

# *ESG-Kriterien für nachhaltige KI-Rechenzentren – Ansätze aus dem ESCADE-Forschungsprojekt*

**Dr. Dina Barbian, eco2050 Institut für Nachhaltigkeit –  
Institute for Sustainability GmbH**

**Green ICT Connect 2024, Schwerpunkt grüne IKT in Rechenzentren  
Berlin, 16.10.2024**



## Studium:

Wirtschaftsingenieurwesen (Fachrichtung Fertigungstechnik)

## Promotion:

Volkswirtschaftslehre, insb. Nachhaltigkeitsökonomie

## Aktuelle Position:

*Geschäftsführerin*, eco2050 Institut für Nachhaltigkeit –  
Institute for Sustainability GmbH;  
*Lehrbeauftragte*, TH Nürnberg, TU München Campus  
Heilbronn, MCI Unternehmerische Hochschule Innsbruck

## Geschäftsportfolio:

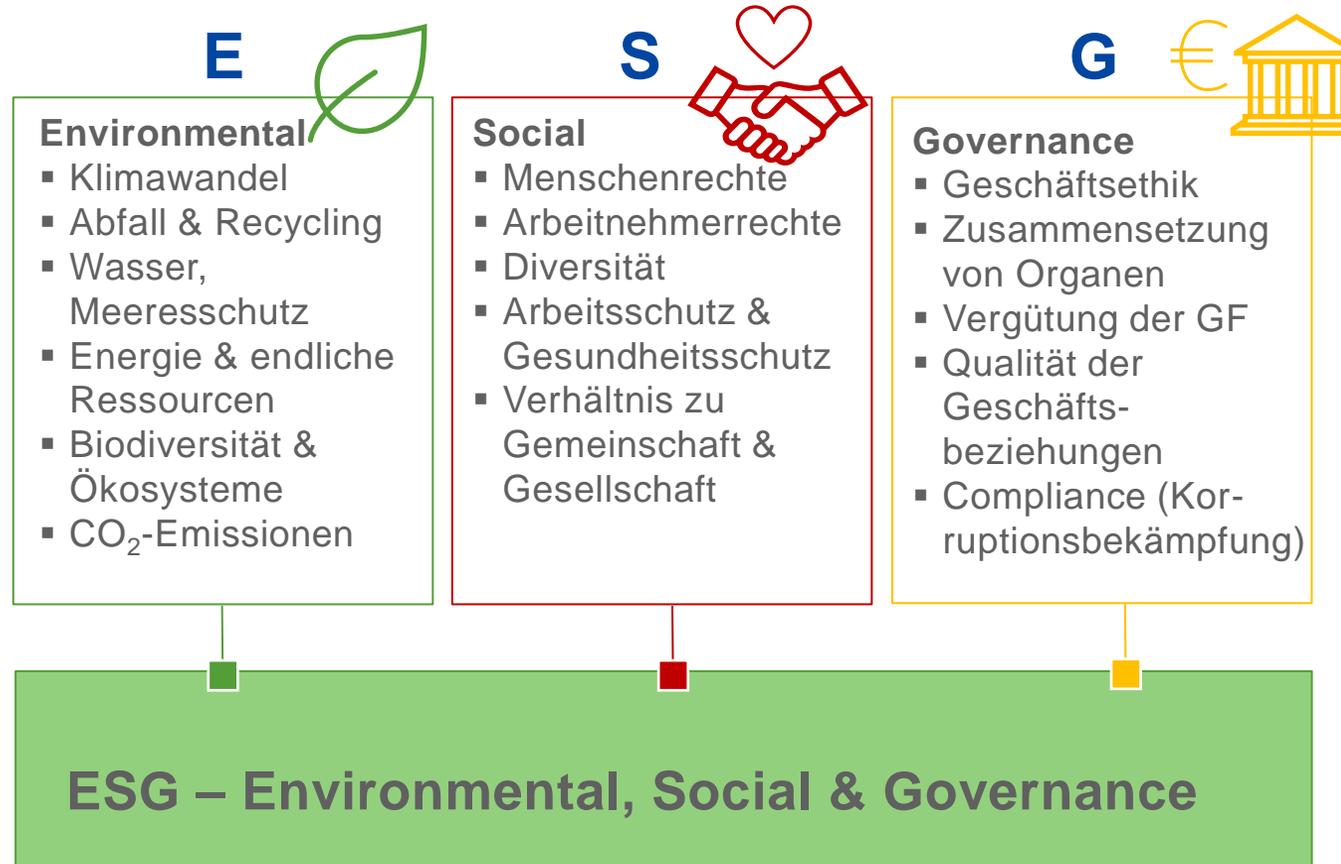
*Forschung* (Nachhaltige KI (Sustainable AI), nachhaltige Digitalisierung, Kreislaufwirtschaftsstrategien, grüner, türkiser und orangener Wasserstoff); *Beratung* (CSRD, CSDDD, NH-Reporting, Klimabilanzierung (CCF und PCF))

## Vorlesungen:

Nationale Nachhaltigkeitsstrategien, Umweltmanagement  
Twin Transformation (Digitalisierung & Nachhaltigkeit),  
Supply Chain Management, Sustainable Manufacturing



1. Überblick – ESG-Kriterien
2. Forschungsprojekt ESCADE – Zielbild, Herausforderungen, Definitionen
3. Vorarbeiten als Grundlage für die Entwicklung eines ESG-Kennzahlensystems
4. Aktueller Stand – ESG-Kennzahlensystem im Forschungsprojekt ESCADE
5. Fazit



Quelle: eigene Darstellung

# 17 Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen



Quelle: Vereinte Nationen, 2024



## Energy-Efficient Large-Scale Artificial Intelligence for Sustainable Data Centers

Laufzeit: 01.05.2023 - 30.04.2026

Volumen: ca. 5 Mio. Euro

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz



DLR Projektträger

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 01MN23004A

## Ziele:

1. Reduzierung der **Energiebilanz** von KI-Rechenzentren (Einsatz von neuromorphen Chips, da diese Effizienzsteigerungen von bis zu 50% beim Training und bis zu 80% bei der Inferenz von KI-Modellen versprechen)
2. Verbesserung der **Nachhaltigkeitsbilanz** von KI-Anwendungen
3. Entwicklung eines Ökosystems für **nachhaltige KI-Anwendungsfälle**

## Problemstellung:

1. Wie erfassen und verbessern wir die Nachhaltigkeits-Kennzahlen von KI-Rechenzentren?
2. Welche Hardware und KI-Modelle sind für die verschiedenen KI-Anwendungen nachhaltiger?

### 1. Use-Case: Natural Language Processing

- Verarbeitung von Sprache
- hier: *Automatisierung in einem Ticket-System*
- im Cloud-Rechenzentrum
- mit Spiking-Neural-Networks



### 2. Use-Case: Visual Computing

- Verarbeitung von Videodaten
- hier: *Klassifizierung von Stahlschrott nach Güteklassen*
- im Edge-Rechenzentrum
- mit verteilter KI



Es werden verschiedene Szenarien in Abhängigkeit von Cloud und Edge bzw. GPU und NPU getestet.

# Vorarbeiten

- KPI4DCE (Umweltbundesamt): Kennzahlen zur Messung der Effizienz eines Rechenzentrums
- Blauer Engel - Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb (DE-UZ 161)
- Blauer Engel - Server und Datenspeicherprodukte (DE-UZ 213)
- Blauer Engel - Klimaschonende Colocation-Rechenzentren (DE-UZ 214)

DE-UZ 228

## Berücksichtigte Regulatorik:

- Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (Energieeffizienzgesetz – EnEfG)
- LkSG / CSDDD
- EU AI Act (in Planung)
- EU Data Act

- EN 15603: Energieeffizienz von Gebäuden
- EN 16798-13: Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 13: Berechnung von Kühlsystemen
- EN 50600: Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren – Teil 4-6: Faktor der Energiewiederverwendung
- ISO 30134-3: Informationstechnik - Rechenzentren - Kennzahlen - Teil 3: Anteil erneuerbarer Energien (REF)
- ISO 50001: Energiemanagementsystem
- ILO-Kernarbeitsnormen

- Aggar, M., Banks, M., Bank, D., Dietrich, J., Shatten, B., Member, I., Stutz, M., Tong-Viet, D. E., & Page, I. (2012). Data Centre Life Cycle Assessment Guidelines. Code Carbon <https://codecarbon.io/> Github: <https://github.com/mlco2/codecarbon> zuletzt abgerufen am 29.09.2024
- Barbian, Dina (2022): Künstliche Intelligenz und Nachhaltigkeit. In: Informatik Aktuell 2022. Online: <https://www.informatik-aktuell.de/betrieb/kuenstliche-intelligenz/ki-und-nachhaltigkeit.html>
- Barbian, Dina (2023): Die Ambivalenz von Künstlicher Intelligenz (KI) und Nachhaltigkeit. In: *econic*, Das Fachmagazin für Wirtschaft mit Weitsicht. Heft 01/2023, S. 50-53
- Dokic, Dusan; Florian Groen in't Woud; Maaß, Wolfgang (2024): Towards Sustainability of AI: A Systematic Review of Existing Life Cycle Assessment Approaches and Key Environmental Impact Parameters of Artificial Intelligence. In: HICSS 57/24. Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-2024), January 3-6, Honolulu, Hawaii, USA, HICSS, 2024.
- Dokic, Dusan; Stein, Hannah; Janzen, Sabine; Maaß, Wolfgang (2023): Towards Energy-Efficient Large-Scale Artificial Intelligence for Sustainable Data Centers. INFORMATIK 2023. Gesellschaft für Informatik, Bonn. Umweltinformatik zwischen Nachhaltigkeit und Wandel (UINW). Berlin. 26.-30. September 2023
- Flucker, S., Tozer, R., & Whitehead, B. (2018). Data centre sustainability – Beyond energy efficiency. *Building Services Engineering Research and Technology*, 39(2), 173–182.
- Gröger, J. et al. (2021): Green Cloud Computing - Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing
- Gupta, U., Kim, Y. G., Lee, S., Tse, J., Wei, G.-Y., & Brooks, D. (2022). Chasing Carbon: The Elusive Environmental Footprint of Computing. *IEEE Micro*, 42
- Ligozat, A.; Lefevre, J.; Bugeau, A.; Combaz, J.: Unraveling the Hidden Environmental Impacts of AI Solutions for Environment Life Cycle Assessment of AI Solutions. *Sustainability*, (9), 2022.
- Luccioni, A.S., Viguier, S., & Ligozat, A. (2022). Estimating the Carbon Footprint of BLOOM, a 176B Parameter Language Model. *J. Mach. Learn. Res.*, 24, 253:1-253:15.
- Lykou, G., Mentzelioti, D., & Gritzalis, D. (2018). A new methodology toward effectively assessing data center sustainability. *Computers & Security*, 76, 327–340.
- Reddy, V. D. et al. (2017) Metrics for Sustainable Data Centers
- Rohde, F., Wagner, J., Reinhard, P., Petschow, U., Meyer, A., Voß, M., & Mollen, A. (2021). Nachhaltigkeitskriterien für Künstliche Intelligenz.
- Schödwell, Björn, Zarnekow, R., Liu, R., Gröger, J., & Wilkens, M. (2018). Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit Abschlussbericht.
- Shah, A. J., Yuan Chen, & Bash, C. E. (2011). Evaluating Life-Cycle Environmental Impact of Data Centers. *Journal of Electronic Packaging*, 133(3).
- Shah, A. J., Yuan Chen, & Bash, C. E. (2012). Sources of variability in data center lifecycle assessment. 2012 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST), 1–6.
- Stanford University (2020): Ethics of Artificial Intelligence and Robotics
- van Wynsberghe, A. (2021): Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. *AI Ethics*, pp. 213–218.
- Wang, Y. et al. (2020): Benchmarking the Performance and Energy Efficiency of AI Accelerators for AI Training. In: 2020 20th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGRID). pp. 744–751.
- Whitehead, B., Andrews, D., & Shah, A. (2015a). Assessing the environmental impact of data centres part 2: Building environmental assessment methods and life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), 332–349.
- Whitehead, B., Andrews, D., & Shah, A. (2015b). The life cycle assessment of a UK data centre. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), 332–349
- Whitehead, B., Andrews, D., Shah, A., & Maidment, G. (2014). Assessing the environmental impact of data centres part 1: Background, energy use and metrics. *Building and Environment* 82, 151–159.

# Berücksichtigte Reporting-Standards (GRI und ESRS)

# ESG-Kriterien nach der Global Reporting Initiative (GRI)

Governance G		Environment E		Social S	
201 - Wirtschaftliche Leistung	207 - Steuern	306 - Abfall	404 - Aus- und Weiterbildung	410 - Sicherheitspraktiken	417 - Marketing und Kennzeichnung
202 - Marktpräsenz	301 - Materialien	307 - ...	405 - Diversität und Chancengleichheit	411 - Rechte der indigenen Völker	418 - Schutz der Kundendaten
203 - Indirekte ökonomische Auswirkungen	302 - Energie	308 - Umweltbewertung der Lieferanten	406 - Nichtdiskriminierung	413 - Lokale Gemeinschaften	
204 - Beschaffungspraktiken	303 - Wasser und Abwasser	401 - Beschäftigung	407 - Vereinigungsfreiheit und Tarifverhandlungen	414 - Soziale Bewertung der Lieferanten	
205 - Antikorruption	304 - Biodiversität	402 - Arbeitnehmer-Arbeitgeber-Verhältnis	408 - Kinderarbeit	415 - Politische Einflussnahme	
206 - Wettbewerbswidriges Verhalten	305 - Emissionen	403 - Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz	409 - Zwangs- oder Pflichtarbeit	416 - Kundengesundheit und -sicherheit	

## Aufbau der European Sustainability Reporting Standards (ESRS)

Sektorunabhängige Standards (Set 1)			Sektorabhängige Standards (Set 2)
Sektorübergreifende Querschnitt-Standards			Sektorspezifische Standards
ESRS 1 Allgemeine Anforderungen		ESRS 2 Allgemeine Angaben	
Themenspezifische sektorübergreifende Standards			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sektorspezifische Standards</b> sind aktuell in der Entwicklung – verzögern sich bis Mitte 2026, Fokus auf Branchen mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>• Für <b>KMUs</b> (<a href="#">LSME ESRS</a> und <a href="#">VSME ESRS</a>)</li> </ul>
Environmental E	Social S	Governance G	
ESRS E1 Klimawandel	ESRS S1 Eigene Belegschaft	ESRS G1 Unternehmenspolitik	
ESRS E2 Umweltverschmutzung	ESRS S2 Arbeitskräfte in der Wertschöpfungskette		
ESRS E3 Wasser- & Meeresressourcen	ESRS S3 Betroffene Gemeinschaften		
ESRS E4 Biologische Vielfalt & Ökosysteme	ESRS S4 Verbraucher & Endnutzer		
ESRS E5 Ressourcennutzung & Kreislaufwirtschaft			

# Aktueller Stand: ESG-Kennzahlensystem ESCADE

ESG-Kriterien	Unter-Indikatoren
Environment E	Energie
	Wasser
	Material
	Treibhausgase
	Flächeneffizienz



<b>ESG-Kriterien</b>	<b>Unter-Indikatoren</b>
Social S	Belegschaft
	Lieferkette
	Stakeholder
	KI und Ethik

<b>ESG-Kriterien</b>	<b>Unter-Indikatoren</b>
Governance G	Sicherheit
	Systemverfügbarkeit
	Betriebsführung
	Transparenz
	Compliance

# Fazit

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



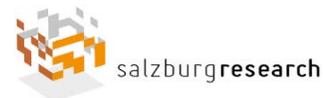
## Kontakt:

Dr. Dina Barbian

eco2050 Institut für Nachhaltigkeit – Institute for  
Sustainability GmbH, Nürnberg

[barbian@eco2050.de](mailto:barbian@eco2050.de)

+49 160 987 587 85





greenict.connect24

Für Mensch & Umwelt

Umwelt   
Bundesamt

**SoftAWERE** – digitales Messlabor für energie- und  
ressourceneffiziente Software

**Green ICT Connect 2024**

Anna Zagorski

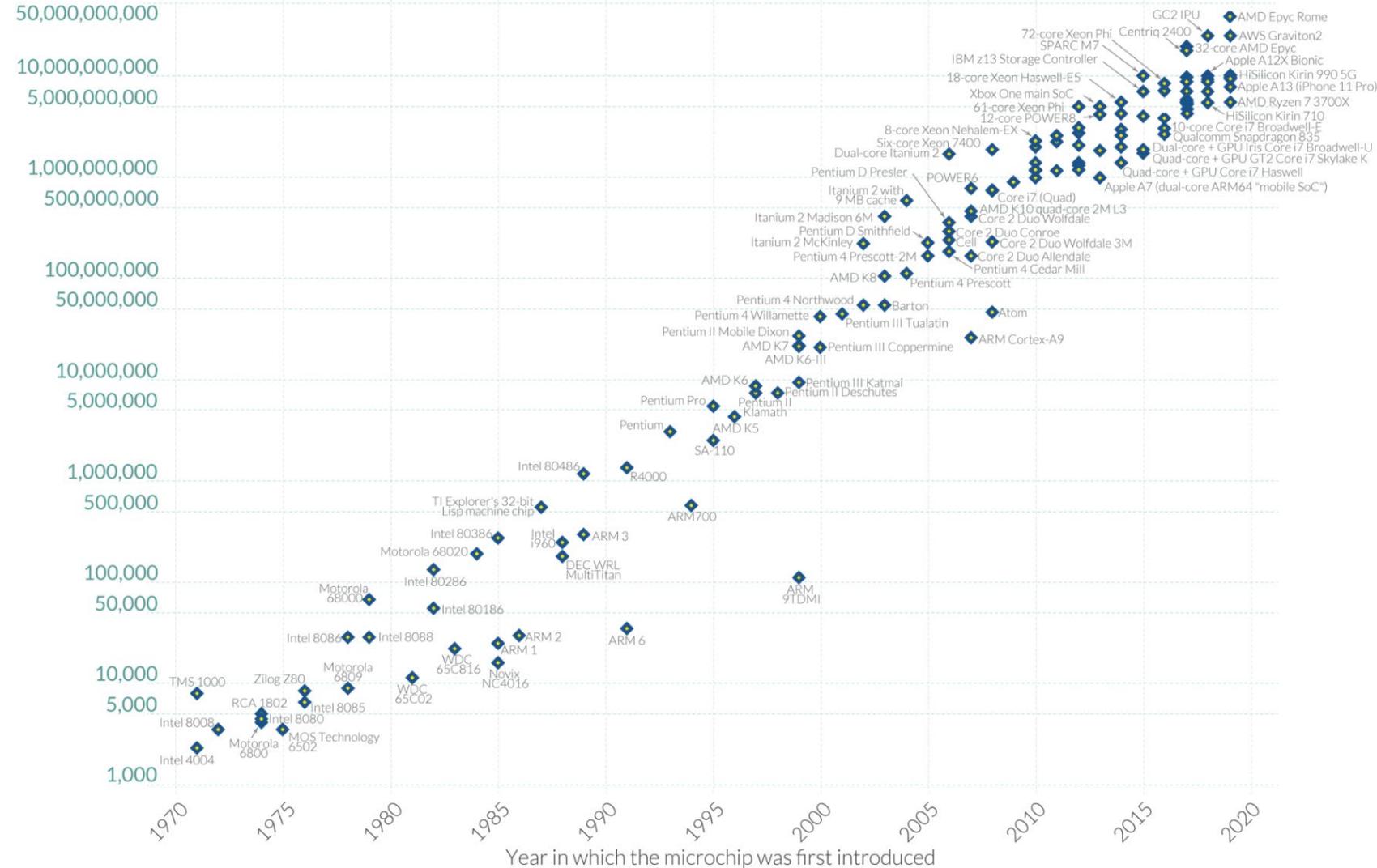
Wissenschaftliche Mitarbeiterin für Green IT

Umweltbundesamt

# Moore's Law: The number of transistors on microchips has doubled every two years

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

## Transistor count

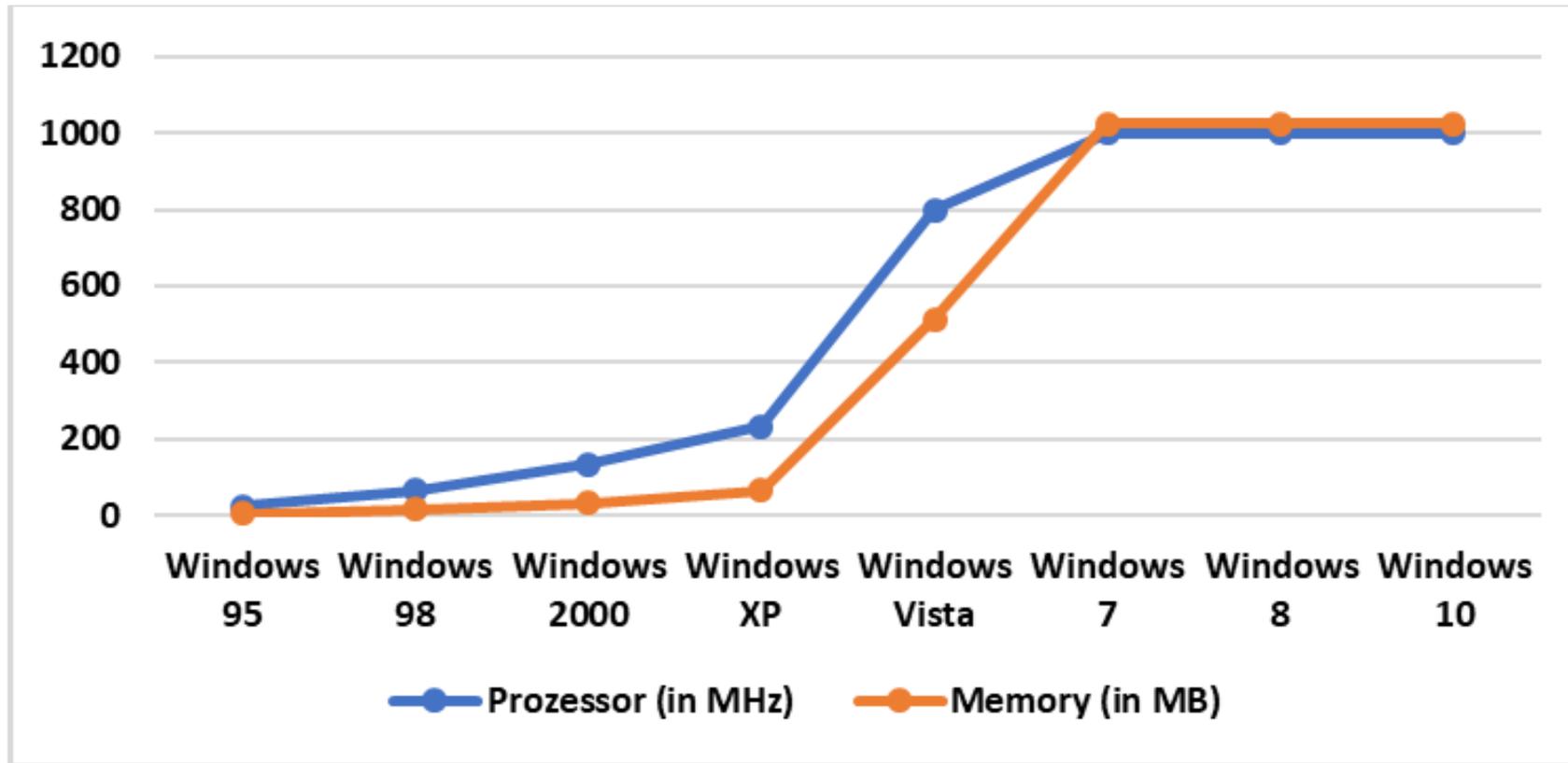


Data source: Wikipedia ([wikipedia.org/wiki/Transistor\\_count](https://wikipedia.org/wiki/Transistor_count))

