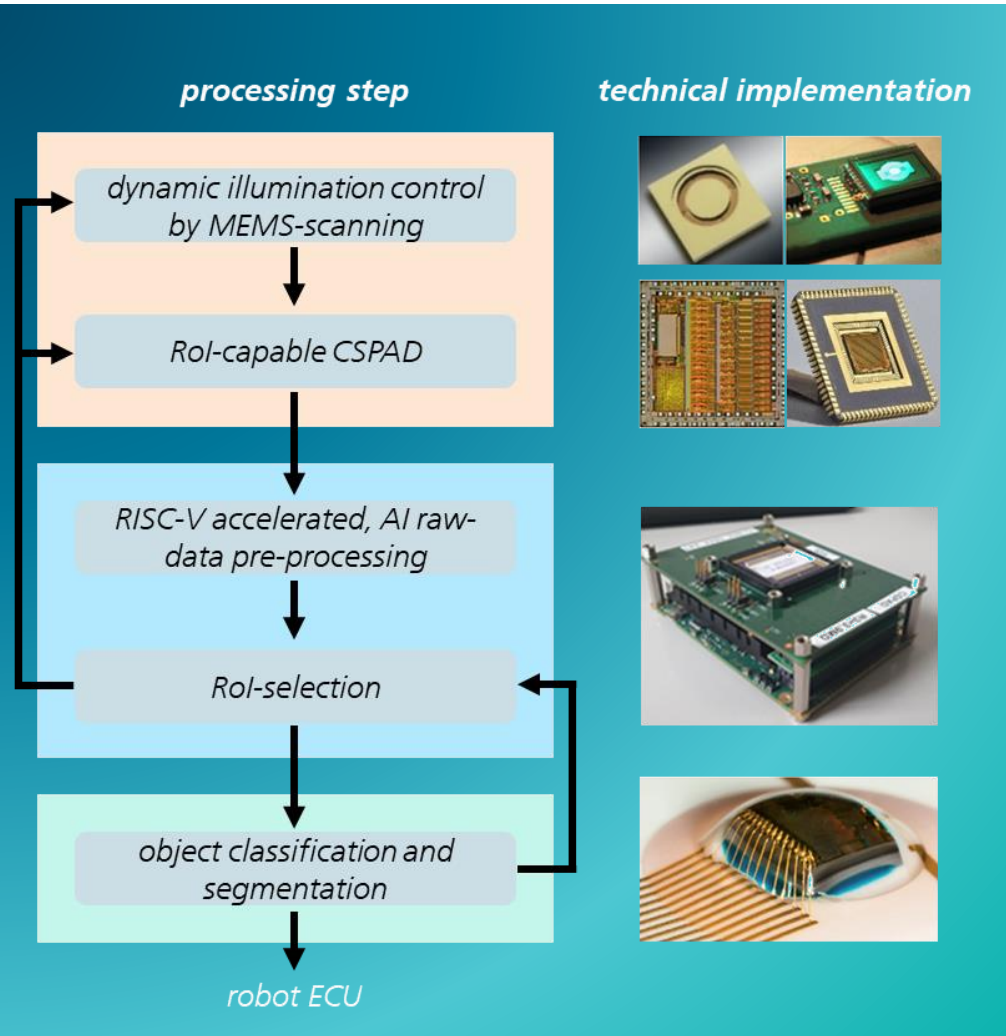


## Hybride, neuromorphe Datenverarbeitung direkt im Sensorknoten

- Flexible, FPGA-basierte Rohdatenaufbereitung und Vorverarbeitung mit anwendungsspezifischen, rekonfigurierbaren AIRISC Clustern