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

# Software Bloat

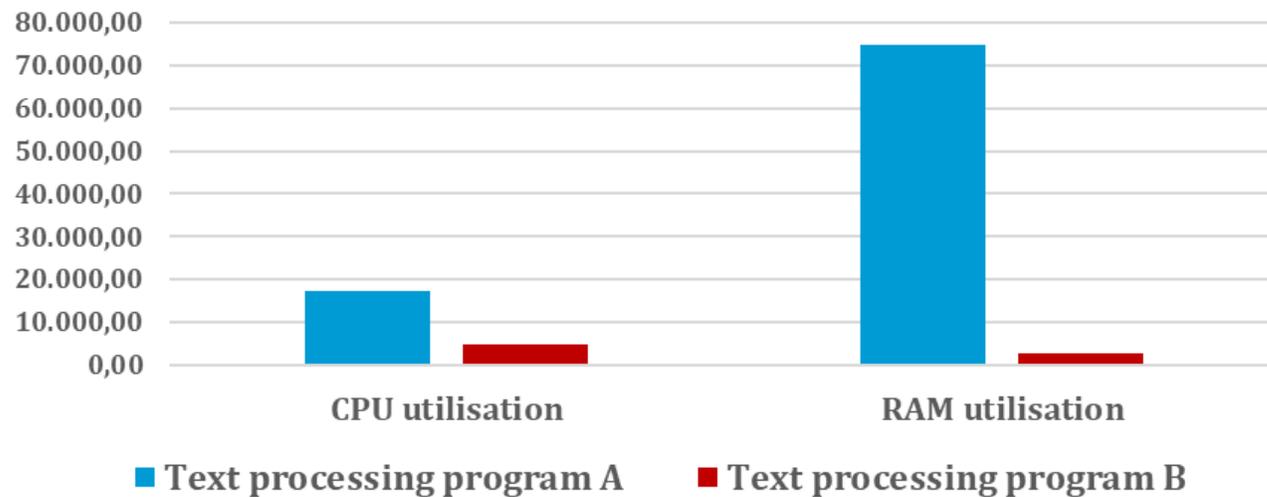


Quelle: [wikipedia.org/software\\_bloat](https://de.wikipedia.org/wiki/Software_bloat); eigene Darstellung

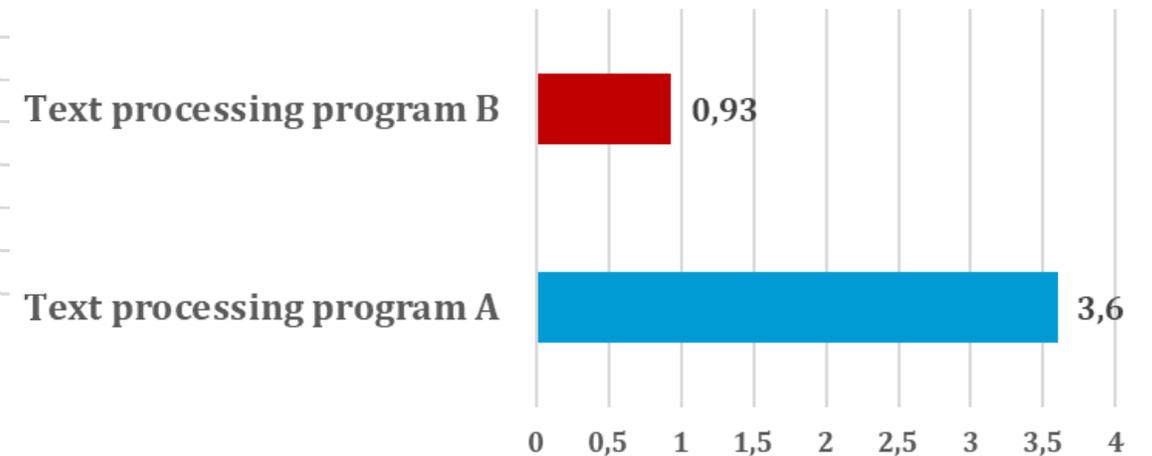
**Greenpeace-Studie 2013: Wäre das Vista-Betriebssystem 2007 flächendeckend eingesetzt worden, hätten 50 % der Computer ausgetauscht werden müssen.**

# Messergebnisse von Energieverbräuchen und Hardwareinanspruchnahme von Textverarbeitungssoftware A und B

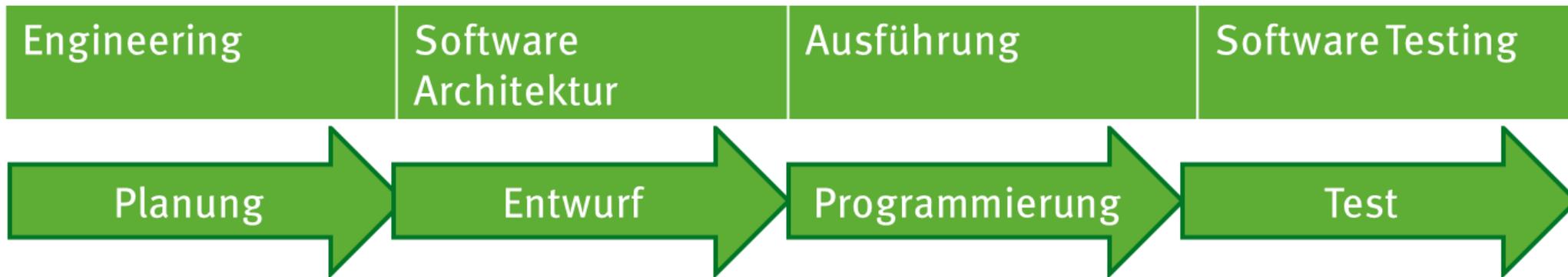
Comparison of processor and memory usage  
(in percentage seconds)



Comparison of energy consumption  
during performance  
(standard usage scenario in watt hours)

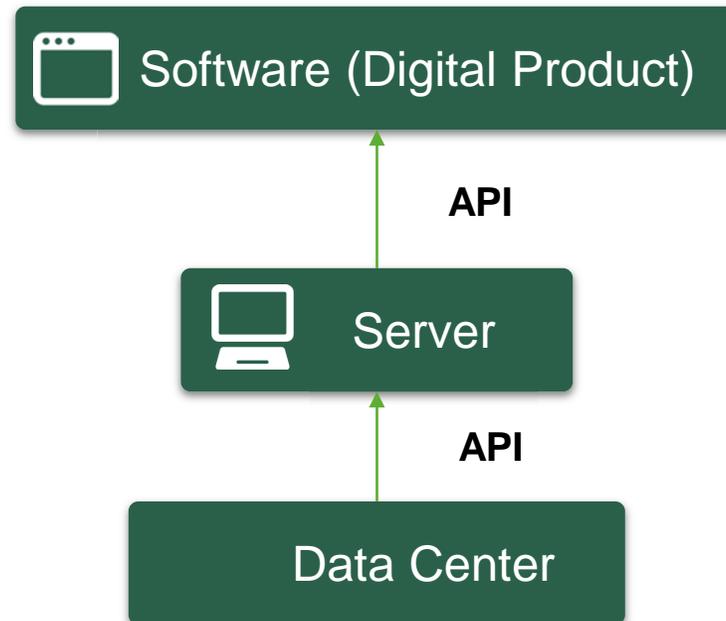


# Energie- und Hardwareinanspruchnahmen von Software über den gesamten Lebenszyklus



- Energie- und Hardwareinanspruchnahmen von Software für den Prozess der Softwareentwicklung
- Erarbeitung von genormten Messverfahren/Methodiken für die Messung von Software im gesamten Softwareentwicklungszyklus

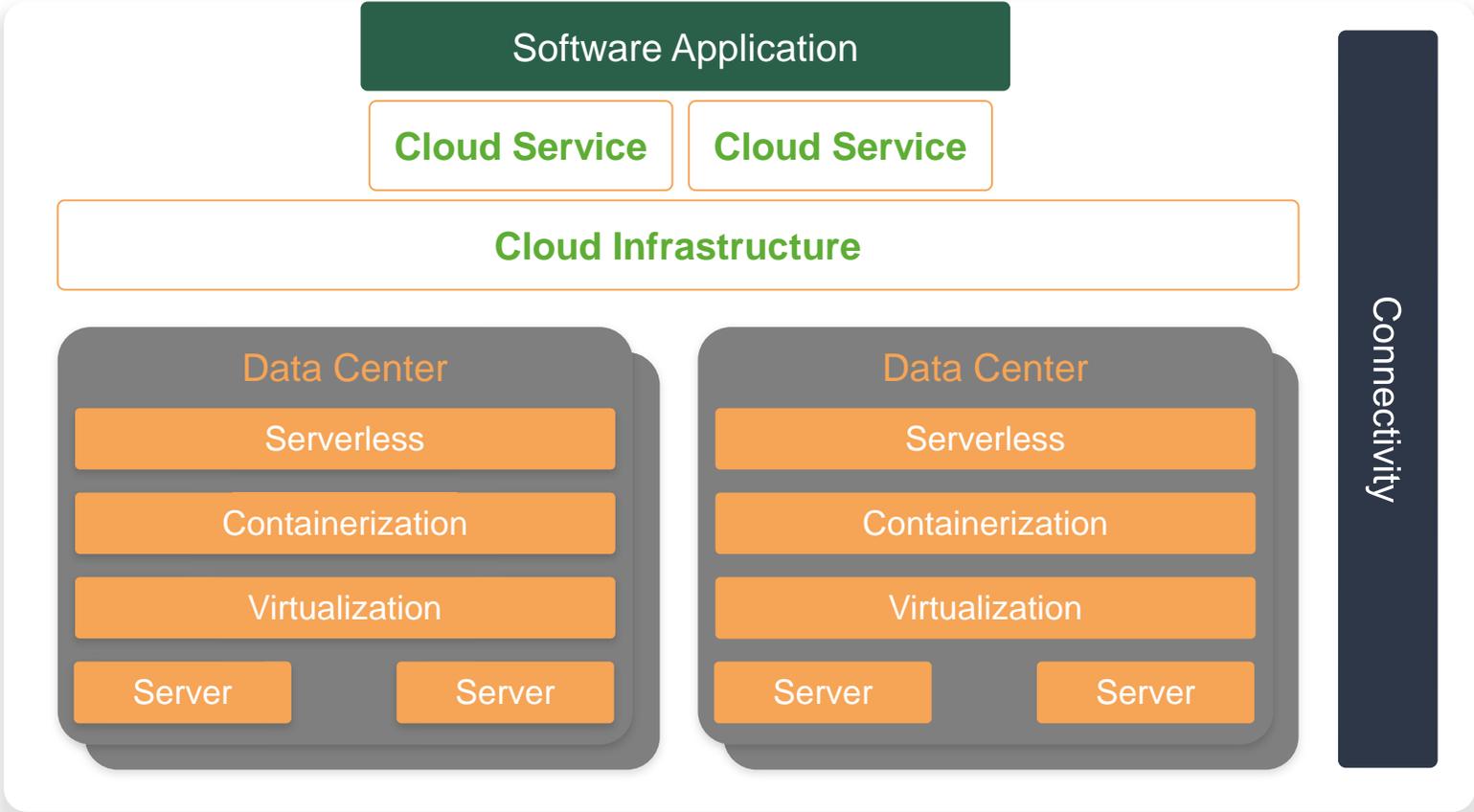
# In der Theorie sollte Softwaremessung einfach sein...



## API delivers:

- Operational impact:
  - Energy use for cooling, ...
  - Water use for cooling, ...
  - % of renewables available
  - fossil-fuel use, ...
- Embodied impact
  - Overall building environmental impact
  - ...

# Aber es gibt so viele Schichten bei Software...



Quelle: SDIA



# Forschungsprojekt SoftAWERE

- Das Messlabor misst die dynamischen Werte der CPU-Auslastung, Nutzung von RAM und Festplattenspeicher und der übertragenen Datenmengen, Leistungsaufnahme am IPMI-Chip
- Ausgehend von diesen Messwerten werden sowohl der anteilige Aufwand zur Herstellung der Hardware (embedded X) als auch der anteilige Umweltaufwand für die Betriebsphase (operational X) berechnet:
- Folgende Umweltwirkungen von Software ermittelt werden ermittelt:
  - **Abiotischer Rohstoffverbrauch - ADP**  
(bewertet Inanspruchnahme von Mineralien und fossilen Rohstoffen)
  - **Treibhausgaspotenzial - GWP**  
(bewertet relativen Beitrag zum Treibhausgaseffekt und die Erwärmungswirkung)
  - **Kumulierter Energieaufwand – KEA**  
(Energieaufwand für Herstellung, Nutzung und Entsorgung)
  - **Wasserverbrauch – Water Usage**  
(bewertet Umweltauswirkungen der Wasserbereitstellung)



# Hardware – LCA Datenbank (Boavizta)

Preview Code Blame 1227 Lines (1227 loc) · 367 KB

Raw [Copy] [Download] [Edit]

Search this file

	manufacturer	name	category	subcategory	gwp_total	gwp_use_ratio
1						
2	Apple	13-inch MacBook Air (M1 CPU) 256GB - 2020	Workplace	Laptop	161	0.1500
3	Apple	13-inch MacBook Air (M1 CPU) 512GB - 2020	Workplace	Laptop	181	0.1500
4	Apple	13-inch MacBook Air with Retina display (1.1GHz dual-core CPU) 256GB - 2020	Workplace	Laptop	174	0.1500
5	Apple	13-inch MacBook Air with Retina display (1.1GHz quad-core CPU) 512GB - 2020	Workplace	Laptop	202	0.1500
6	Apple	13-inch MacBook Pro (1.4GHz quad-core CPU) 256GB - 2020	Workplace	Laptop	217	0.1700
7	Apple	13-inch MacBook Pro (2.0GHz quad-core CPU) 512GB - 2020	Workplace	Laptop	251	0.1700
8	Apple	13-inch MacBook Pro (Four Thunderbolt 3 ports) 1TB - 2020	Workplace	Laptop	298	0.1900
9	Apple	13-inch MacBook Pro (Four Thunderbolt 3 ports) 512GB - 2020	Workplace	Laptop	251	0.1900
10	Apple	13-inch MacBook Pro (M1 CPU) 256GB - 2020	Workplace	Laptop	185	0.1900
11	Apple	13-inch MacBook Pro (M1 CPU) 512GB - 2020	Workplace	Laptop	207	0.1900
12	Apple	13-inch MacBook Pro (Two Thunderbolt 3 ports) 256GB - 2020	Workplace	Laptop	212	0.1900
13	Apple	13-inch MacBook Pro (Two Thunderbolt 3 ports) 512GB - 2020	Workplace	Laptop	233	0.1900
14	Apple	13-inch MacBook Pro with Retina display (2.7GHz CPU) 128GB - 2015	Workplace	Laptop	439	0.1200
15	Apple	14-inch MacBook Pro (M1 Pro 10-core CPU and 16-core GPU) 1TB - 2021	Workplace	Laptop	307	0.22
16	Apple	14-inch MacBook Pro (M1 Pro 8-core CPU and 14-core GPU) 512GB - 2021	Workplace	Laptop	271	0.22
17	Apple	14-inch MacBook Pro with 84GB	Workplace	Laptop	242.0	0.2

## Digital Resource Primitives\*

- Energy usage
- Water usage
- CO2-eq kg (embodied)
- Resource usage (ADP)

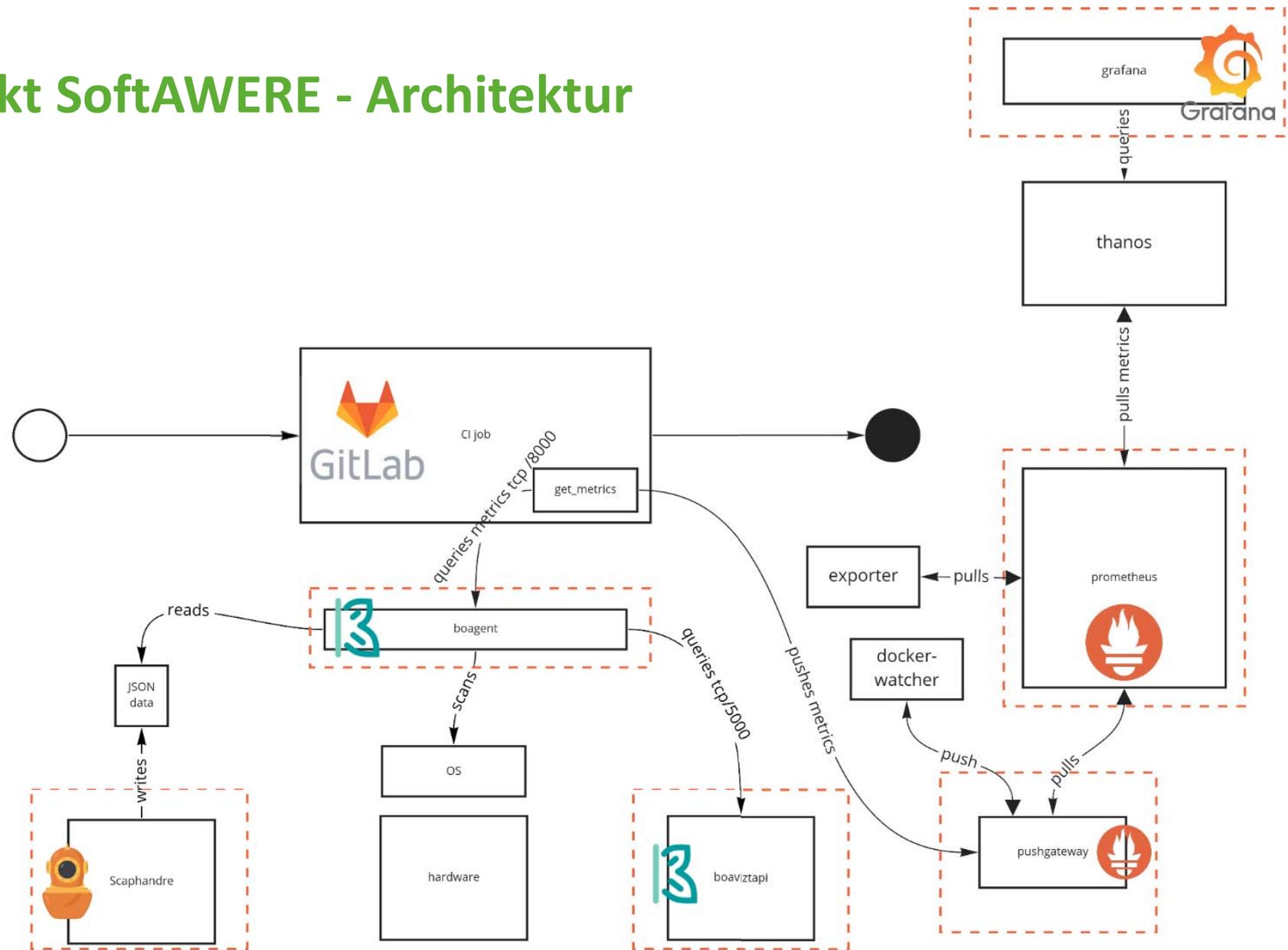
# Life Cycle Assessment API

```
curl -X 'POST' \
  'https://api.boavizta.org/v1/server/?verbose=false' \
  -H 'accept: application/json' \
  -H 'Content-Type: application/json' \
  -d '{
    "model": {
      "type": "rack"
    },
    "configuration": {
      "cpu": {
        "units": 2,
        "core_units": 12,
        "die_size_per_core": 0.245
      },
      "ram": [
        {
          "units": 12,
          "capacity": 64,
          "density": 1.79
        }
      ],
      "disk": [
        {
          "units": 4,
          "type": "ssd",
          "capacity": 400,
          "density": 50.6
        }
      ],
      "power_supply": {
        "units": 2,
        "unit_weight": 2.99
      }
    }
  }'
```

## Digital Resource Primitives\*

- Energy usage
- Water usage
- CO2-eq kg (embodied)
- Resource usage (ADP)

# Forschungsprojekt SoftAWERE - Architektur



# Die Messungen von SoftAWERE sind Teil vom CI/CD-Prozess

The screenshot displays the GitLab web interface. On the left sidebar, the 'CI/CD' option is highlighted with a red arrow. In the main content area, the 'Pipelines' menu item is also highlighted with a red arrow. The interface shows a project named 'Fork Me' with a notification about the end of GitLab Ultimate benefits. Below the notification, the project name 'Fork Me' is displayed with a globe icon. A dropdown menu is open, listing 'Pipelines', 'Editor', 'Jobs', 'Artifacts', and 'Schedules'. The 'Pipelines' item is selected. Below the menu, there are buttons for 'main', 'fork-me /', and '+'. At the bottom, there are buttons for 'README', 'CI/CD configuration', 'Add LICENSE', and 'Add CHANGELOG'. A table at the bottom shows a file named '.gitlab-ci.yml' with a 'Rename' option.

sdialliance > Hackathon > Fork Me

Your project is no longer receiving GitLab Ultimate benefits as of 2022-07-14. Please refer to the [FAQ](#) for more information.

**Fork Me** 🌐

5990479

inch 0 Tags 737 KB Project Storage

Jobs

Artifacts

Schedules

ress test job

authored 1 week ago

main fork-me / +

README CI/CD configuration Add LICENSE Add CHANGELOG

Name	Last commit
 .gitlab-ci.yml	Rename 1

## Ergebnisse – werden am Ende des Logfiles angezeigt

```
348     Long_unit = seconds
349 embedded_emissions :
350     value = 0.0009091197361745306
351     description = Embedded carbon emissions (manufacturing phase)
352     type = gauge
353     unit = kg CO2eq
354     long_unit = kilograms CO2 equivalent
355 embedded_abiotic_resources_depletion :
356     value = 1.8375824454591576e-07
357     description = Embedded abiotic resources consumed (manufacturing phase)
358     type = gauge
359     unit = kg Sbeq
360     long_unit = kilograms ADP equivalent
361 embedded_primary_energy :
362     value = 0.012379502790461693
363     description = Embedded primary energy consumed (manufacturing phase)
364     type = gauge
365     unit = MJ
366     long_unit = Mega Joules
367 🏠 Global Warming Potential = Operational Emissions + Embedded Emissions
368 🏠 0.009209119736174531 kg CO2eq = 0.0083 + 0.0009091197361745306
369 ↙ Abiotic Resources Depletion = Operational Abiotic Resources depletion + Embedded Abiotic Resources depletion
370 ↙ 1.8436224454591576e-07 kg Sbeq = 6.04e-10 + 1.8375824454591576e-07
371 🏠 Primary Energy Consumption = Operational Primary Energy consumption + Embedded Primary Energy Consumption
372 🏠 0.1687795027904617 MJ = 0.1564 + 0.012379502790461693
373 📄 📄 Get complete data and analysis at https://grafana.eco-qube.eu/d/hzpu8ydVz/ci-cd-impacts?orgId=1&refresh=1m&var=PROJECT\_ID=45990479&var=PIPELINE\_ID=866777529&var=JOB\_ID=4281515721
374 Aggregated data from all projects tested on this instance are accessible here : https://db.softaware.hubblo.org/dashboard/#/nc/view/66a34add-e5f3-4a6a-a1f6-4a42739af7a7
375 Cleaning up project directory and file based variables
```

# In SoftAWERE sind 3 Handlungsfelder für Standardisierung entstanden

## Cloud Infrastruktur-Umgebung

$$E_{tot} = E_{cpu} + E_{mem} + E_{IO} + E_{net} + \beta_{idle}$$

- Fehlende Schnittstellen in Cloud Umgebungen hindern die „echte“ Messung
- Mathematische Formeln liefern Annäherungsmethode für die Schätzung des Energieverbrauchs

## Einbettung in Test-Prozess

ISO/IEC/IEEE 29119-1:2022

- SoftAWERE-Full Methode kann für die Einbettung in Test Praktiken (CI/CD verwendet werden)
- Umweltwirkung als Qualitätsmerkmal von Software

## Transparenz-kennzeichnung

 Soft Energy 723 Ws

### Environmental Facts

1 minute of video streamed

Climate change 0.1 kg CO2-eq

Depletion of abiotic resources

- minerals and metals 0.1 kg Sb-eq

- fossil fuels 0.1 MJ

Primary energy use

- renewable 1 MJ

- non-renewable 1 MJ

Fresh water 1 m3

Hazardous waste disposed 1 kg

# Ziel – Transparenzkennzeichnung von Software

**Software Application**

**Example:** Consumes 100 digital resource units for 1 video stream of 1 minute

Environmental product declaration (EPD) for software

**Environmental Facts**

1 minute of video streamed

---

**Climate change** 0.1 kg CO2-eq

**Depletion of abiotic resources**

- minerals and metals 0.1 kg Sb-eq
- fossil fuels 0.1 MJ

**Primary energy use**

- renewable 1 MJ
- non-renewable 1 MJ

**Fresh water** 1 m3

**Hazardous waste disposed** 1 kg

**Vielen Dank!  
Fragen?**

**Anna Zagorski**

**[anna.zagorski@uba.de](mailto:anna.zagorski@uba.de)**





greenict.connect24



greenict.connect24

# Grün, günstig, unabhängig - die Quadratur des Kreises für Europäische high end Chips?

---

Jens Krüger - Fraunhofer ITWM



Framework Partnership Agreement in European low-power microprocessor technologies  
ICT-42-2017

Topic Call for proposal

Internal navigation

## H2020-JTI-EuroHPC-2020-02 - EuroHPC-2020-02 - Specific Grant Agreement European Low-Power Microprocessor Technologies 2020

Zeitraum März 2022 bis Dezember 2024

Project duration 1 Dec 2021 - 31 May 2025

Project locations Spain

Overall budget €30 000 000

CALL FOR PROPOSALS | Closed

Framework Partnership Agreement (FPA) for developing a large-scale European initiative for High Performance Computing (HPC) ecosystem based on RISC-V

The aim is to establish a partnership between the EuroHPC JU and a consortium of industry,

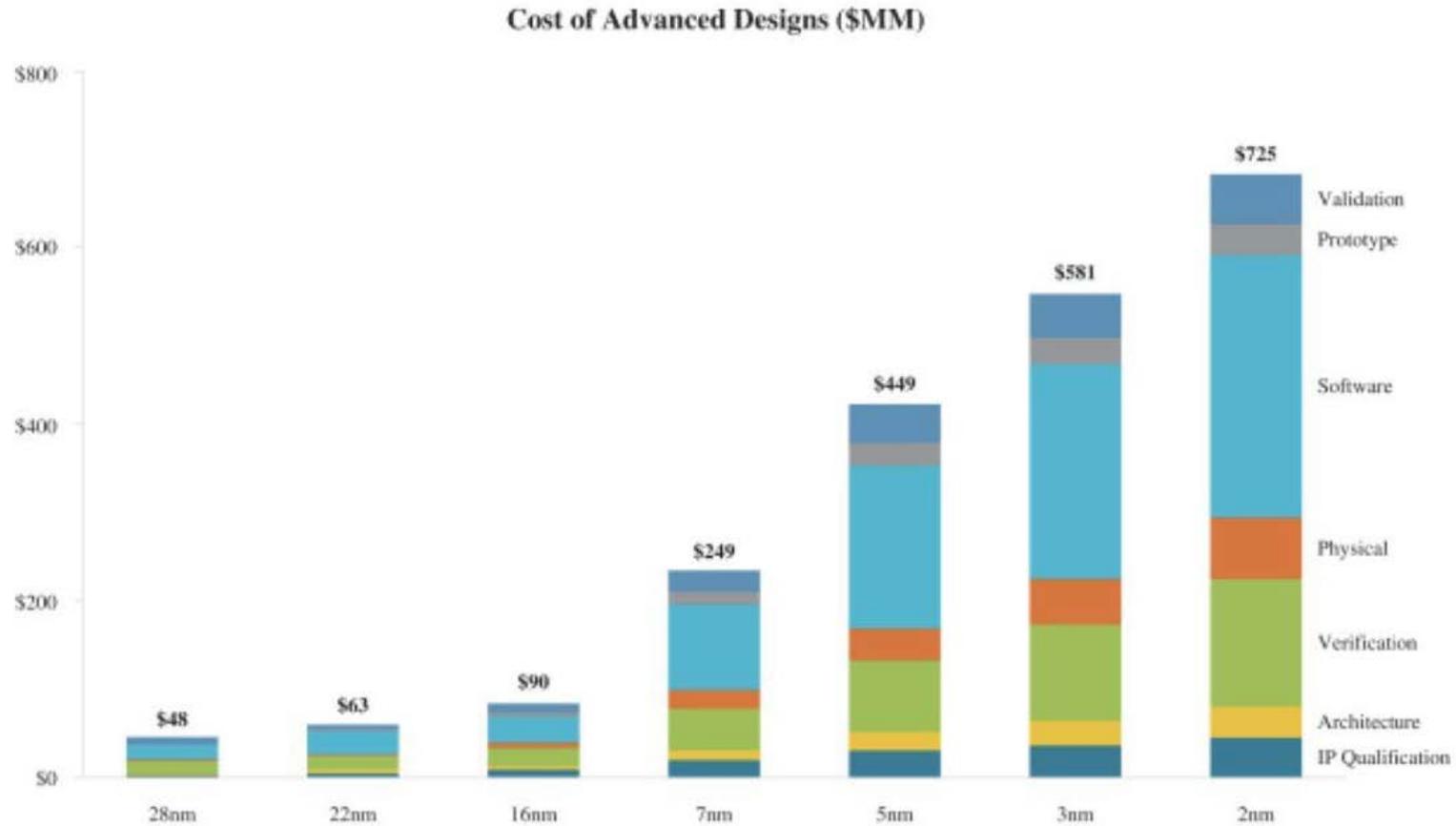


# Constraints

---

- **Energy Efficient** - To fit into the Green Deal agenda
- **Independent** – To support European sovereignty
- **Competitive** – To be able to exploit the results commercially
- and
- **Cheap** – To fit into the limited budget available

# Development Costs



Source: IBS July 2022.

# Chips tend to become bigger

Typ	Release	Takt (GHz)	Stack	pro Stack (1024 bit)	
				Kapazität (2 <sup>30</sup> Byte)	Datenrate (GByte/s)
HBM 1	Okt. 2013	0,5		1×4 = 4	128
HBM 2	Jan. 2016	1,0...1,2	8× 128 bit	1×8 = 8	256...307
HBM 2E	Aug. 2019	1,8		2×8 = 16	461
HBM 3	Okt. 2021	3,2	16×	2×12 = 24	819
HBM 4	2026	5,6	64 bit	2×16 = 32	1434

Source: [https://de.wikipedia.org/wiki/High\\_Bandwidth\\_Memory](https://de.wikipedia.org/wiki/High_Bandwidth_Memory)

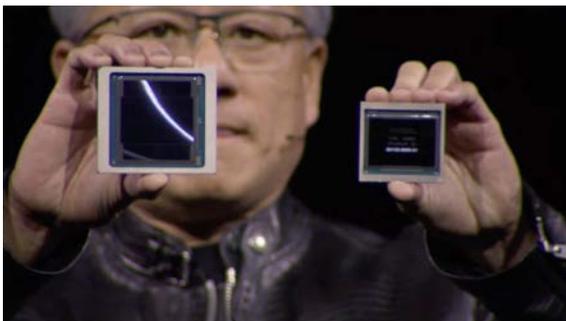
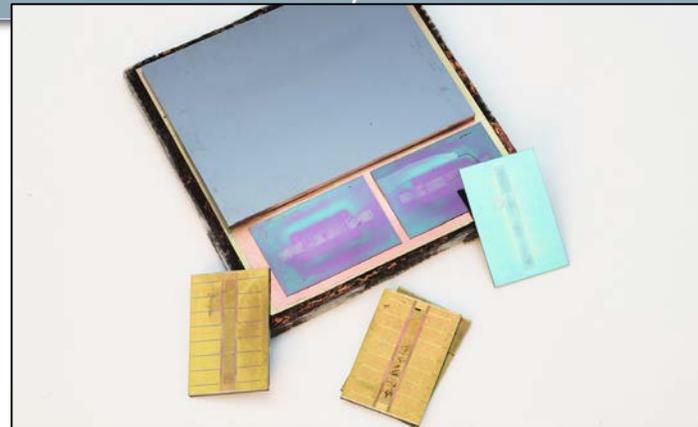


Bild: Nvidia



(CC0 1.0) Fritzchens Fritz; <https://www.flickr.com/photos/130561288@N04/>

Entity	Population (2023)	Area (Km <sup>2</sup> )	Density (P/Km <sup>2</sup> )	World Population Share	GDP (trillion \$ 2023)
<u>China</u>	1,422,584,933	9,388,211	152	17.6 %	\$ 19.37
<u>E.U.</u>	450,657,522	3,997,838	113	5.6 %	\$ 17.82
<u>U.S.A.</u>	343,477,335	9,147,420	38	4.2 %	\$ 26.85
<u>Japan</u>	124,370,947	364,555	341	1.5 %	\$ 4.41

<https://www.worldometers.info/population/china-eu-usa-japan-comparison/>



Freepik License: Free

# Is it possible to be successful?

- Open Source Hardware
- Open Source Software Stack
- Open Source EDA (?)
- Open Source IPs (?)
- Hardware Software Co-Design
- Domain Specific Acceleration



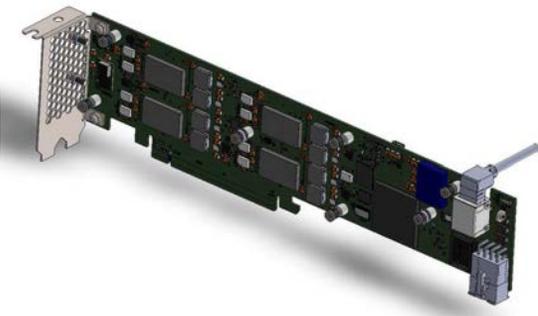
CC BY-NC-ND 2.0; flickr.com



# The STX Project

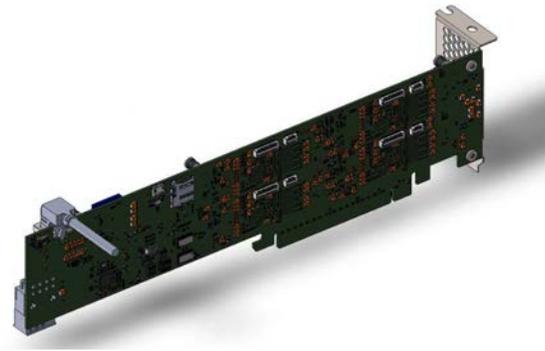
## The processor module:

- 577 RISC-V cores + special DSPs
- 10 MB SRAM
- Linux capable RISC-V 64bit core
- PCIe Gen5 x4
- HBM2e



## The PCB:

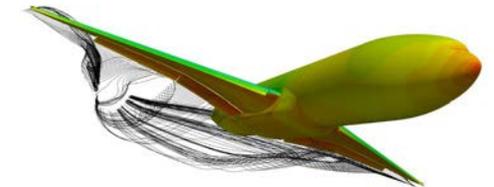
- 4x STX packages @ ~50W TDP
- ARM Board Controller
- Ethernet 1000T Base (1Gb/s) for remote access
- PCIe Gen5 x16



EPAC 1.5 Testchip

## The domain:

- Large Scale Simulations (CFD, QCD, RTM, ...)
- Focus: Double and Single Precision



[https://su2code.github.io/img/hl\\_crm\\_01.png](https://su2code.github.io/img/hl_crm_01.png)



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



greenict.connect24



greenict.connect24

# Energieeffiziente Point-of-Load Wandler für Prozessoren in Rechenzentren

---

**Stefan Zeltner,**

**Jan Hager, Bernd Seliger, Gerson Ayllon, Daniel Haager, Bernd Eckard - Fraunhofer IISB**

# Energieeffiziente Point-of-Load Wandler für Prozessoren in Rechenzentren

## Um wieviel Energie geht es?

### 2022

Bruttostromverbrauch Deutschland 2022 <sup>1)</sup>	ca. 550 TWh
IKT-Energiebedarf <sup>*)</sup> in den Jahren 2015... 2025 <sup>2)</sup>	ca. 45 TWh
IKT-Infrastrukturen im Jahr 2022 <sup>3)</sup>	ca. 24 TWh
Übertragungsnetze <sup>3)</sup>	ca. 6 TWh
Rechenzentren <sup>3) 4)</sup>	ca. <b>18 TWh</b>
<b>Server &amp; Speicher <sup>4)</sup></b>	<b>ca. 11 TWh</b>

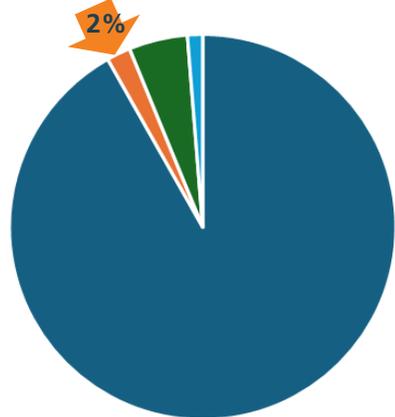
### 2030

Prognostizierter Verbrauch im Jahr 2030 <sup>5)</sup>	ca. 655 TWh
Annahme für das Jahr 2030: IKT benötigt ca. 10 % <sup>**)</sup>	ca. 65 TWh
IKT-Infrastrukturen im Jahr 2030 <sup>3)</sup>	ca. 18...30...58 TWh
Übertragungsnetze <sup>3)</sup>	ca. 4 TWh
Rechenzentren <sup>3) 4)</sup>	ca. <b>26 TWh</b>
<b>Server &amp; Speicher <sup>4)</sup></b>	<b>ca. 16 TWh</b>

**+45%**

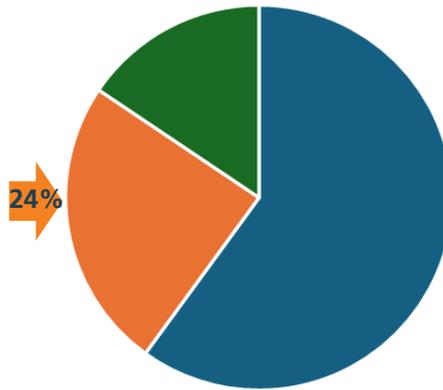
Vergleich mit Stromverbrauch

■ Rest ■ Server & Speicher ■ IKT Rest ■ Rechenzentrum Rest



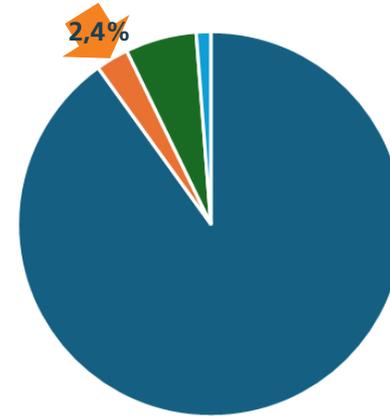
Vergleich mit IKT Bedarf

■ IKT Rest ■ Server & Speicher ■ Rechenzentrum Rest



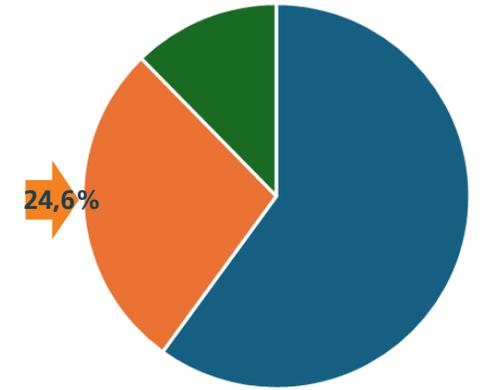
Vergleich mit Stromverbrauch

■ Rest ■ Server & Speicher ■ IKT Rest ■ Rechenzentrum Rest



Vergleich mit IKT Bedarf

■ IKT Rest ■ Server & Speicher ■ Rechenzentrum Rest



<sup>\*)</sup> Gebäudeversorgung, Öffentlichkeit, IKT Haushalte, IKT Arbeitsplatz, Telekommunikation, Rechenzentren

<sup>\*\*)</sup> mit Daten aus <sup>2)</sup> prognostiziert

<sup>1)</sup> AGEB Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2023

<sup>2)</sup> Stobbe et al.: Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland, FhG IZM & Borderstep Institut, 2015

<sup>3)</sup> Büro für Technologiefolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag: Energieverbrauch der IKT-Infrastruktur, TAB-Fokus Nr. 35 zum Arbeitsbericht Nr. 198, 2022

<sup>4)</sup> Bitcom e.V.: Rechenzentren in Deutschland Aktuelle Marktentwicklungen – Update 2023

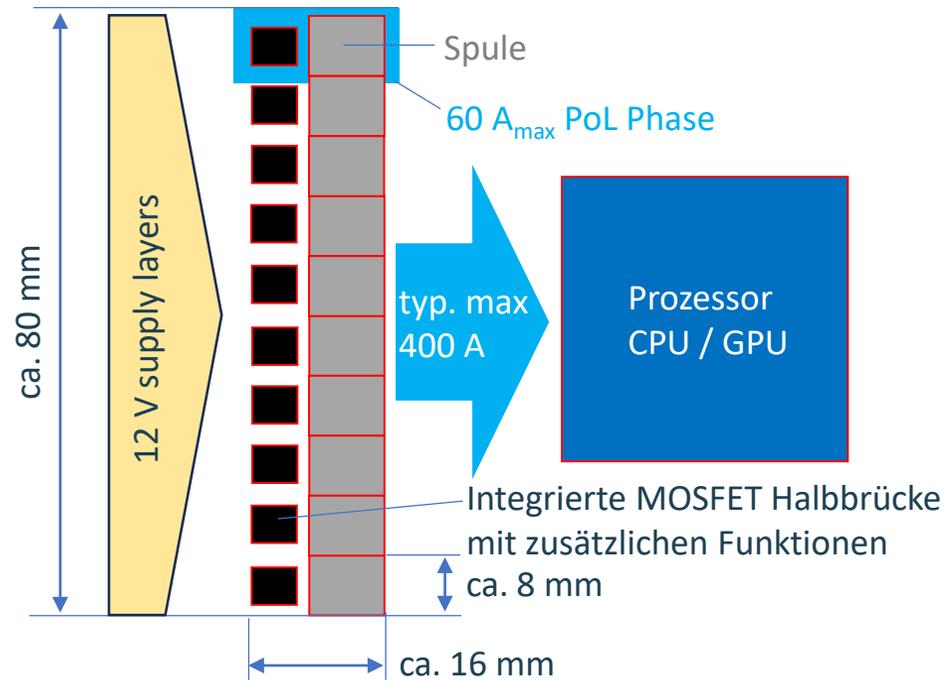
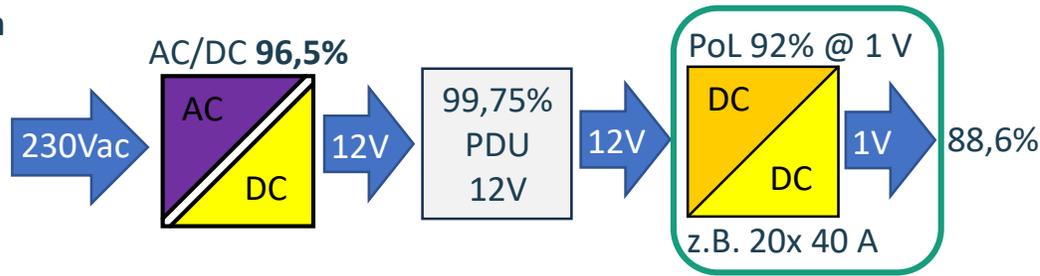
<sup>5)</sup> Pressekonferenz des Wirtschaftsministers Peter Altmaier am 13.7.2021

# Energieeffiziente Point-of-Load Wandler für Prozessoren in Rechenzentren

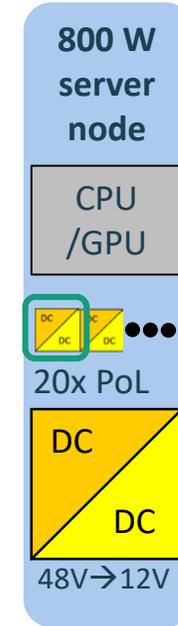
Was machen PoL-Wandler und welche Herausforderungen gibt es?