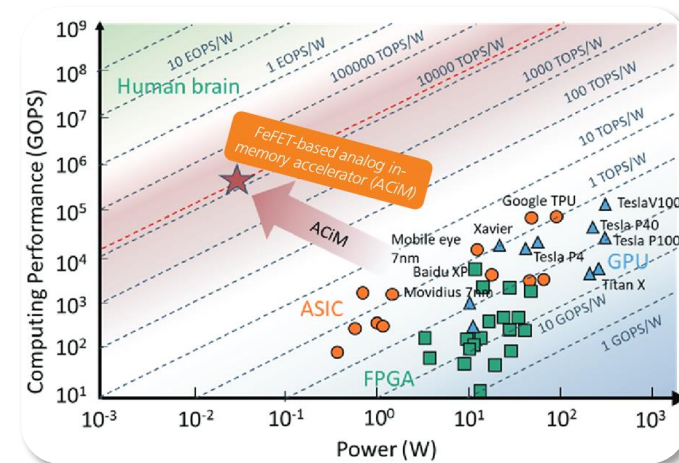


# What's new? Technologische Innovationen im Projekt

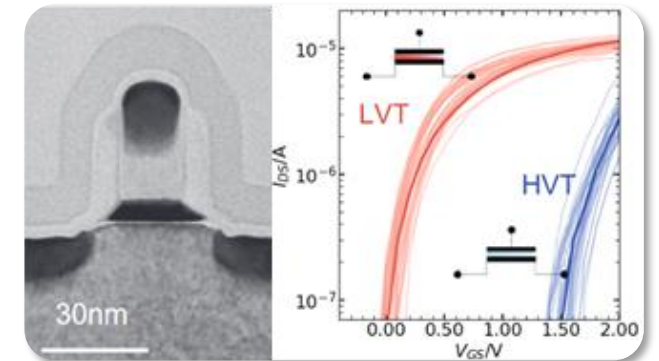


## Hybride, neuromorphe Datenverarbeitung direkt im Sensorknoten

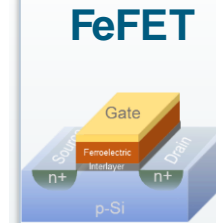
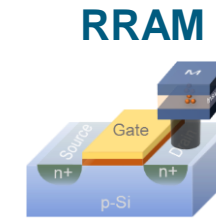
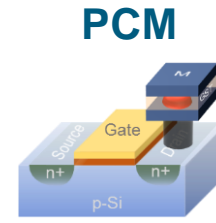
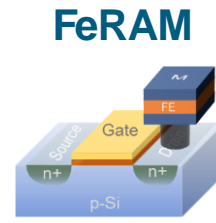
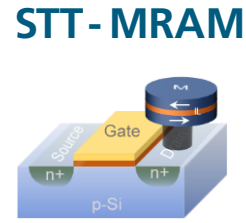
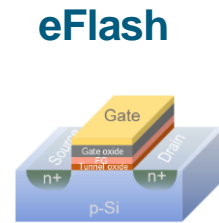
- Flexible, FPGA-basierte Rohdatenaufbereitung und Vorverarbeitung mit anwendungsspezifischen, rekonfigurierbaren AIRISC Clustern
- Analoger in-memory Beschleuniger ASIC ermöglicht eine Energieeffizienzsteigerung der Datenverarbeitung um mindestens 2 Größenordnungen auf  $>1000$  TOPS/W mittels innovativer FeFET-Crossbar-Speicherelemente



doi: 10.1109/IEDM13553.2020.9372124

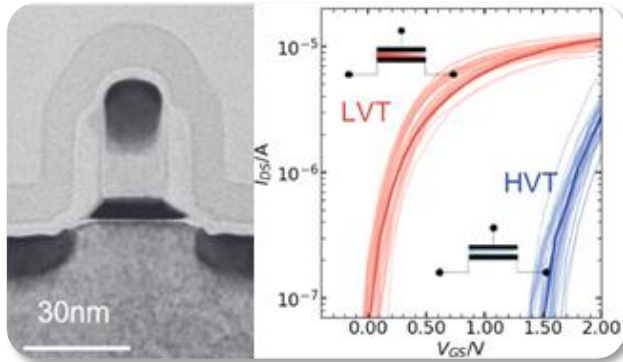


# Nichtflüchtige Speicherzellen im Vergleich



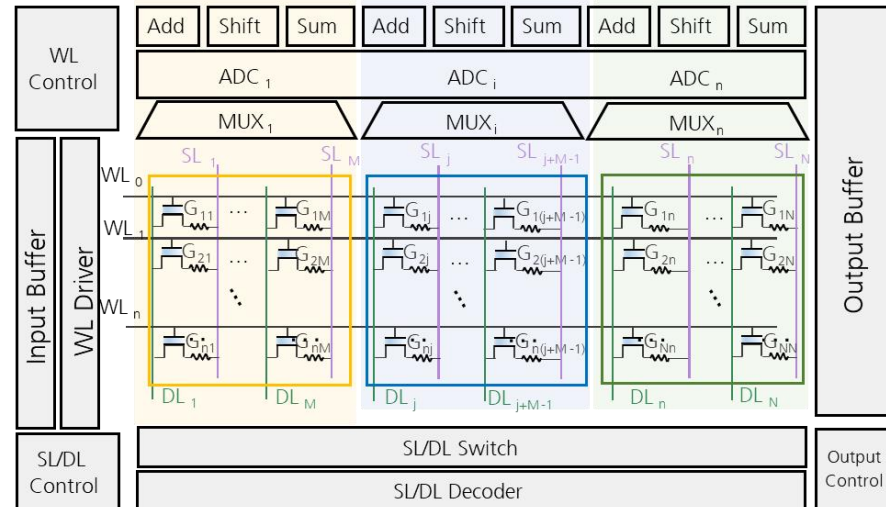
	eFlash	STT-MRAM	FeRAM	PCM	RRAM	FeFET
Cell structure	1T	1T-1MTJ	1T-1C	1T-PCM	1T-1R	1T
$R_{ON}/R_{OFF}$	$\sim 10^6$	$\sim 2.5$	$\sim 30$	$\sim 100$	$\sim 100$	$\sim 10^4$
Read scheme	Non-dest.	Non-dest.	Dest.	Non-dest.	Non-dest.	Non-dest.
Write voltage	$\sim 10\text{ V}$	$< 1.5\text{ V}$	$< 3\text{ V}$	$< 3\text{ V}$	$< 3\text{ V}$	$< 4\text{ V}$
Write energy	$\sim 100\text{ pJ}$	$\sim 1\text{ pJ}$	$\sim 100\text{ fJ}$	$\sim 10\text{ pJ}$	$\sim 1\text{ pJ}$	$\sim 10\text{ fJ}$
Write speed	$0.1\text{-}1\text{ ms}$	$\sim 5\text{ ns}$	$\sim 10\text{ ns}$	$\sim 10\text{ ns}$	$\sim 10\text{ ns}$	$\sim 10\text{ ns}$
Write endurance	$10^4\text{-}10^6$	$10^{15}$	$10^{14}$	$10^{12}$	$> 10^7$	$> 10^6$

# In-memory Beschleuniger Architektur

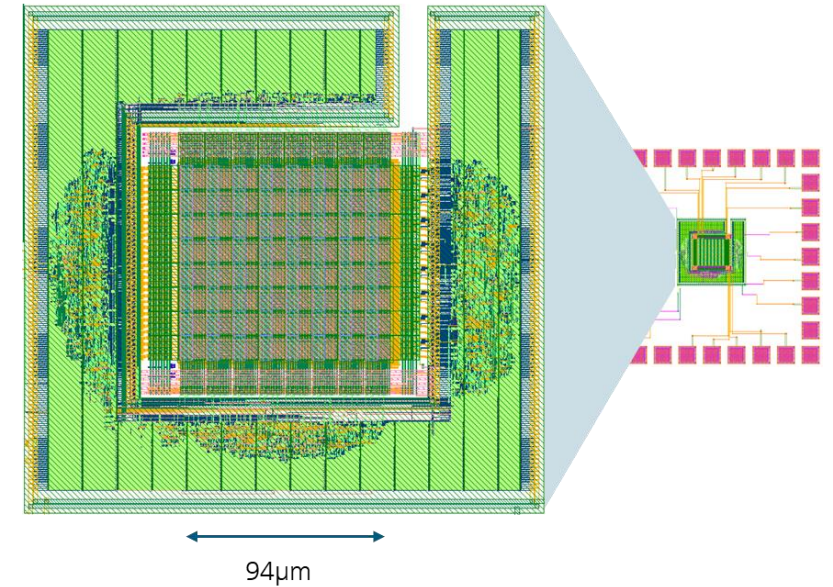


Skalierung vom Transistor zum Speicherelement:

- 8x8 oder 16x16 Transistoren bilden ein Crossbar-Element

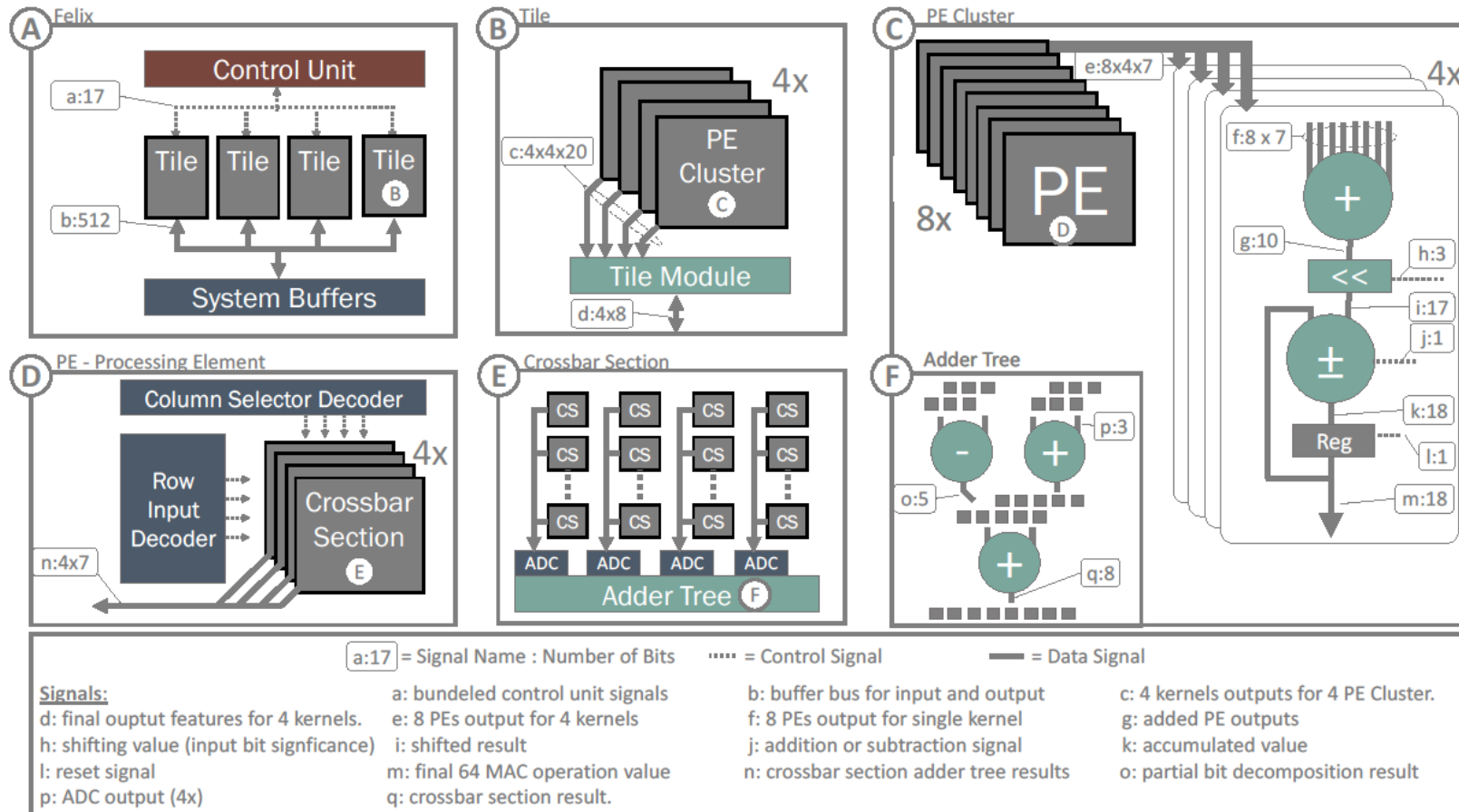


4kB crossbar with SPI interface in 28SLPe

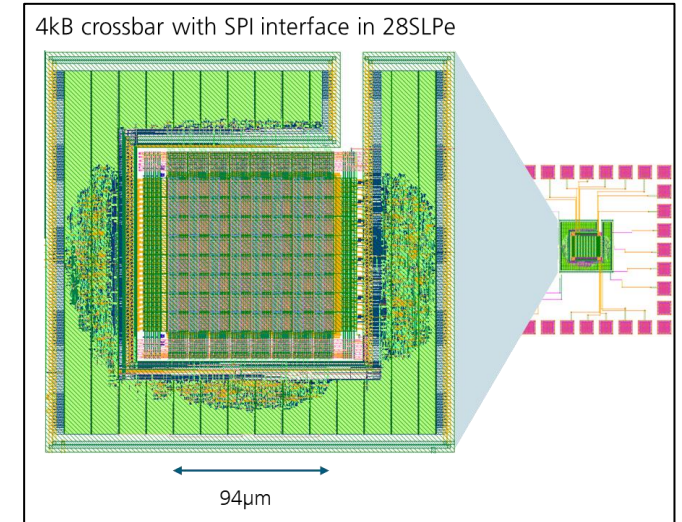




# In-memory Beschleuniger Architektur



PE



doi: 10.1145/3529760 - FELIX: A Ferroelectric FET Based Low Power Mixed-Signal In-Memory Architecture for DNN Acceleration