## Typ. Rack-Server Design

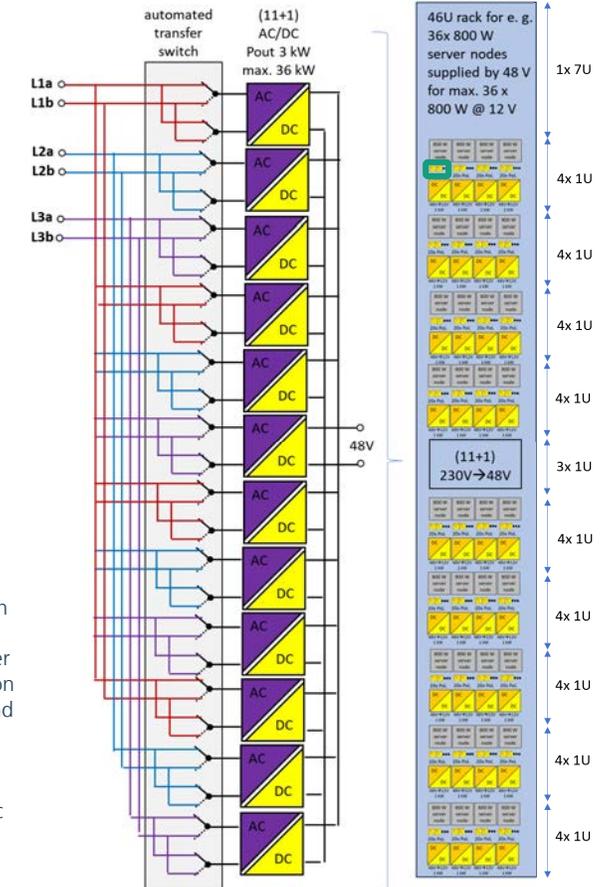
2x 230 V<sub>AC</sub> or  
380 V<sub>DC</sub> → 12 V  
& 12 V → 1 V  
für 800 W, typ. Last ca.  
63% (500 W)



## High density Rack-Server design for 36x 800 W server nodes in Hyper Scale Data Center \*)



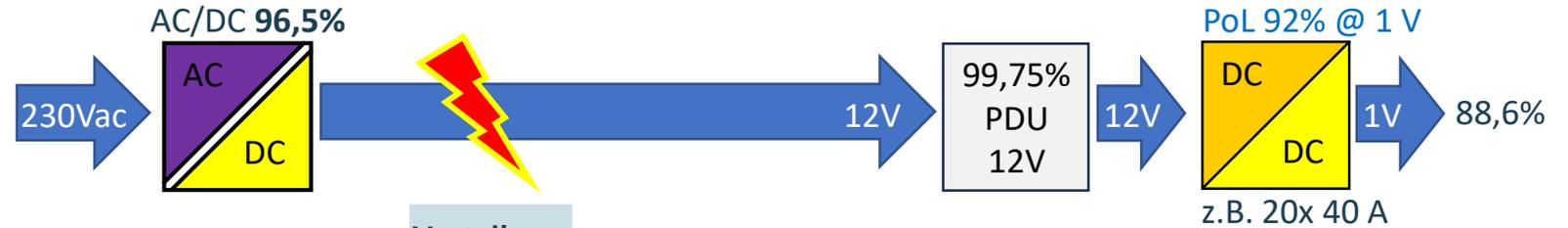
\*) proposal by:  
Zhenghui Wu et al.: High Power Density Rack Design Optimal for Hyper Scale Data Center Carbon Emission Reduction, 22nd IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 2023 (Baidu & Intel)



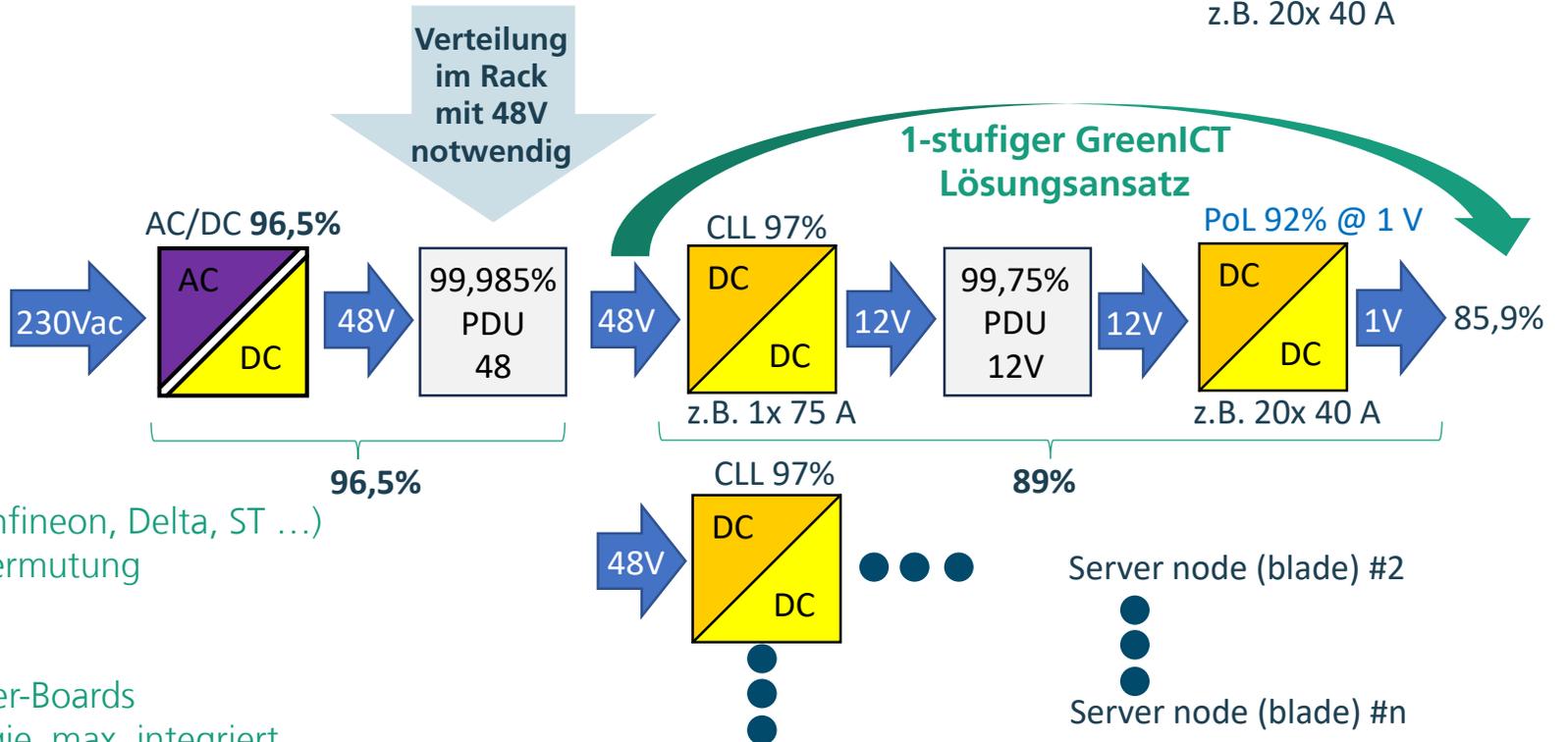
# Energieeffiziente Point-of-Load Wandler für Prozessoren in Rechenzentren

## Lösungsansatz in GreenICT → 1-stufiger 48 V / 1 V PoL

**Rack-Server design:** typ. 2x (230 V<sub>AC</sub> or 380 V<sub>DC</sub> → 12 V) & 12 V → 1 V für 800 W, @ typ. 63% Last (500 W)



**Blade-Server design:** (230 V<sub>AC</sub> or 380 V<sub>DC</sub> → 48 V) & 48 V → 12 V & 12 V → 1 V für 800 W, @ typ. 63% Last (500 W)



### 1-stufiger Lösungsansatz ist nicht neu

(Beispiele gezeigt z.B. von: CPES, IISB, TI, Infineon, Delta, ST ...)

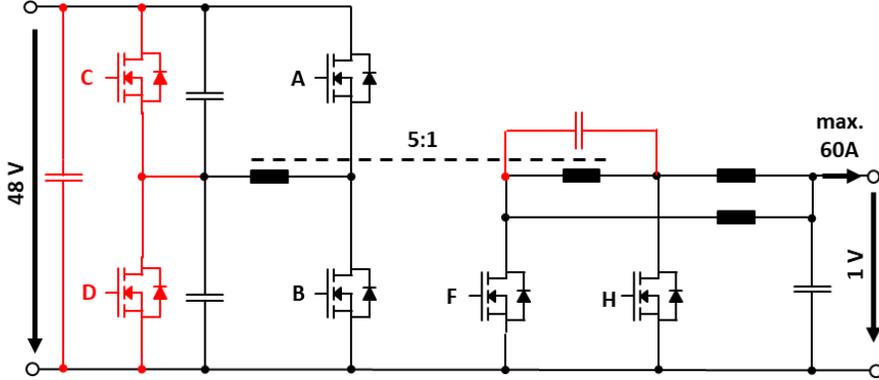
aber hat sich bisher kaum durchgesetzt; Vermutung

- aufwändig
- zu hoher Flächenbedarf
- nicht kompatibel zu bestehenden Server-Boards
- Standard-Lösung ist einfachste Topologie, max. integriert
- Standard-Lösung wird weiter optimiert (siehe: MPS 5V → 1V, Infineon...)

# Energieeffiziente Point-of-Load Wandler für Prozessoren in Rechenzentren

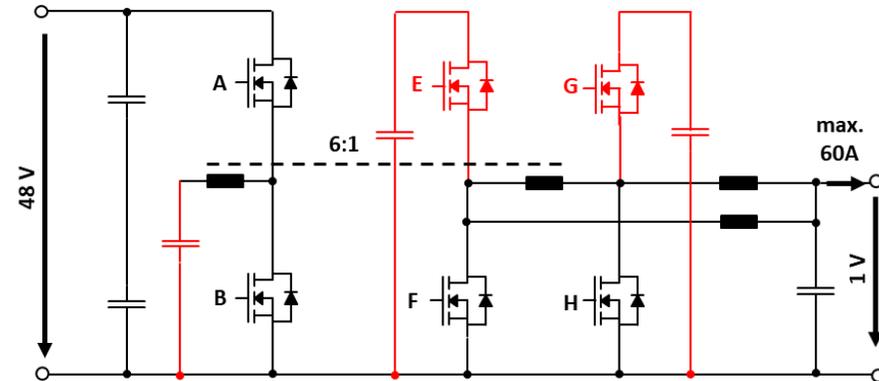
Lösungsansatz in GreenICT → 1-stufiger 48 V / 1 V PoL → iisb<sup>2</sup> Topologie

Stand der Technik für 1-stufige Lösung



## GreenICT Lösungsansatz

integrated, galvanically isolated, separated buck/boost topology (iisb<sup>2</sup>)<sup>\*)</sup>



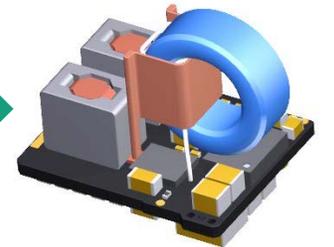
<sup>\*)</sup> hier gezeigt: eine Variante der iisb<sup>2</sup> Topologie



Stand der Technik  
Bauelemente  
nutzen



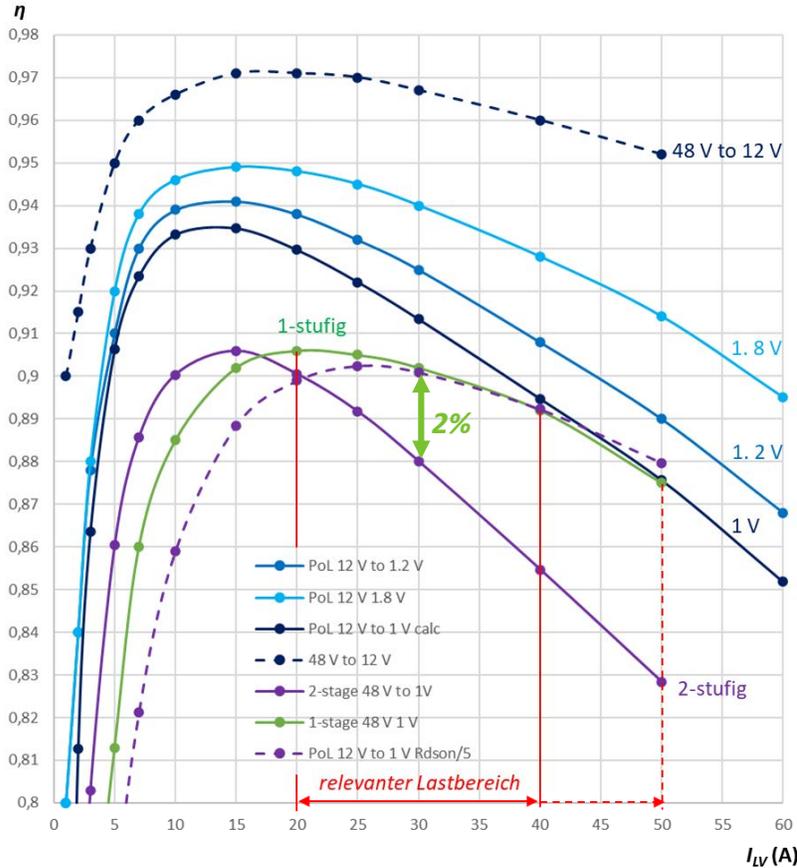
iisb<sup>2</sup> Topologie (Demonstrator)



# Energieeffiziente Point-of-Load Wandler für Prozessoren in Rechenzentren

Vergleich von 2-stufigen und 1-stufigen Lösungen ist nicht trivial

## Stand der Technik



ca. 2% mehr Wirkungsgrad im relevanten Lastbereich → **ca. 2%** Energieeinsparung bedeutet ca. 320 GWh pro Jahr

Initial efficiency (@ 75% = 30A = Mitte rel. Lastbereich)

$$\eta_1 = 0,95 \cdot 0,965 \cdot 0,967 \cdot 0,996 \cdot 0,913 = 0,95 \cdot 0,965 \cdot 0,88 = 80,7\%$$

Improved efficiency (@ 75% = 30A = Mitte rel. Lastbereich)

$$\eta_2 = 0,95 \cdot 0,965 \cdot 0,90 = 82,5\%$$

loss power savings  $\alpha = 11,3\%$

input power savings  $\beta = -2,18\%$

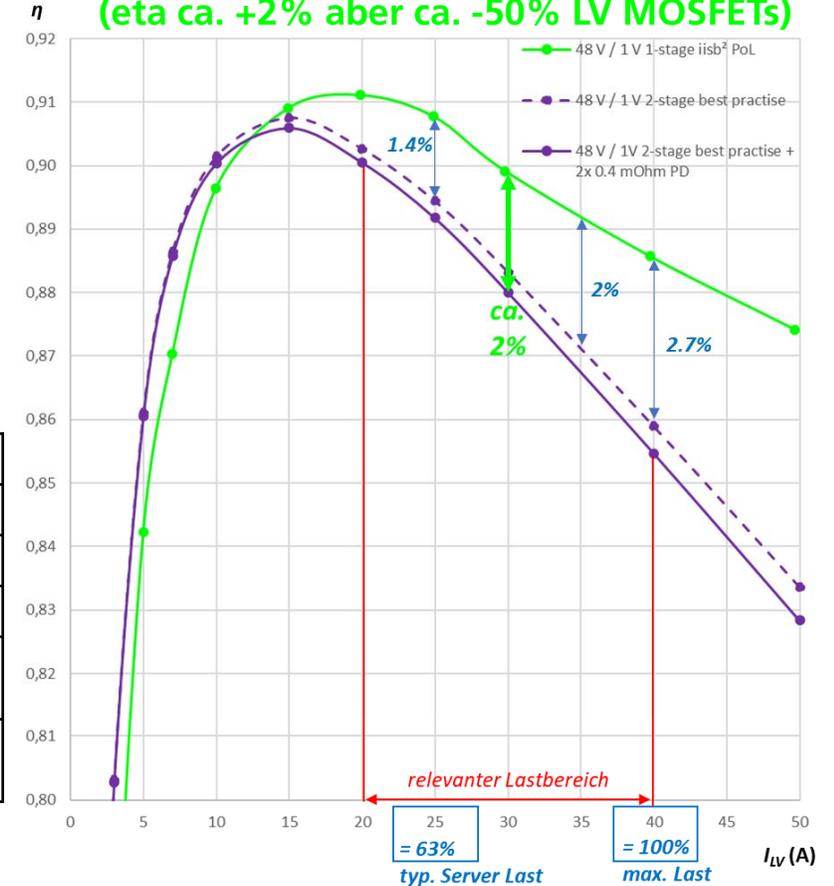
Gesamt @ 30A (1x PoL)

	$\eta_1$	$\eta_2$	diff
Eta	80,7	82,5	1,8
$P_{in}$	37,17	36,36	0,81
$P_{loss}$	7,17	6,36	0,81
$\alpha$	$\frac{\Delta P_{loss}/P_{loss1}}{(\eta_2 - \eta_1)/(\eta_2(1 - \eta_1))} = 11,3\%$		
$\beta$	$\frac{\Delta P_{loss}/P_{in1}}{(\eta_1 - \eta_2)/\eta_2} = -2,18\%$		

nur 48V/1V @ 30A (1x PoL)

	$\eta_1$	$\eta_2$	diff
Eta	88	90	2
$P_{in}$	34,09	33,33	0,76
$P_{loss}$	4,09	3,33	0,76
$\alpha$	$\frac{\Delta P_{loss}/P_{loss1}}{(\eta_2 - \eta_1)/(\eta_2(1 - \eta_1))} = 18,6\%$		
$\beta$	$\frac{\Delta P_{loss}/P_{in1}}{(\eta_1 - \eta_2)/\eta_2} = -2,23\%$		

## GreenICT Lösungsansatz (eta ca. +2% aber ca. -50% LV MOSFETs)



## Zusammenfassung

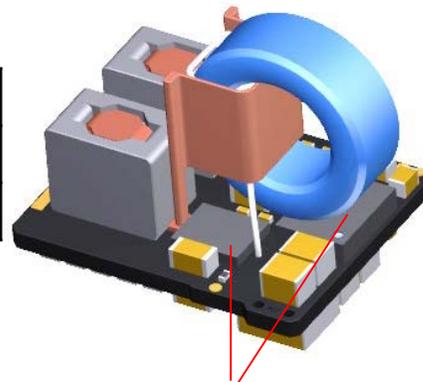
### GreenICT Lösung bietet:

- ca. +2% mehr Wirkungsgrad im relevanten Lastbereich
- ca. 320 GWh Energieeinsparung pro Jahr für deutsche Rechenzentren (= ca. 13x 5 MW Windrad mit je 5000 Volllaststunden)

	ca. Einsparung CO2äq pro Jahr im Jahr 2030		
kg/kWh	@ 0,4	@ 0,145	@ 0,28
kT	128	46	90

### und

- geringer zusätzlicher Aufwand
- Standard Bauteile verwendbar
- geringer zusätzlicher Flächenbedarf (40 A in ca. 10 mm Breite möglich)
- keine zusätzlichen PCB-Lagen notwendig
- kompatibel zu bestehenden Server-Boards



weitere Einsparungen durch bessere Halbleiter möglich, z.B. AIN

### GreenICT Lösung kostet (Abschätzung über Flächen und Gewichte):

- ca. +7 kg CO2äq pro 800 W Serverknoten in der Herstellung (maßgeblich für die ca. doppelt so hohe Anzahl an Si MOSFET Halbbrücken ICs) → nicht relevant im Vergleich zur Einsparung

	800 W Server Knoten @ 1 V / 800 A		
ca. CO2äq Werte in kg für Si/GaN, Ferrite, Cu	2-stufig 20x 40A	iisb <sup>2</sup> 20x 40A	Diff.
GaN or Si	1,76	1,84	+0,08
<b>Si MOSFET Ics</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>+6</b>
Ferrite for trans.	0,04	0,32	+0,28
Additional Cu for trans.	0,041	0,65	+0,609
Additional Cu for 12 V	0,0035	-	-0,0035
<b>Summe Herstellung CO2äq</b>	<b>7,84</b>	<b>14,81</b>	<b>+7,33</b>
Stromverbrauch in kWh pro Jahr @ 8760 h x 0,75x 800W x 1/0,807	6513	6371	-142
@ 8760 h x 0,75x 800W x 1/0,825			
CO2äq Betrieb kg pro Jahr @ 0,4kg/kWh	2605	2548	-57
CO2äq Betrieb kg pro Jahr @ 0,145kg/kWh	944	916	-28
CO2äq Betrieb kg pro Jahr @ 0,28kg/kWh	1824	1784	-40

- bevorzugt 1x integrierte Spulen-Trafo-Einheit



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



greenict.connect24





greenict.connect24

NOKIA

# Sustainable Chip Design for 6G in IPCEI ME/CT

Harry Kaib

Sustainability & Communication Lead  
IPCEI Germany

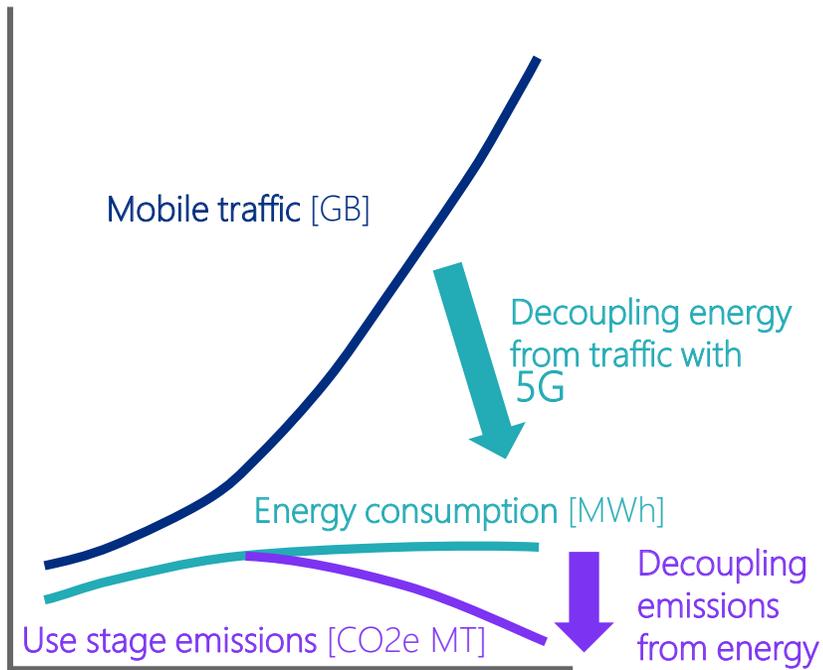
Nokia

16.10.2024



# Decoupling mobile traffic growth from energy and emissions growth

## Key drivers behind use stage carbon emissions



Previous radio generations with double digit annual traffic growth have experienced double digit energy growth

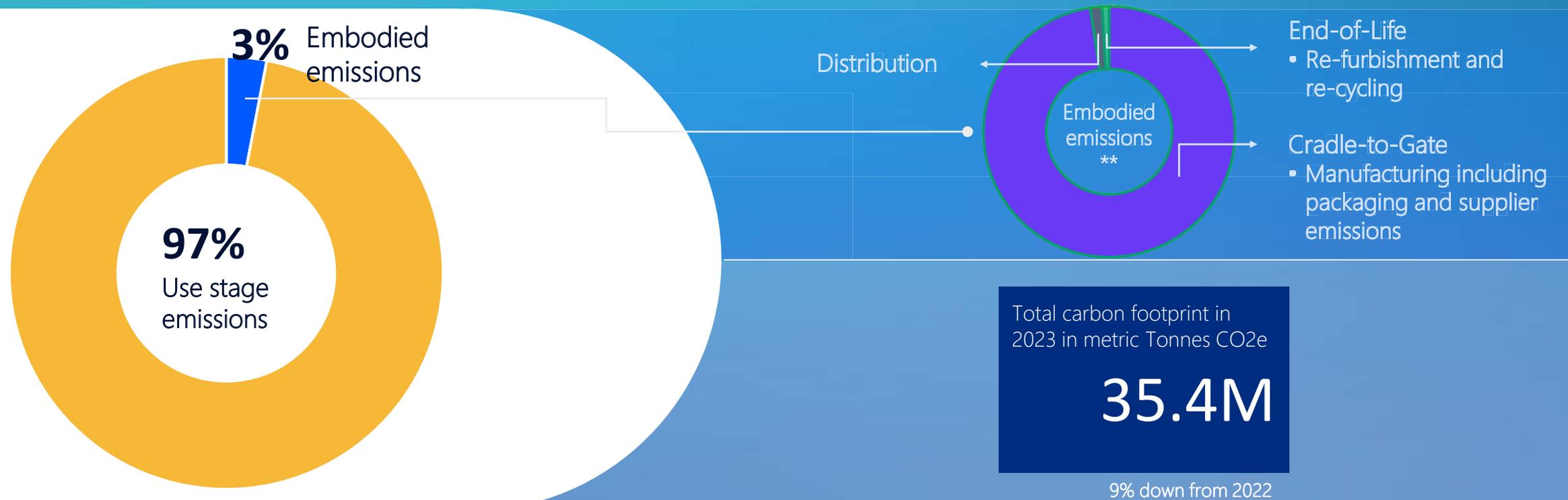
Decoupling energy consumption from traffic growth with 5G

- Modernize
- Optimize
- Automate

Carbon free energy needed for use stage net zero

# Nokia carbon footprint in 2023 reduced by 9% since 2022

Driven by improved product energy efficiency and increased use of renewable energy by our customers



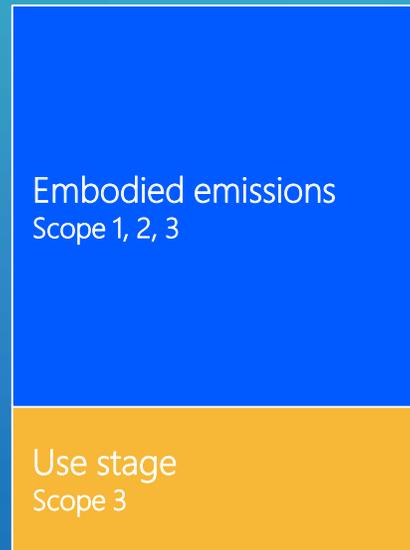
\*Source: [Nokia People & Planet 2023](#)

\*\* Indicative shares

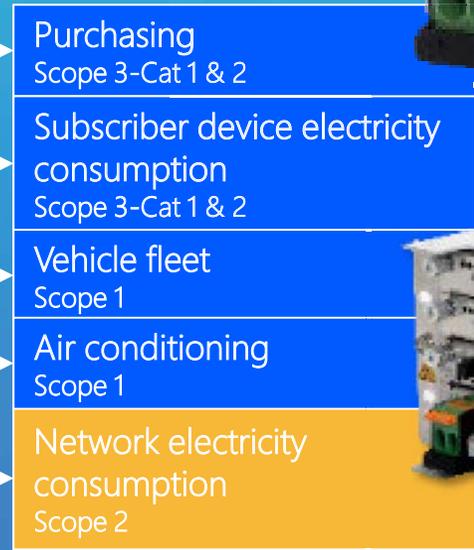
# How we can help our customers to reduce carbon emissions

## Examples of our Mobile Networks solutions

### Mobile Networks



### Our customers

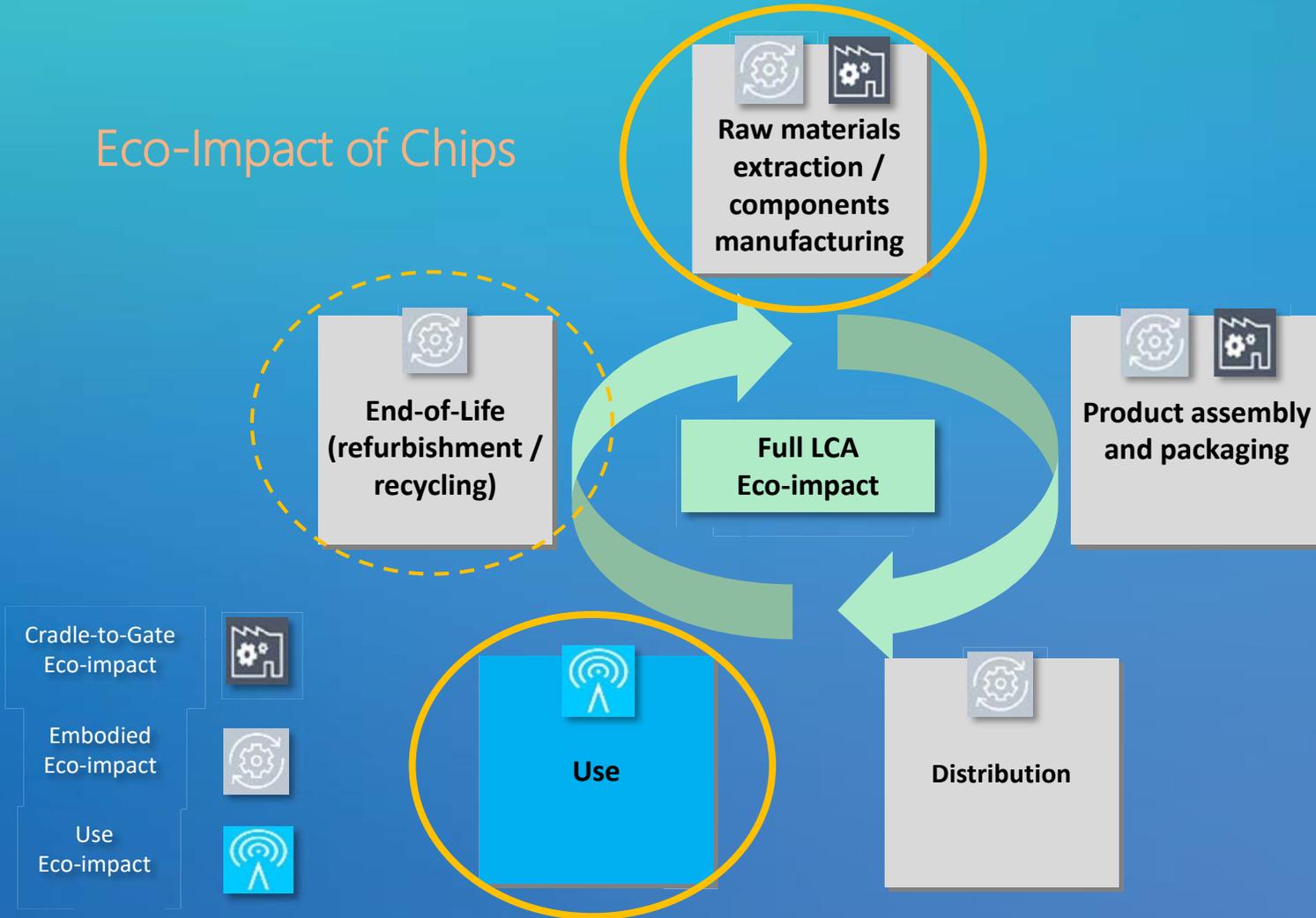


Value Pack UE or SW



# Life cycle stages for an ICT product

## Eco-Impact of Chips



# Nokia-Software Defined Radio for System on Chip Design

## Holistic Approach for Software, Hardware and Chip Design

### Software

Development, integration and testing on Cloud servers



### System-on-Chip Design

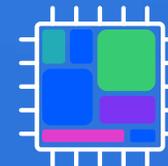
Concurrent design – avoid prototyping

Digital Twin



### 3nm Multichip Technology for SoC

High bandwidth - low energy consumption – flexibility



Communication Technologies  
5G / 6G / Optics



Supported by:

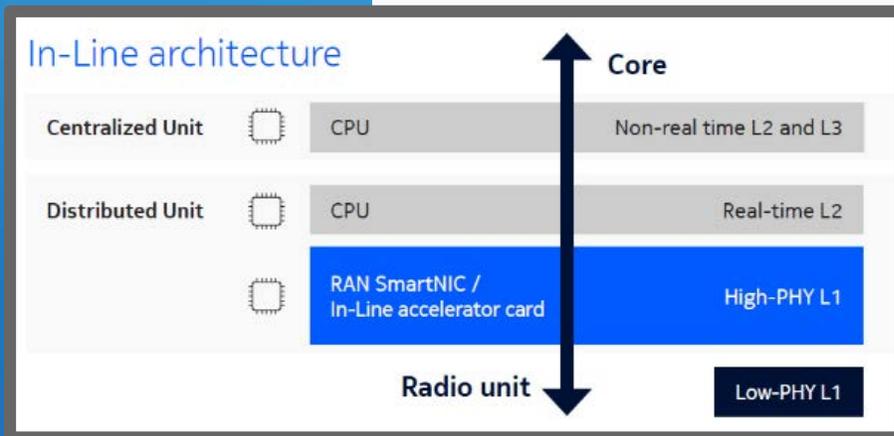
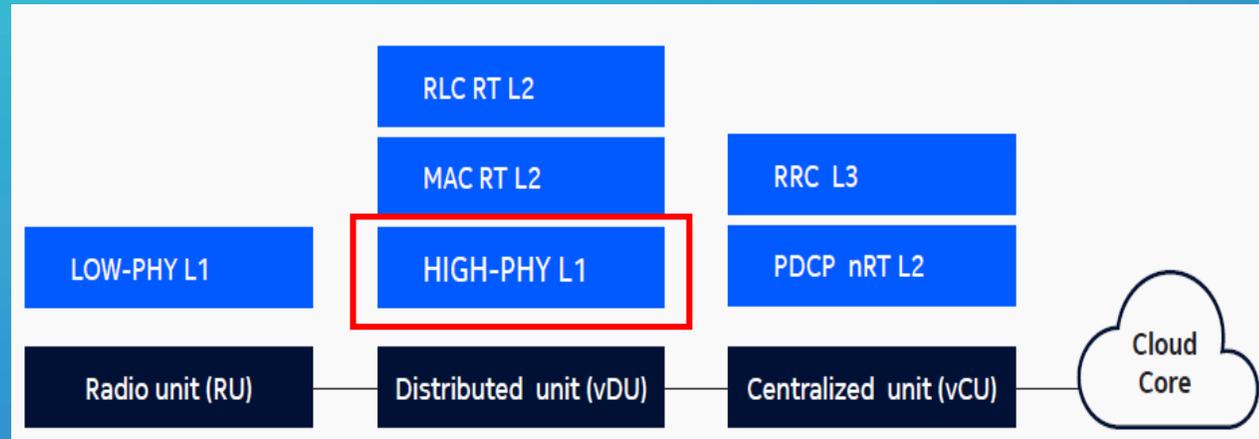


Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Climate Action

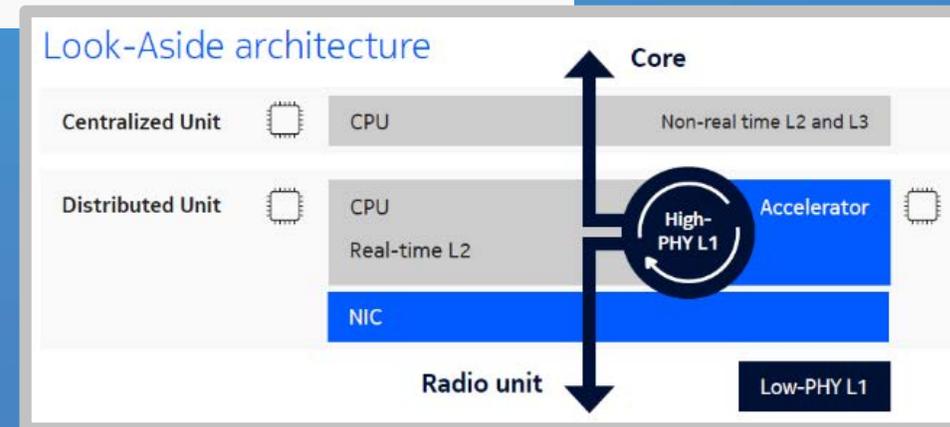
on the basis of a decision  
by the German Bundestag

# Example: Cloud RAN (Baseband) chip architecture options

Layer 1 real-time processing requires specialized computation power

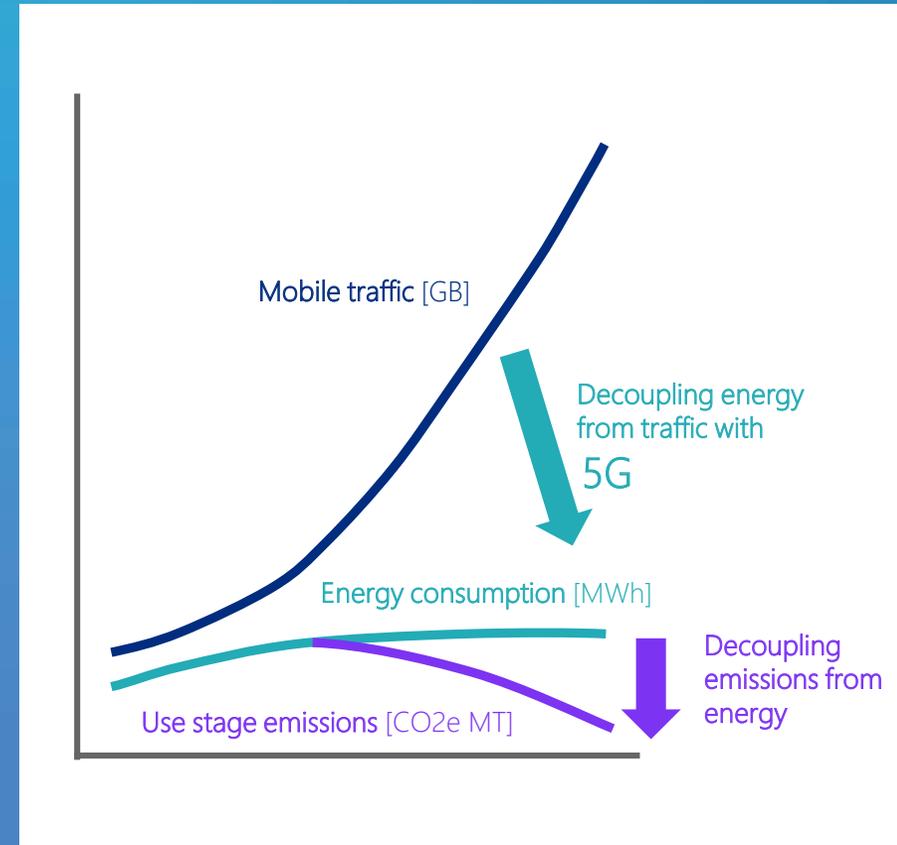
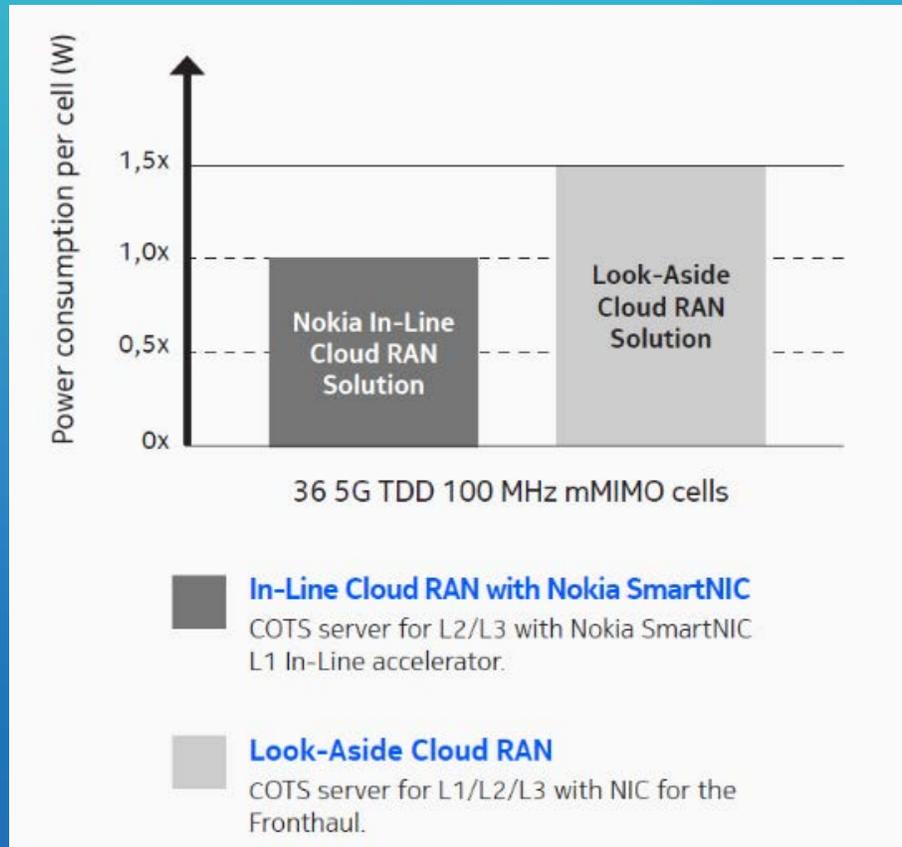


L1 processing is off-loaded from the CPU



DU CPU not efficient for L1 real-time computations

# Nokia In-Line Cloud RAN Solution pays off ...and contributes to decoupling energy from traffic



NOKIA



greenict.connect24



greenict.connect24

# Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Breitband-Richtfunkverbindung im D-Band

---

**Wolfgang Heinrich**

# Motivation (I)

It is all about data rate

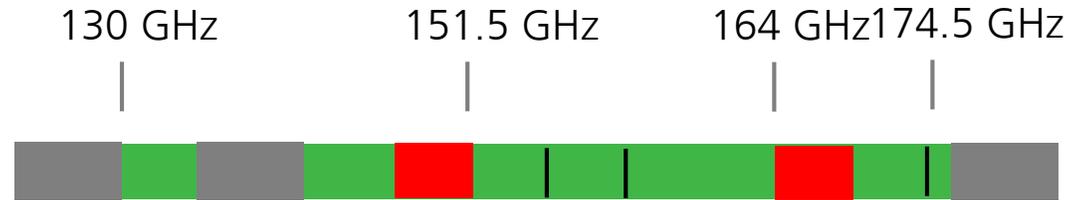
---

- 5G, 6G, .... - the driver is data rate
- Wireless data rate demands for bandwidth, but spectrum is a scarce resource
- What about mm-wave frequencies  $> 100$  GHz ?

# Motivation (II)

## Why D band?

- D band: frequency range 130 ... 170 GHz



- Attractive
  - Ample spectrum for broadband transmission available, not much used so far
  - Close to already common frequencies in W-band around 80 GHz (automotive radar, radio links)
- The way to go for next-generation high-data rate point-to-point links (e.g., backhaul für 6G base stations)
  - Commercial developments ongoing
- Discussed also for...
  - fixed wireless access
  - even for 6G user link

# Motivation (III)

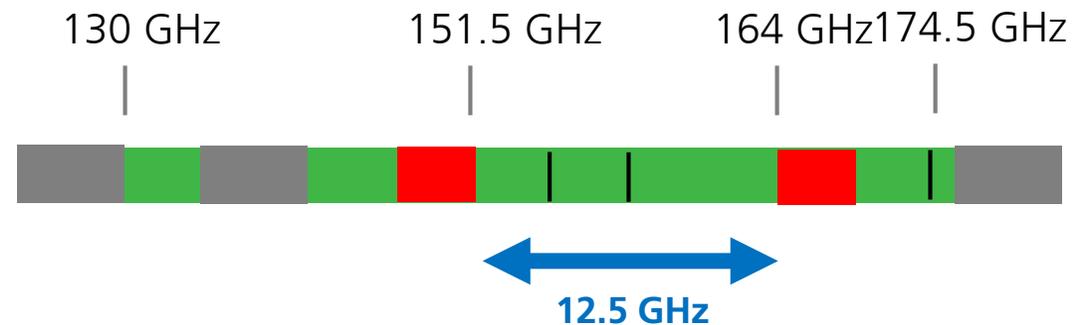
---

- Among the questions still open
  - What about energy consumption of wireless communications at such high frequencies
  - Is there a penalty in CO<sub>2</sub> footprint?
- This talk: Contribute first results
  - Study an exemplary D-band link (one out of various solutions)
  - Analyze hardware requirements and determine energy consumption
  - Calculate CO<sub>2</sub> footprint

# The 6G D-Band Spectrum

## Frequency allocations in D-band & modulation

- Wide bandwidth available, but RF output power is precious in D band
- Peak-to-average power ratio (PAPR) to be minimized
  - Low-order QAM single-carrier modulation scheme ensures low PAPR
  - A contiguous band is needed



- 10 GHz bandwidth within 151.5 ... 164 GHz is chosen here

# The D-Band Wireless Link

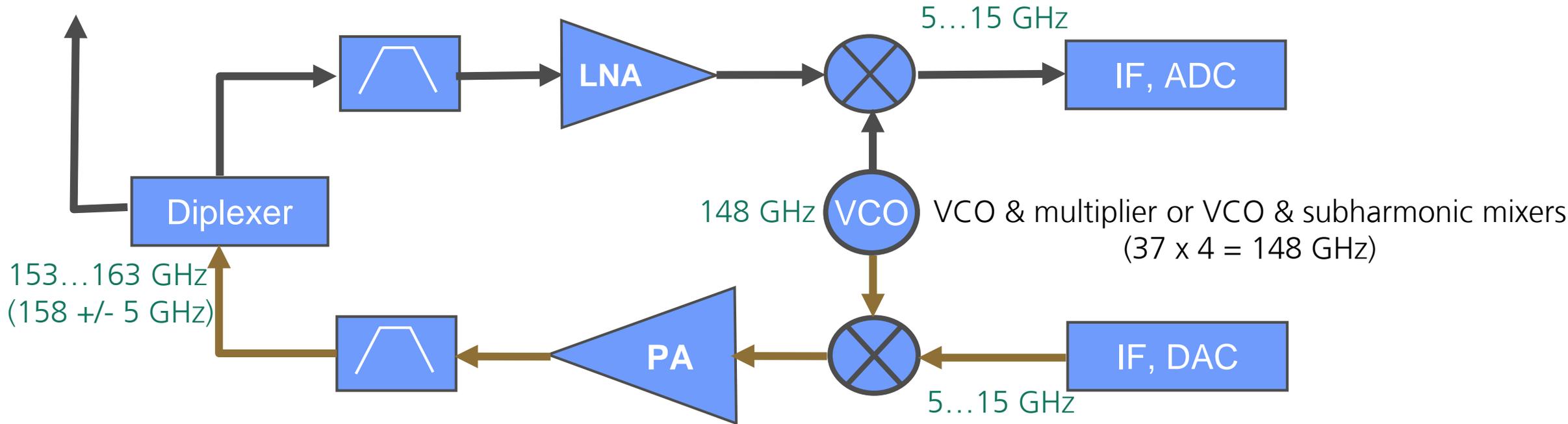
## System parameters

---

- Point-to-point link
  - with fixed beam and 2x2 array for simple beamsteering
- Spectrum: 152 ... 164 GHz, 158 +/-5 GHz
  - offers 10 GHz BW
- 500 m range
- High-gain lens antenna with 40 dB gain (i.e., ca. 3° half beam width)

# The Transceiver

## Block Diagram RF – IF – ADC/DAC



# Link Budget (I)

## Transmitter & propagation

---

- Peak output power ( $P_{\text{sat}}$ ) for each PA: 20 dBm (InP technology)
- Reduction to  $P(1\text{dB})$  because of linearity and by 4 dB due to PAPR for 16 QAM modulation
- $P(\text{out})$  per PA branch: 15 dBm
- Total output power for 4 PAs: 21 dBm
- 3 dB interconnect loss to be accounted for between PA and antenna
- $P(\text{out})$  at antenna: 18 dBm
- Antenna gain: 40 dBi
  
- EIRP: 58 dBm
- Line-of-sight propagation, Friis formula, 2.5 dB atmospheric loss, 10 dB margin (>99.90% availability)
- Path: 500 m distance at 150 GHz ( $\lambda = 2$  mm):  $-130$  dB – 2.5 dB - 10 dB = -143 dB

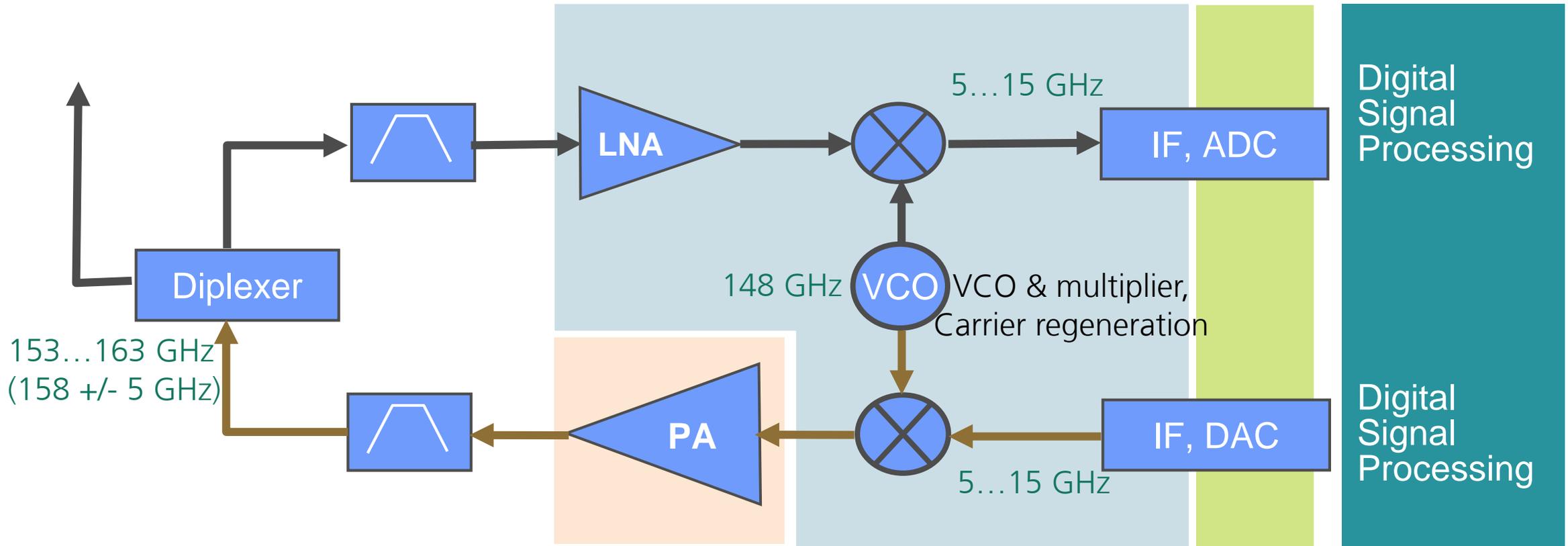
# Link Budget (II)