# USP's und Einsatzmöglichkeiten der Projektergebnisse

Smart Sensoren werden energieeffizient und leichter zu integrieren



## Direkte, konzeptionelle und Komponenten-Verwertung

- Direkte Anwendung in Fertigungsumgebungen (MRK)
- Performante LiDAR-Komponenten
- KI-basierte Datenverarbeitung auf digitalen, neuromorphen Beschleunigern (RISC-V basiert)
- Neuromorphe ultra-low-power HPC-Systeme
- Transfer auf weitere Sensor-Typen, z.B.:
  - 1D Daten: Audio, EKG, Beschleunigung
  - 2/3D Daten: Ultraschall / Radar / Kamera



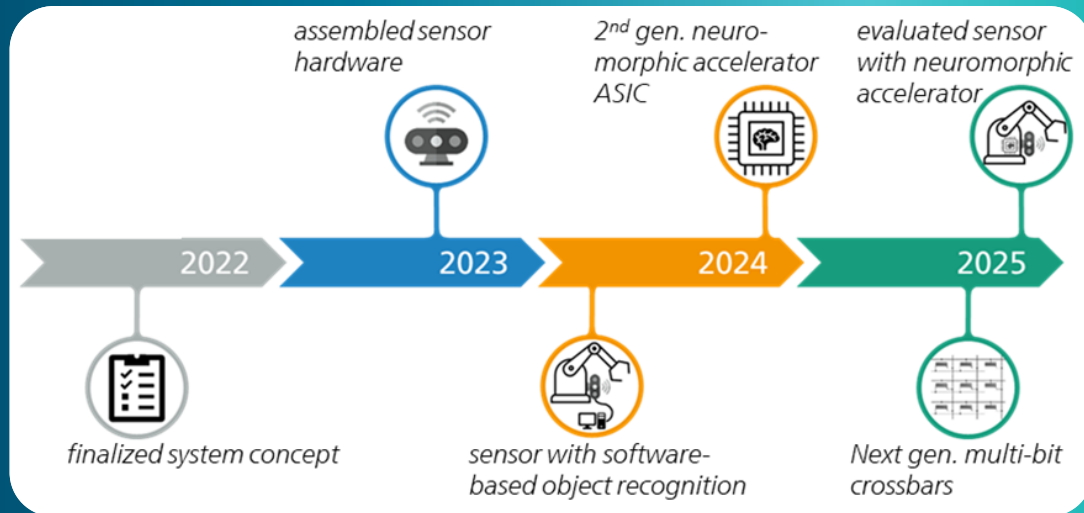
**Besonders relevant für komplexe Datenströme, kritische Systeme und mobile Anwendungen**

# Status heute - wohin geht die Reise?

Konzepte und Schnittstellen sind finalisiert. Erste Teilprodukte in 2024.

## Aktuelle Aktivitäten

- Erste Feldtests in MRK-Zelle basierend auf aktueller Hardware
- Generierung synthetischer Trainingsdaten mittels 3D-Modellen
- Fertigung der Sensorkomponenten
- Design und Konzeptionierung des neuromorphen Beschleunigers



# Kontakt

---

**Dr. Michael Mensing**  
**Projektleitung NeuroSmart**  
**Tel. +49 4821 17-4331**  
**[michael.mensing@isit.fraunhofer.de](mailto:michael.mensing@isit.fraunhofer.de)**

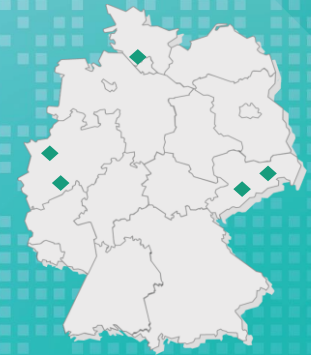
Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT  
Fraunhoferstraße 1  
25524 Itzehoe  
[www.isit.fraunhofer.de/](http://www.isit.fraunhofer.de/)



Fraunhofer-Gesellschaft

Eine Kooperation der Fraunhofer-Institute für

- Siliziumtechnologie ISIT
- Photonische Mikrosysteme IPMS
- Mikroelektronische Schaltungen IMS
- Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
- Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS



Mehr Infos unter:  
**[www.neurosmart.fraunhofer.de/](http://www.neurosmart.fraunhofer.de/)**