## Receiver S/N & data rate

- Receiving antenna with 40 dB gain
  - $P(\text{rec}) = \text{EIRP} - 143 \text{ dB} + 40 \text{ dBi} = -45 \text{ dBm}$
  - Interconnect loss at receiver: 3 dB, +6 dB due to combining 4 channels
- Received power  $P(\text{rec})$ : -42 dBm
- Noise: Receiver with 10 GHz bandwidth (antenna noise (kTB) = -74 dBm) and 10 dB noise figure
- Resulting S/N =  $-42 \text{ dBm} + 74 \text{ dBm} - 10 \text{ dB} = 22 \text{ dB}$
- Required S/N for BER of  $10^{-6}$ 
  - 16QAM: 21dB < available S/N of 22 dB
  - provides for 10 GHz total BW and 4 bit/symbol a gross data rate of about 30 Gbps

# Power Consumption

Contributors: PA, other RF, ADC/DAC, and DSP



# Power Consumption RF Front-End

- Output power per PA (with PAPR): 15 dBm
- Peak efficiency at D-band for InP (best values from literature): 20% PAE
  - Effective PAE = 10% (estimated, due to PAPR), and gain  $G = 10$  dB, yields  $P(\text{DC}) = 9 \times P(\text{out}) = 285$  mW per PA
- Total for final PA stage with 4 PAs: ca. **1.5 W**
  
- Other RF transceiver functions: Assumed for 4-channel chip (e.g., SiGe): 3 W
- Plus LO / multipliers: 1 W
- Plus carrier regeneration: 1 W
- Subtotal: **5 W**

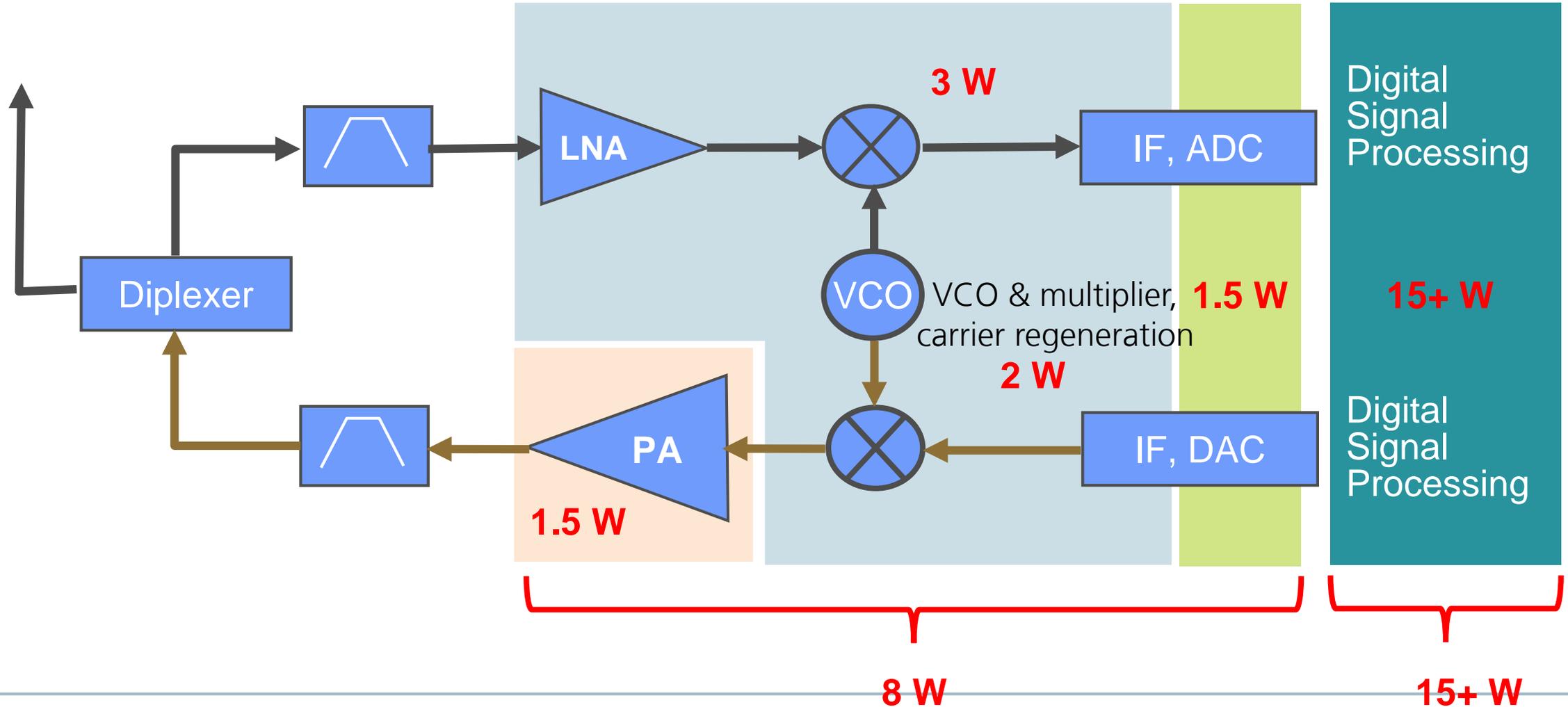
$$\frac{P_{DC}}{P_{out}} = \frac{1}{PAE} \cdot \left(1 - \frac{1}{G}\right)$$

# Power Consumption: Converters and Total

- Resolution: SNR = 22 dB requires about 6 bits resolution (30 dB)
  - Sampling frequency for 0...5 GHz signal > 10 GHz
  - 6 bits @ 10 GHz: ADC consumes about 75 mW
  - DAC roughly the same power consumption as ADC
  - For 4 I and 4 Q channels, i.e., a total of 8 channels (ADC + DAC), this yields  $75 \text{ mW} \times 8 \times 2 = 1.2 \text{ W}$
- Subtotal converters: ca. **1.5 W**
  
- **Grand total: 8 W for 30 Gbps** (16 QAM) over 0.5 km, plus baseband signal processing...

# Power Consumption

PA, other RF, ADC/DAC, DSP



# Resulting CO2 Footprint (per year)

D-Band link 500 m with 30 Gbps

- Mix of electrical energy generation: 0.28 kgCO<sub>2</sub>e/kWh
- 10 years of operation assumed

	Power / energy consumption	Footprint [kgCO <sub>2</sub> e]	Comments
<b>Fabrication/installation</b>	-	2 x 50 kg	estimated based on sub-6 GHz p2p module (by IZM)
Amount p.a.	-	10 kg	10 years operation
<b>OPEX: Energy consumption</b>	2 x 23 = 46 W	-	
Amount p.a. (8760 h)	403 kWh	113 kg	
Total p.a.		<b>123 kg</b>	

# Comparing 26 GHz to 150 GHz Links

Is there a penalty for using the D band?

- Less bandwidth (10 GHz at D band down to <1 GHz)
- More RF output power and better efficiency available
- Less propagation loss
  
- Consequence: S/N significantly improved (+20 dB can be easily reached)
  - BW reduction can partly be compensated by higher-order QAM
  - e.g., 16QAM (4 bits/symbol) -> 1024QAM (10 bits/symbol)
  - **data rate in D-band: x 5...10**
  
- Power consumption @ 26 GHz
  - RF part: 4 W (compared to 6.5 W for D band)
  - **D band: Factor 1.6 higher**

# Conclusions (I)

## D-band Link

---

- High bit-rate transmission (> 20 Gbps) possible, e.g., for backhaul of 6G base stations
- Path loss at 150 GHz and available RF output power limit the range
  - up to about 1 km feasible
  - with appropriate semiconductor technology (SiGe, InP) and array size

# Conclusions (II)

## D-band Link

---

- Energy consumption
  - Shares of RF power amplifiers, remaining RF functions, and ADC/DACs: same order of magnitude
  - Digital signal processing: major contribution
- Effect of high carrier frequency on overall power consumption limited
  - thus favorable scaling for power consumption vs. bit rate
- True for CO<sub>2</sub> footprint as well (dominated by operational phase, due to application scenario)
- D band: Attractive solution for high-speed wireless transmission, also wrt CO<sub>2</sub> footprint



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



greenict.connect24



greenict.connect24

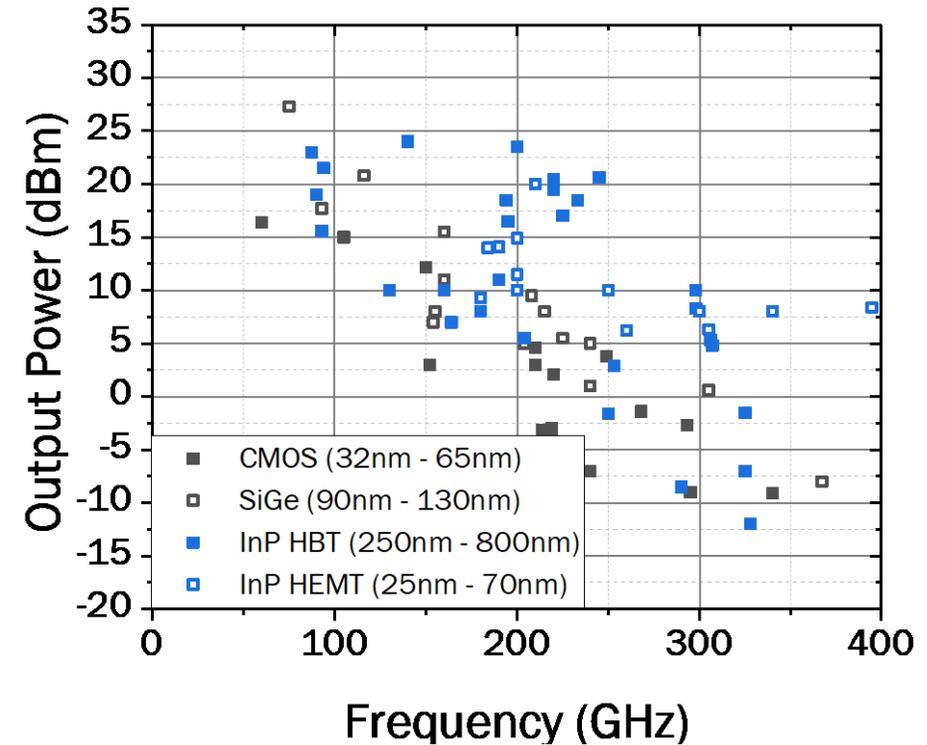
# InP-HBT in Hochfrequenzanwendungen – CO<sub>2</sub>- Bilanz und Umweltaspekte

Hady Yacoub (Ferdinand-Braun-Institut gGmbH Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik),  
Tugana Aslan (GS-Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland)

# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

## Warum InP?

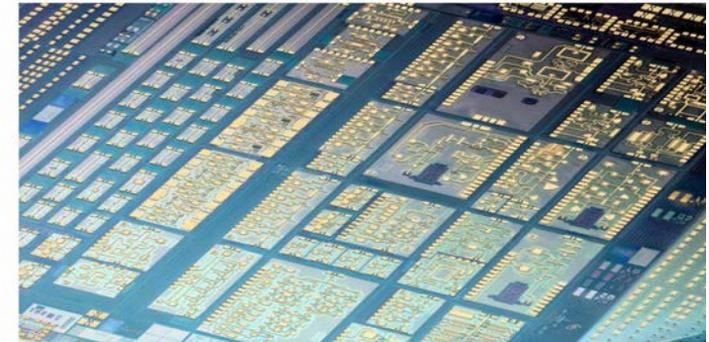
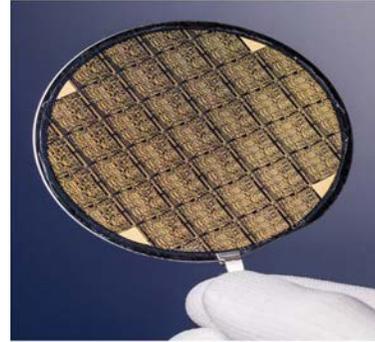
- Höhere Ausgangsleistung bei hohen Frequenzen
- Hohe Energieeffizienz
- Höhere Leistung bei weniger aktiven Elementen



# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

## FBH MMIC-Technologie

- Multiprojekt-Wafer
- 2 Tapeouts/Jahr
- Laufzeit 12-14 Wochen
- Vollständiger MMIC-Stack mit Front-End und Back-End
- PDK verfügbar

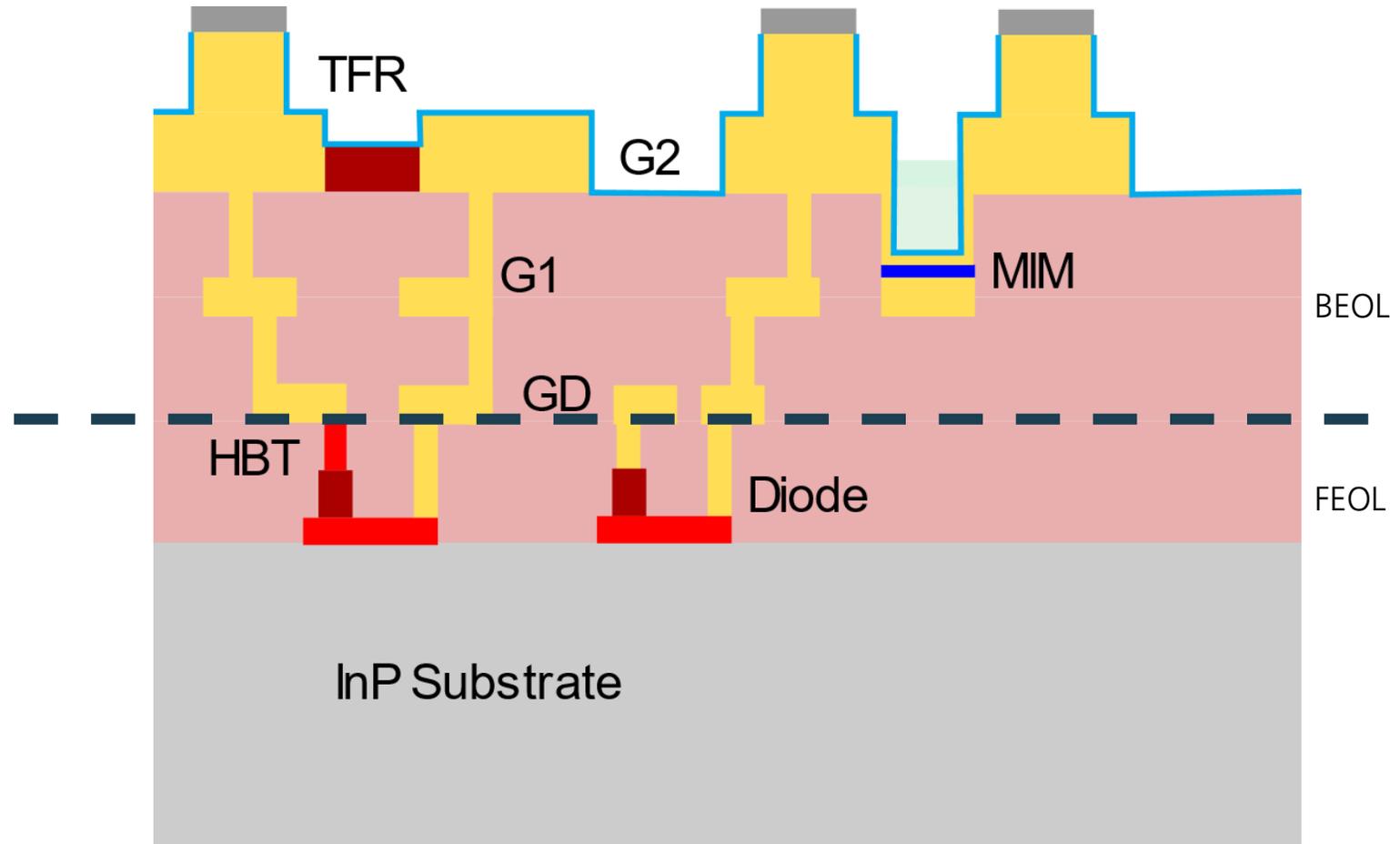


# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

## FEOL und BEOL

### Vollständiger MMIC-Stack

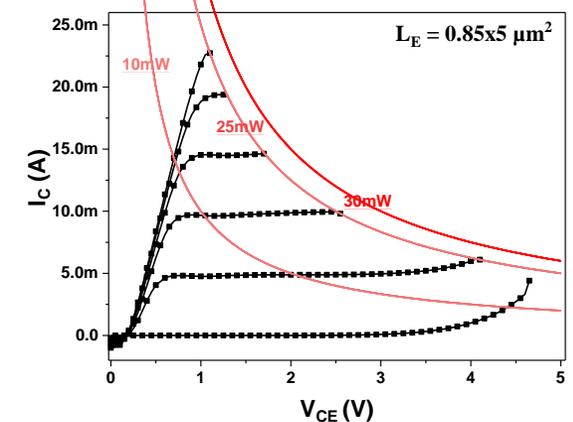
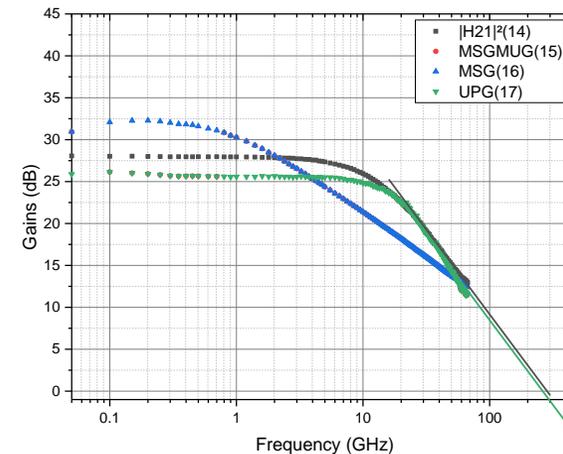
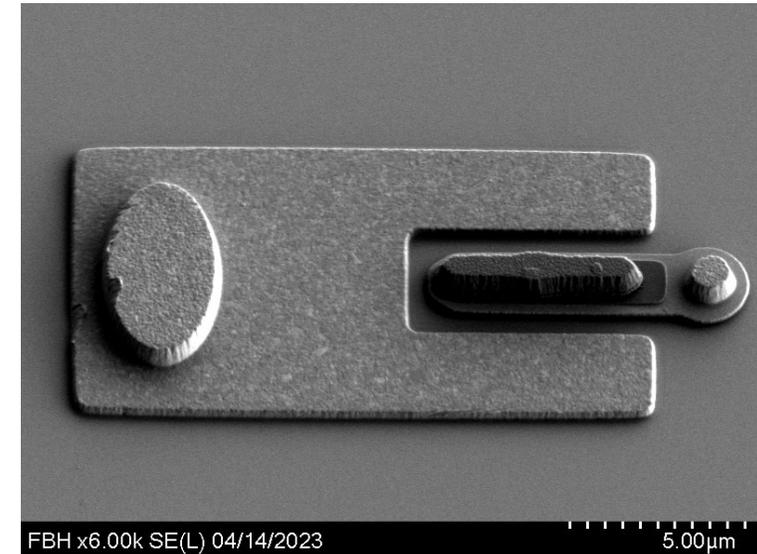
- Drei Metallisierungsschichten: G0, G1 & G2
- Transistor-Knoten:
  - 850 nm bis zu 500 nm (Standardprozess)
  - 400 nm (in Entwicklung)



- F<sub>max</sub>
  - 300 GHz (erste Generation)
  - 400 GHz (zweite Generation)

## Zwischenfazit

InP zeigt für Frequenzen über 100 GHz **höhere Ausgangsleistungen** und **bessere Wirkungsgrade** als die anderen gängigen Halbleiter. Deshalb wird für die gleiche Leistung **weniger Chipfläche** benötigt



# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

Motivation, Ziel und Untersuchungsrahmen

## Wirkt sich eine insgesamt geringere Chipfläche auch positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz aus?

- Es sind bisher keine CO<sub>2</sub>-Bilanzierungen für InP-Prozesse verfügbar
- Ziel: Erstellung einer (abschätzenden) CO<sub>2</sub>-Bilanz, die mit der Herstellung (und mittelfristig auch die Nutzungsphase) von InP-Chips einhergehen. Analyse von Emissionshotspot sowie vergleichende Analyse zu herkömmlichen Chips
- Untersuchungsrahmen: Untersucht werden die energie- und ressourcenintensivsten FEOL und BEOL Prozessierungsschritte von InP Chips, inkl. der Infrastruktur im Reinraum des Ferdinand-Braun-Instituts, sowie deren Anwendung, die dann auf kommerzielle Fertigungsbedingungen skaliert werden

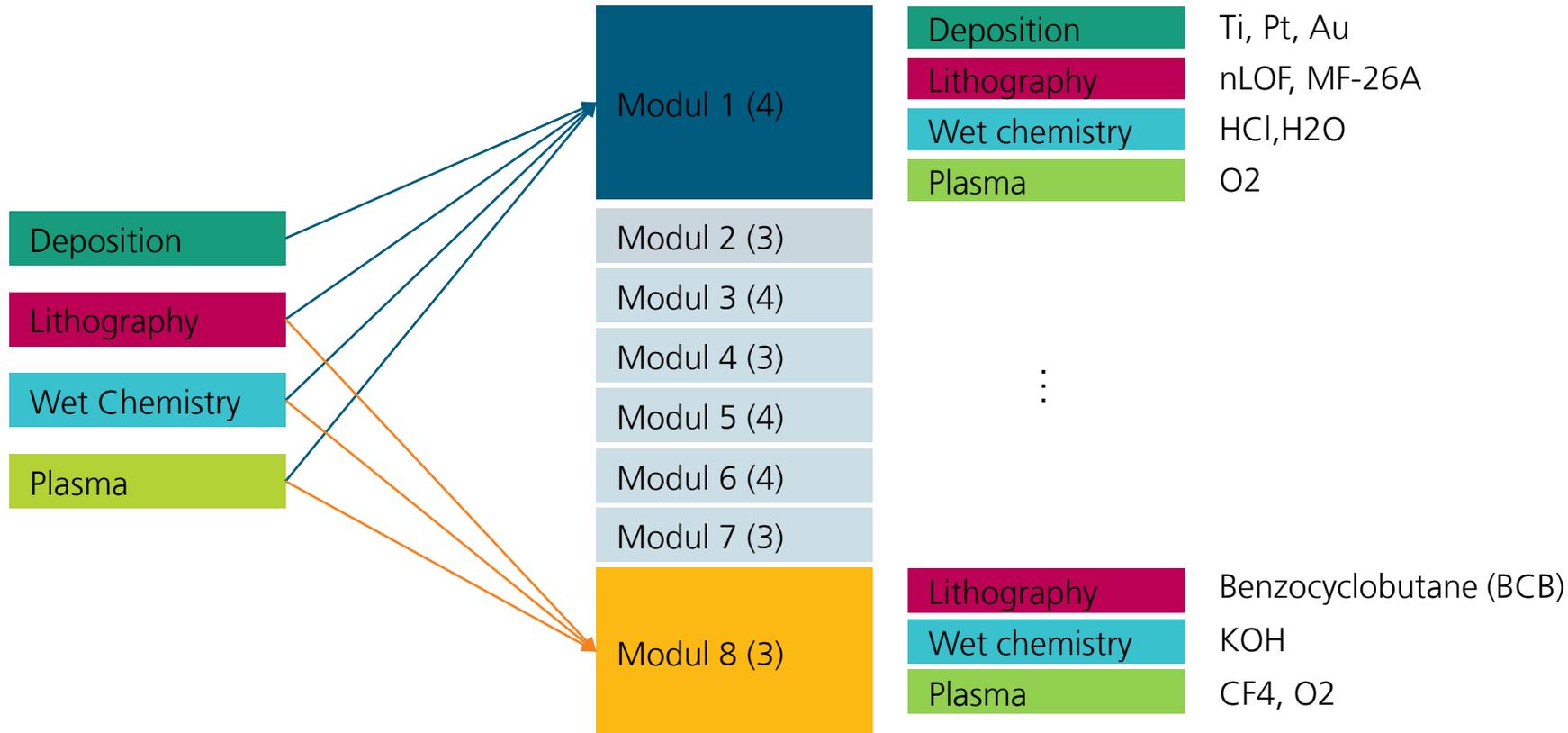
# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

## Kategorisierung der Prozesse – FEOL

### Prozesskategorien (4)

### Prozessmodule (8)

### Input



Prozessinhalte können sich je nach Modul unterscheiden, Materialien wurden für jedes Module spezifiziert

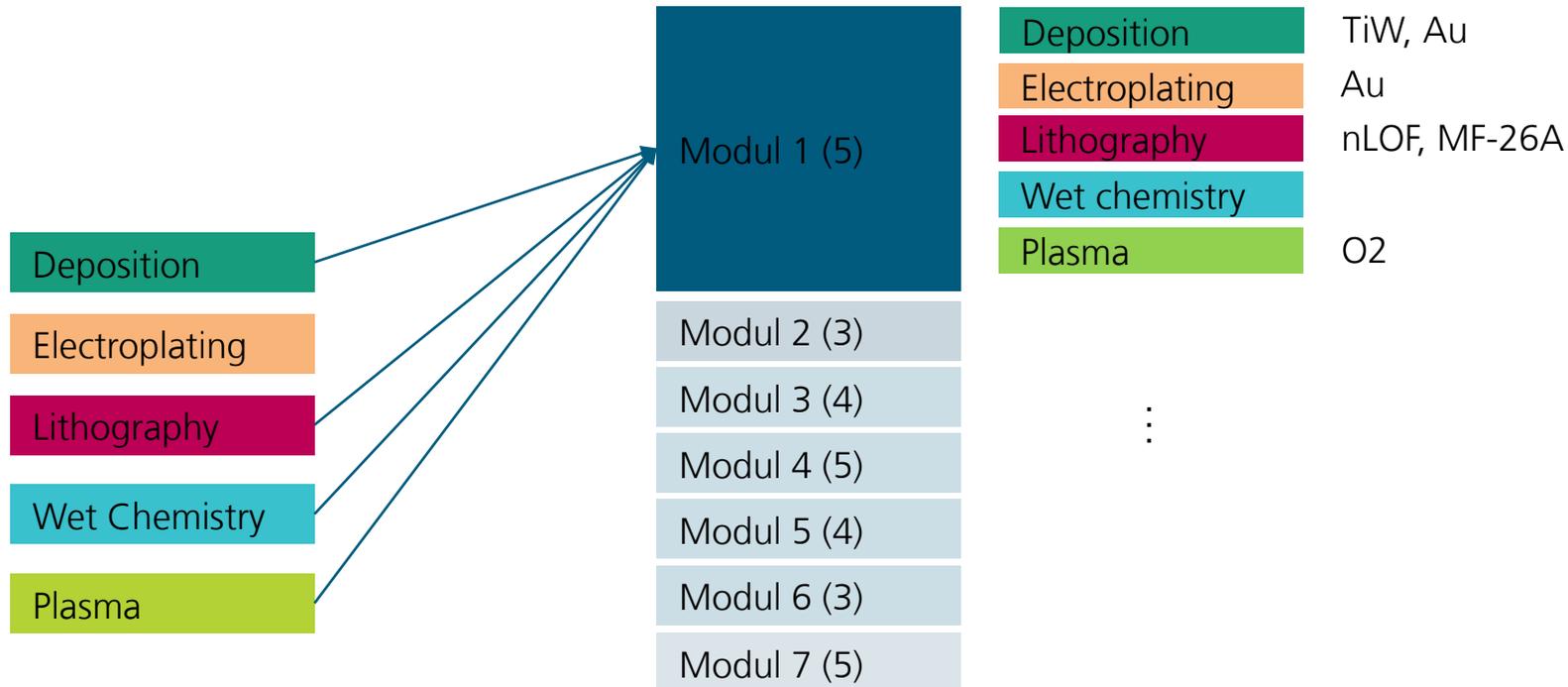
# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

Kategorisierung der Prozesse – BEOL

## Prozesskategorien (5)

## Prozessmodule (7)

## Input



# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

## Funktionelle Einheiten und Sachbilanz

### Funktionelle Einheiten:

(1) pro 4" Wafer

(2) pro mm<sup>2</sup> (Designfläche auf Wafer)\*

\*60%\*71\*(11 mm\*11 mm)

Bisher berücksichtigt:

- Materialinput
- (teilweise)  
Energieverbrauch

Offen:

- Substrat
- Energieverbrauch
- Reinraum-Infrastruktur
- Abgase und direkte Emissionen

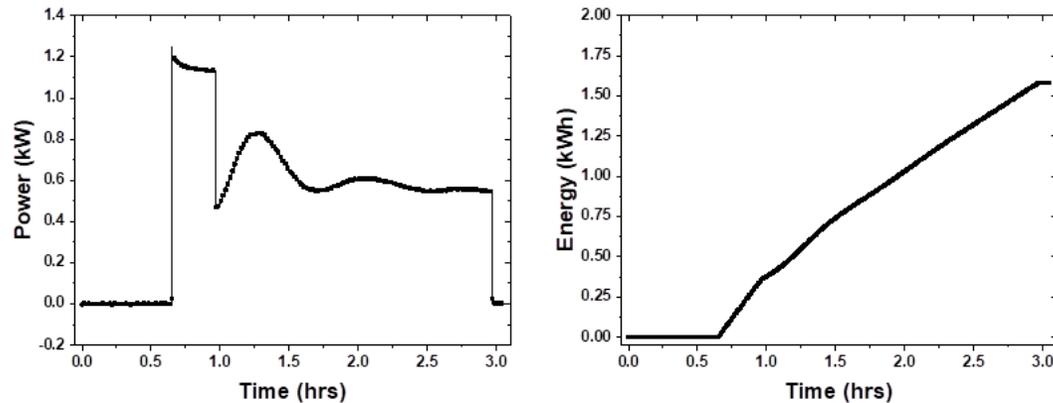
Material	Gesamtmasse	pro Wafer/pro Los [Wafer:los – 1:8]	GWP Wert [Material]	kg CO <sub>2</sub> äq pro Wafer	Kommentar
Au	45 mg	pro Wafer	48.449.420 kg/t Au	2,18	
Ti	17 mg	pro Wafer	48.330 kg/t Ti	0,00	
HCl	31,25 ml	pro Wafer	0,51 kg/kg HCl		Umrechnung von ml in kg, mit Dichte
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	...	..		0,016	
nLOF	...	..	Nicht vorhanden		
BCB	...	..	Nicht vorhanden		

➤ Noch sind sehr wesentliche Punkte in der Bilanzierung offen

# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

Strommessungen und Daten zum Stromverbrauch (pro Wafer)

## Plasma



Zeitaufgelöste Strommessung im Reinraum über 24 Stunden am **Plasmagenerator** sowie der Pumpe

1,6 kWh über eine Laufzeit von 3 Stunden

Pro Prozess (20 Minuten): 0,18 kWh

## E-Beam (Lithographie)

Bisher keine Strommessung möglich, Orientierung an Herstellerdaten nach Rücksprache mit Anlagenhersteller

Unterschiede im Stromverbrauch zwischen Idle und Prozessdurchführung ist laut Hersteller vernachlässigbar

Nominalleistung der Anlage: 7 kW

Pro Prozess (ca. 4,5 Stunden): 31,5 kWh

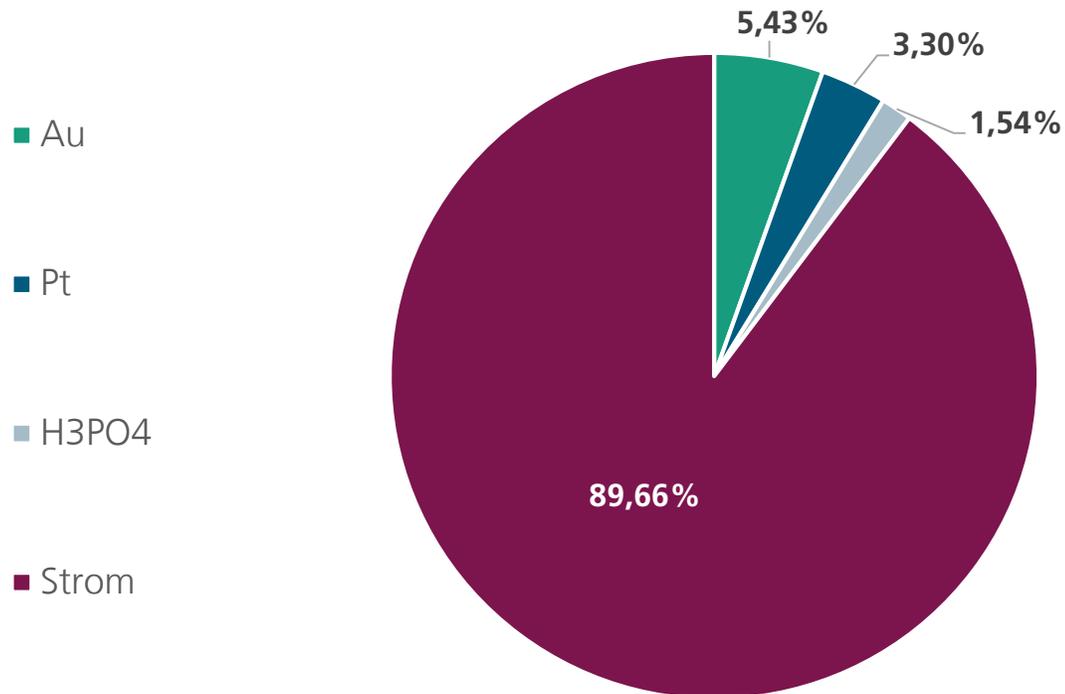
\*380 g CO<sub>2</sub>e/kWh (UBA, 2023)

# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

## Ergebnisse & Interpretation – FEOL

GWP pro 4" Wafer: 40,13 kg CO<sub>2</sub>äq

GWP pro mm<sup>2</sup> Designfläche auf dem Wafer: 7,79 g CO<sub>2</sub>äq



### Die wichtigsten Erkenntnisse:

- **Stromverbrauch** ist trotz unvollständiger Modellierung für **fast 90 %** der bisher erfassten Emissionen verantwortlich. Fast alle strombedingten Emissionen auf **E-Beam** bei der Lithographie zurückzuführen
  - Sehr hohe Leistungsaufnahme
  - Lange Prozessdauer
- Zweithöchster Impact durch **Depositon** (Au, Pt)

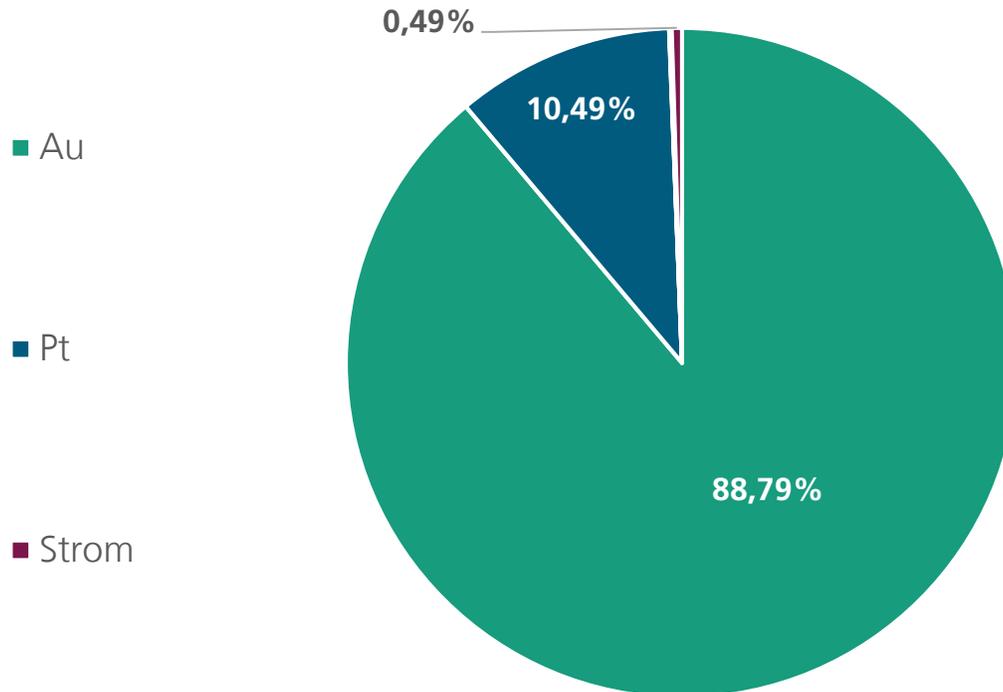
\* Ergebnisse beziehen sich auf die bisherigen Berechnungen

# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

Ergebnisse und Interpretation – BEOL

GWP pro 4" Wafer: 11,89 kg CO<sub>2</sub>äq

GWP pro mm<sup>2</sup> Designfläche auf dem Wafer: 2,32 g CO<sub>2</sub>äq



## Die wichtigsten Erkenntnisse:

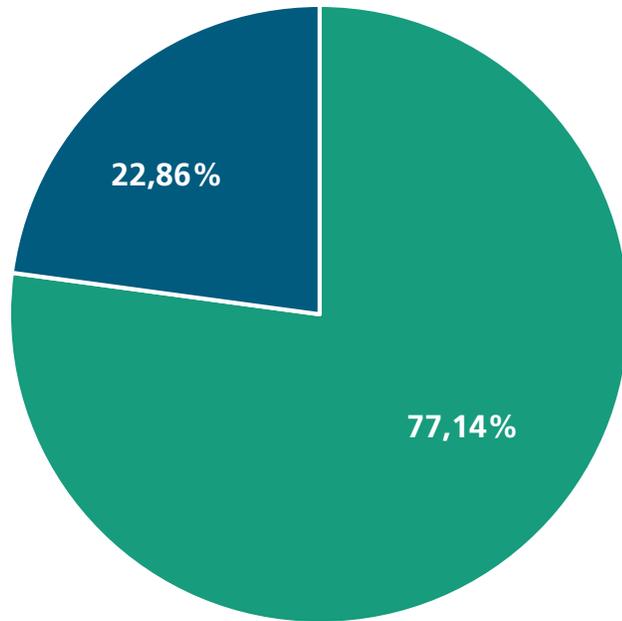
- Größter Impact durch Au, Pt (fast 100 %)
  - Stark beeinflusst durch hohe Einsatzmengen, insb. von Au mit sehr hohem GWP
  - Au wird insb. während des Galvanik-Prozess eingesetzt

\* Ergebnisse beziehen sich auf die bisherigen Berechnungen

# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

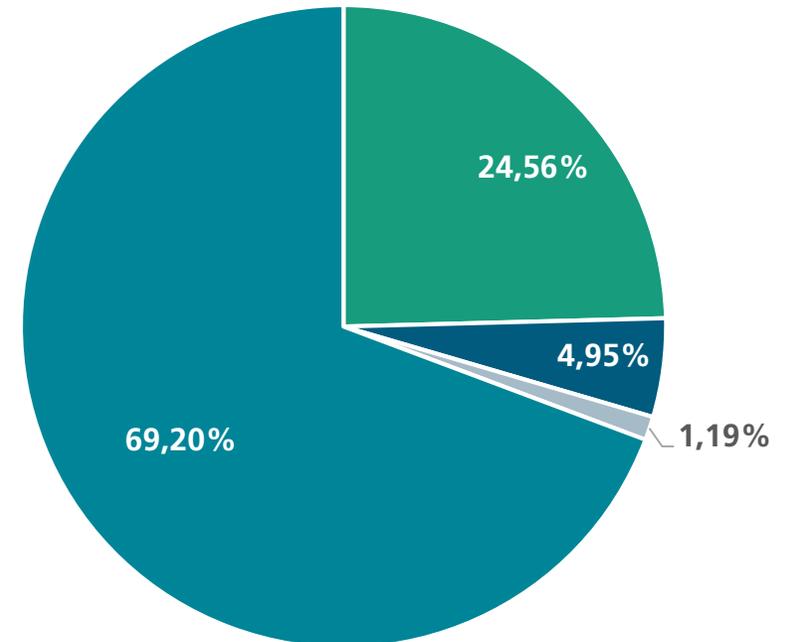
Gesamtbetrachtung

FEOL vs. BEOL



■ FEOL ■ BEOL

Materialien vs. Strom

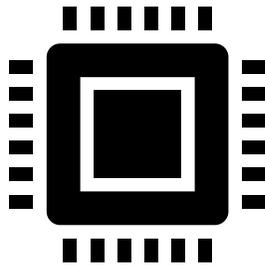


■ Au ■ Pt ■ H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ■ Strom

# InP-HBT – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte



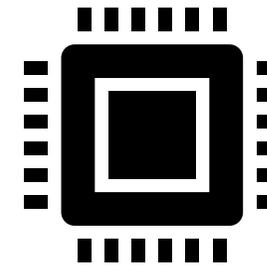
Wirkt sich eine insgesamt geringere Chipfläche auch positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz aus?



InP-HBT (vorläufig)

**1,01 kg CO<sub>2</sub>e/cm<sup>2</sup>**

Pilotfertigung, ca. 60% yield



äquivalenter 10 nm-Node Silizium-Chip\*

**0,81 kg CO<sub>2</sub>e/cm<sup>2</sup>**

kommerzielle Fertigung, 90% yield

## Fazit

Noch kann die Forschungsfrage nicht beantwortet werden, da sehr viele wesentliche Aspekte in der Bilanzierung offen sind, und ein direkter Vergleich nicht möglich ist

\*imec.netzero

# InP-HBT-Prozess – CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltaspekte

## Herausforderungen und Handlungsempfehlungen

- Datenlage ist noch stark ausbaufähig
  - Datenrecherche bisher über öffentlich verfügbare Quellen (z.B. ProBas, BAFA, Literatur) , aber auch in kostenpflichtigen Datenbanken sind die fehlenden Daten leider nicht verfügbar
- Keine Daten für das InP-Substrat verfügbar
  - Für viele andere Substrate verfügbar, allerdings herrscht eine sehr große Bandbreite im GWP dieser
  - Substratherstellung InP ist nicht vergleichbar mit anderen Substraten
- Sehr schlechte Datenverfügbarkeit für diverse Chemikalien, insb. Photolacke (nLOF, MF-26A)
- Für Metalle herrscht Diskrepanz zwischen unterschiedlichen Datenquellen
  - Annahmen sind Wort-Case, aufgrund hoher Reinheit in der Halbleiterfertigung

## Fazit

Nationale und internationale Kooperationen zwischen Forschung und Industrie sind notwendig, um die Datenlage zu verbessern und die Transparenz zu erhöhen



greenict.connect24





greenict.connect24

# Energiebedarf und Carbon Footprint der IKT in Deutschland – Fokus Rechenzentren

---

Green ICT Connect, Oktober 2024, Berlin

Dr. Lutz Stobbe, Fraunhofer IZM

# Modellierung des Energiebedarfs der IKT in Deutschland

Aktuelle Studie beleuchtet auch den Carbon Footprint



Project 2010 - 2014



Gefördert durch:



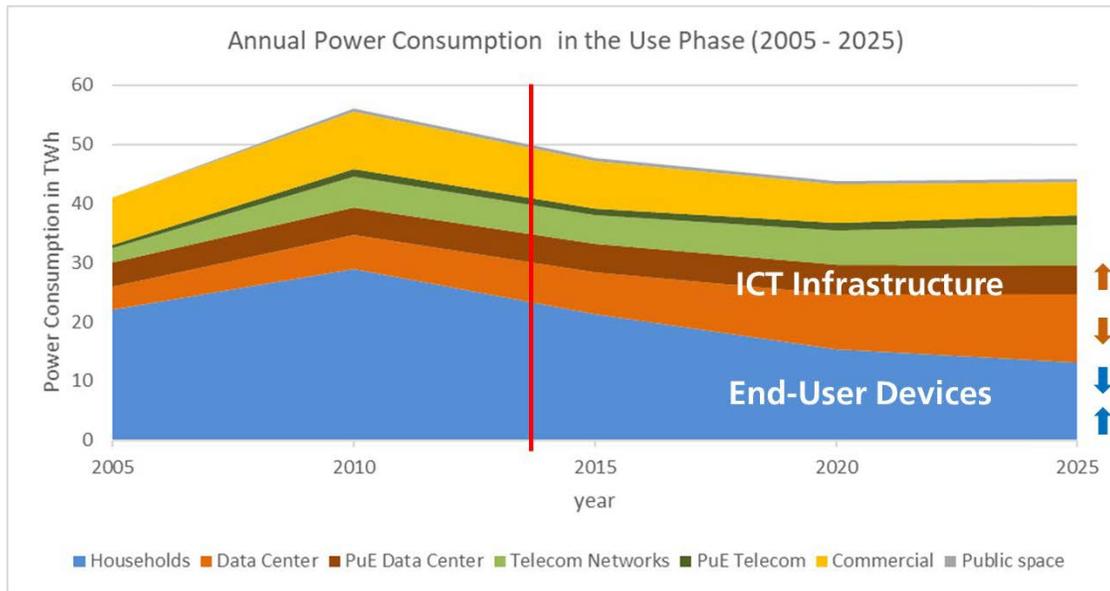
Project 2022 - 2026



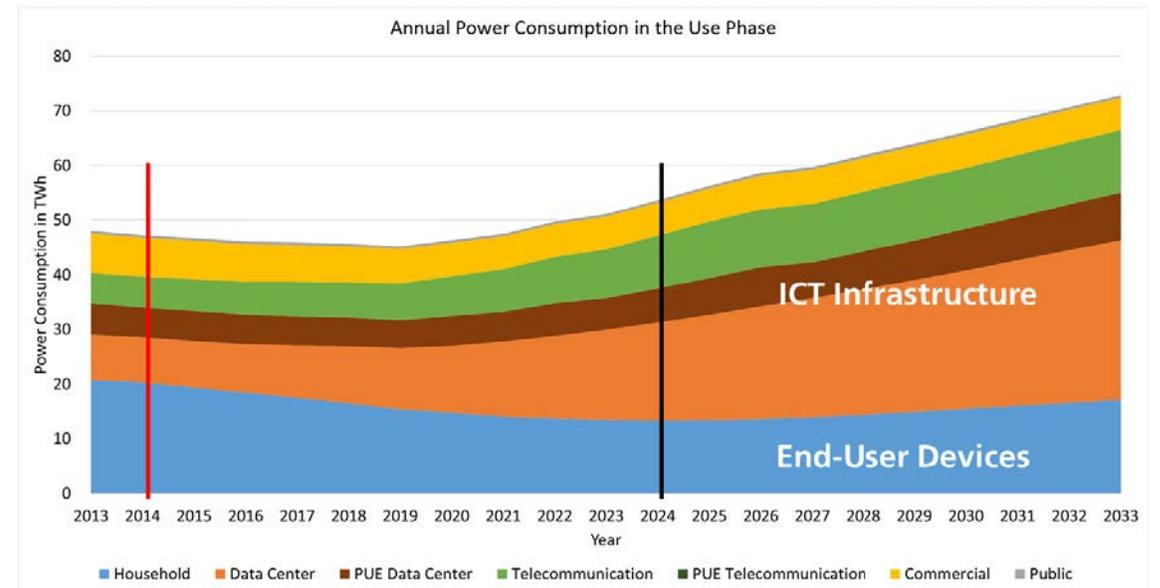
GEFÖRDERT VOM



Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik in Kooperation mit den Leibniz-Instituten FBH und IHP



## Extended scope – carbon footprint of the manufacturing and use phase

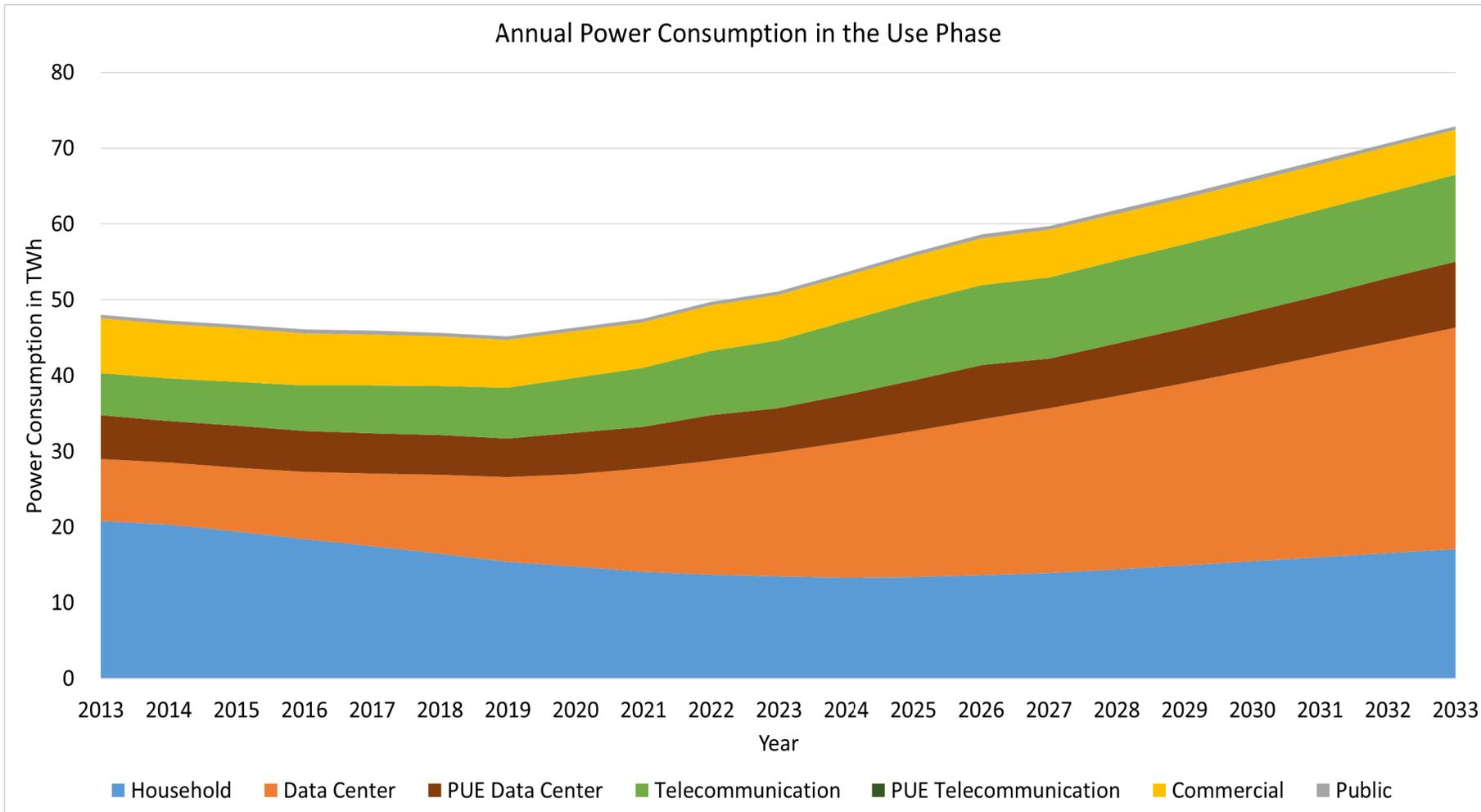


Eine Kooperation von



# Eckdaten zum Modell

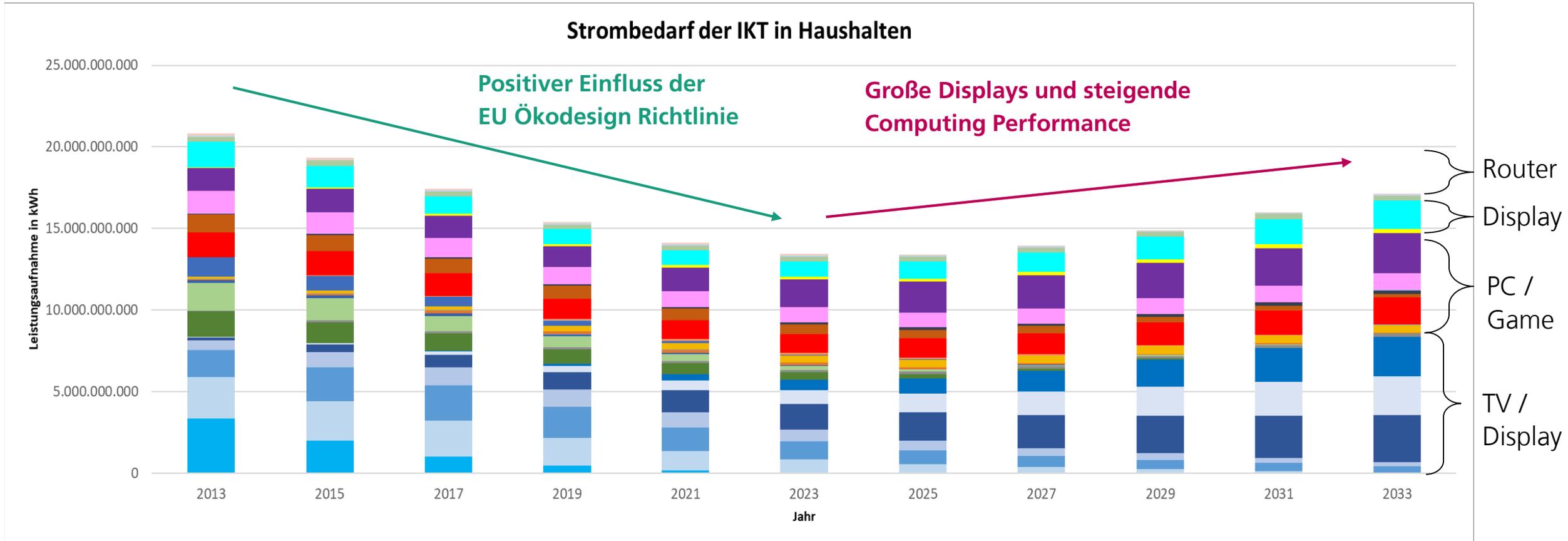
5 Anwendungsbereichen mit 80+ Produktgruppen, Zeithorizont 2013 – 2033 (erweitert bis 2045)



- IKT im öffentlichen Raum
- IKT in Büros & Gewerbe
- Telekommunikationsnetze
- PuE der Rechenzentren
- IKT in Rechenzentren
- IKT in Haushalten

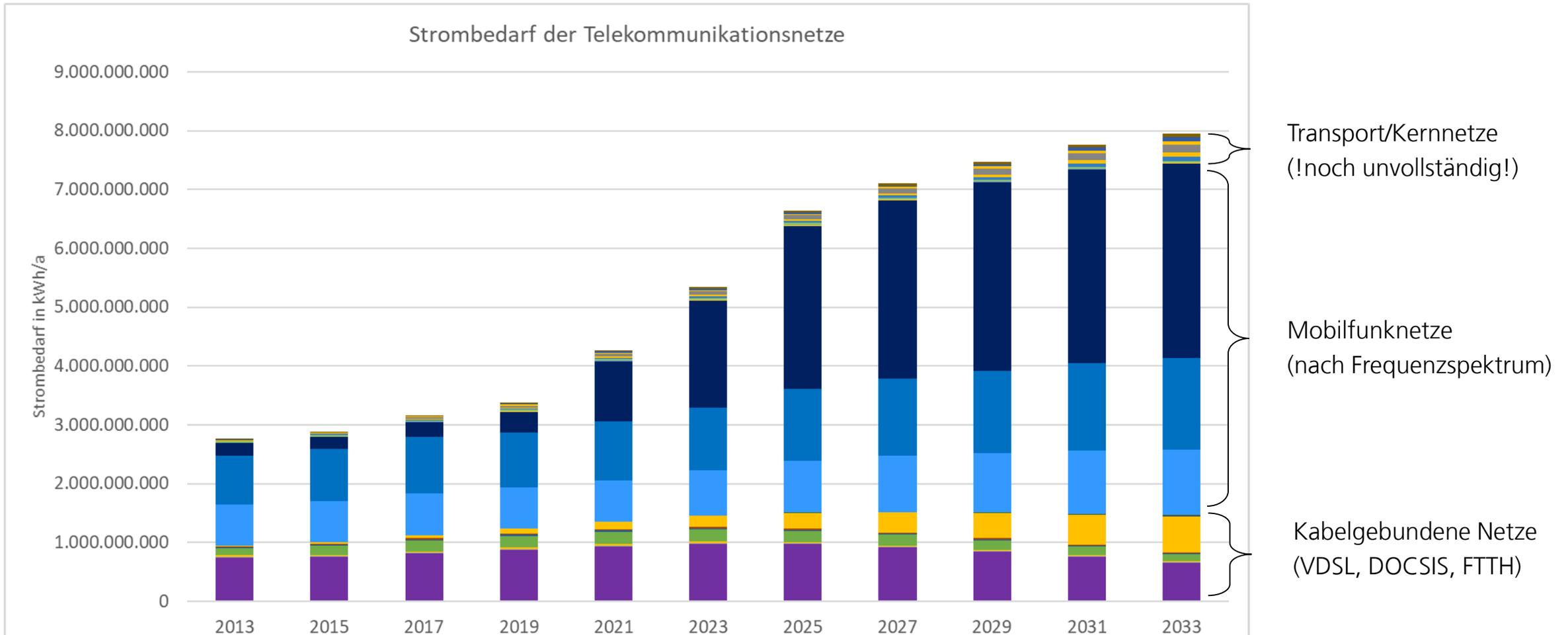
# Strombedarf der IKT in Haushalten (2013 – 2033)

TV/Display ist dominant, Computer/Game folgt, Smartphone/Wearables haben geringen Impact



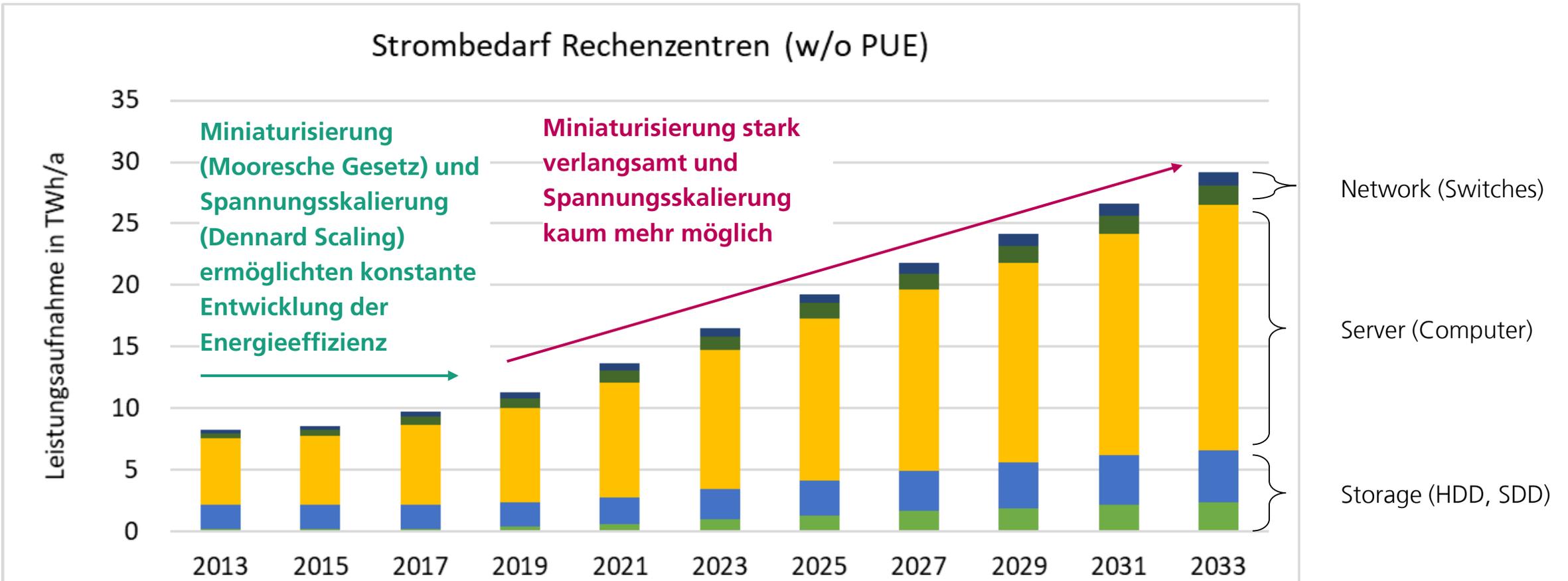
# Strombedarf der Telekommunikationsnetze

Mobilfunknetz ist dominant, Kabelnetze haben vergleichsweise geringen Impact



# Strombedarf der Rechenzentren

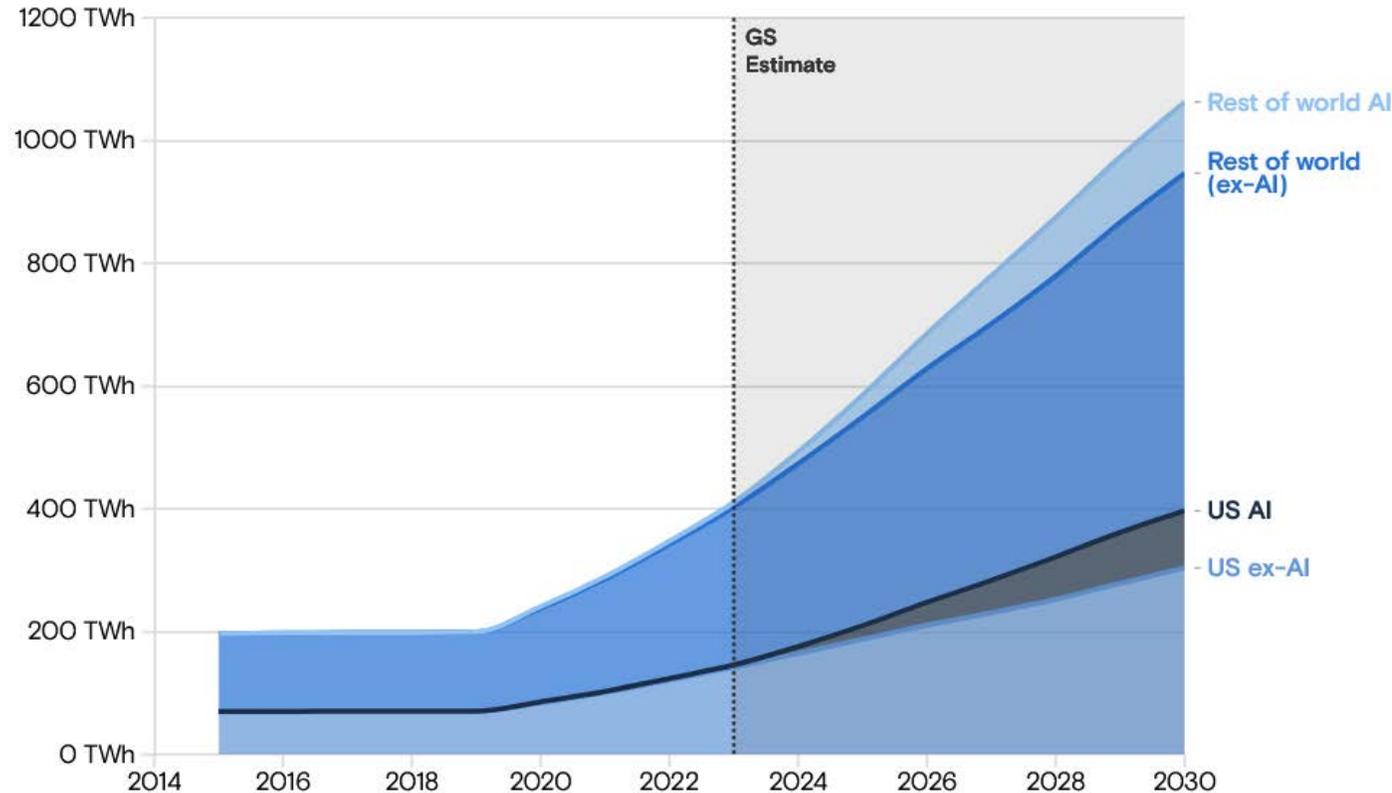
Computing ist dominant und stark zunehmend, Storage wächst an (Prognose schwierig)



# Internationale Prognosen für den Energiebedarf von Rechenzentren

Es gibt Anzeichen, dass sich die Energieeffizienz der Computer-Systeme immer langsamer verbessert

**Data center power demand**



Source: Masanet et al. (2020), Cisco, IEA, Goldman Sachs Research



<https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/AI-poised-to-drive-160-increase-in-power-demand.html>

# Statistical Analysis of Performance and Power Development in CPUs

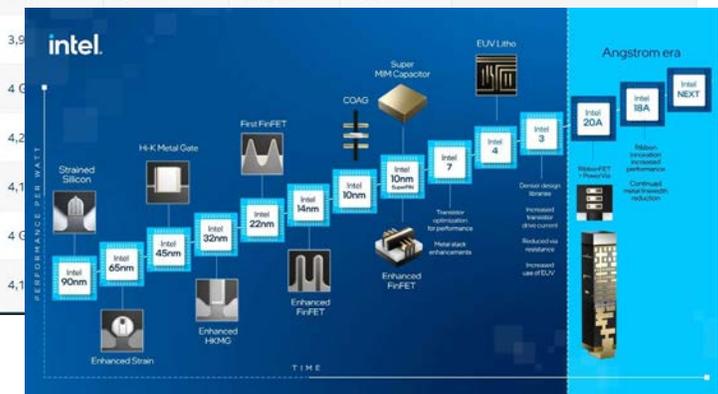
Example: Intel Xeon Scalable Processors (technical parameter)

- **Source:**  
<https://ark.intel.com/content/www/de/de/ark/products/series/236644/5th-gen-intel-xeon-scalable-processors.html>
- **221 data points** from Intel 1<sup>st</sup> to 5<sup>th</sup> Generation of Xeon Scalable CPUs (41, 58, 48, 49, 25), Gold and Platinum CPU only
- data points **TDP:** equivalent for average power consumption
- **DRAM configuration:** 2/3 of total capacity @ 0.1W/GB

5th Gen Intel® Xeon® Scalable Processors  
 Filter: **Alle anzeigen** | Embedded | Einzelhandelsverpackung | Server

32 Produkte ALLE VERGLEICHEN

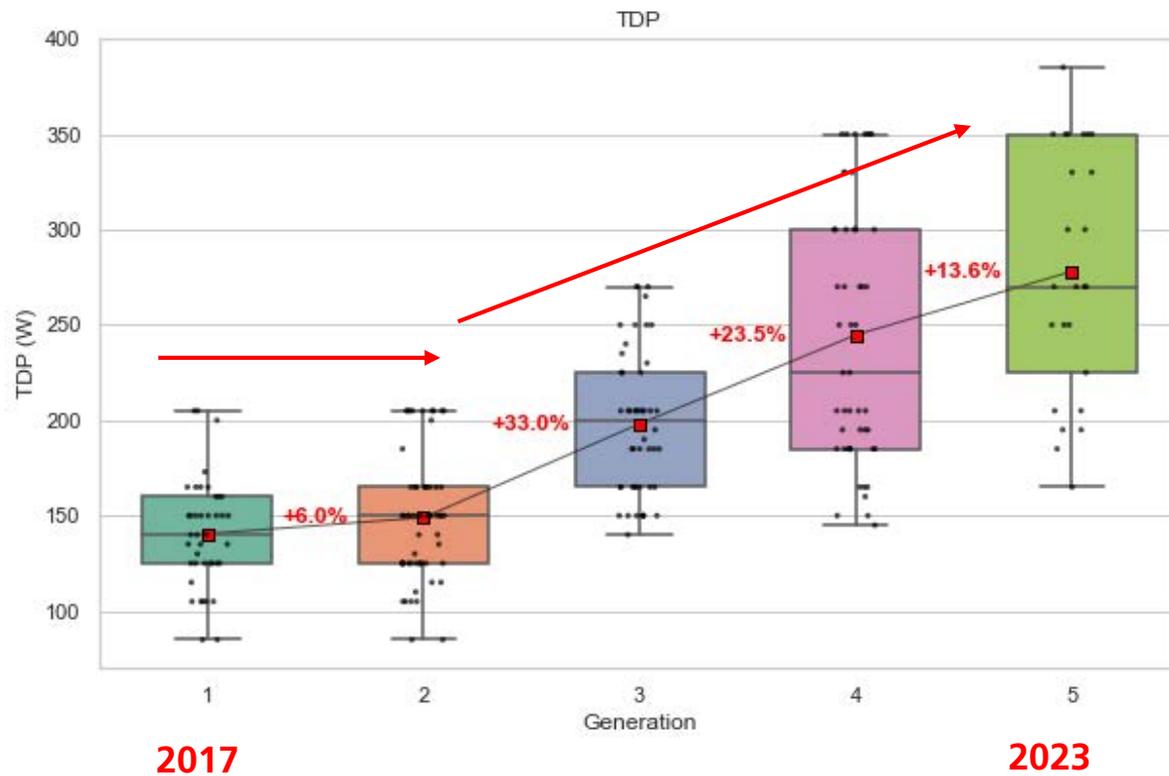
Produktbezeichnung	Einführungsdatum	Anzahl der Kerne	Max. Turbo-Taktfrequenz	Grundtaktfrequenz des Prozessors	Cache	Verlustleistung (TDP)
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Bronze 3508U Processor	Q4'23	8	2,2 GHz	2,10 GHz	22,5 MB	125 W
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Gold 5512U Processor	Q4'23	28	3,7 GHz	2,1 GHz	52,5 MB	185 W
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Gold 5515+ Processor	Q4'23	8	4,1 GHz	3,2 GHz	22,5 MB	165 W
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Gold 5520+ Processor	Q4'23	28	4 GHz	2,2 GHz	52,5 MB	205 W
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Gold 6526Y Processor	Q4'23	16	3,5 GHz	2,2 GHz	52,5 MB	165 W
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Gold 6530 Processor	Q4'23	32	4 GHz	2,2 GHz	52,5 MB	205 W
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Gold 6534 Processor	Q4'23	8	4,2 GHz	3,2 GHz	22,5 MB	165 W
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Gold 6538N Processor	Q4'23	32	4,1 GHz	2,2 GHz	52,5 MB	205 W
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Gold 6538Y+ Processor	Q4'23	32	4 GHz	2,2 GHz	52,5 MB	205 W
<input type="checkbox"/> Intel® Xeon® Gold 6542Y Processor	Q4'23	24	4,1 GHz	2,2 GHz	52,5 MB	205 W



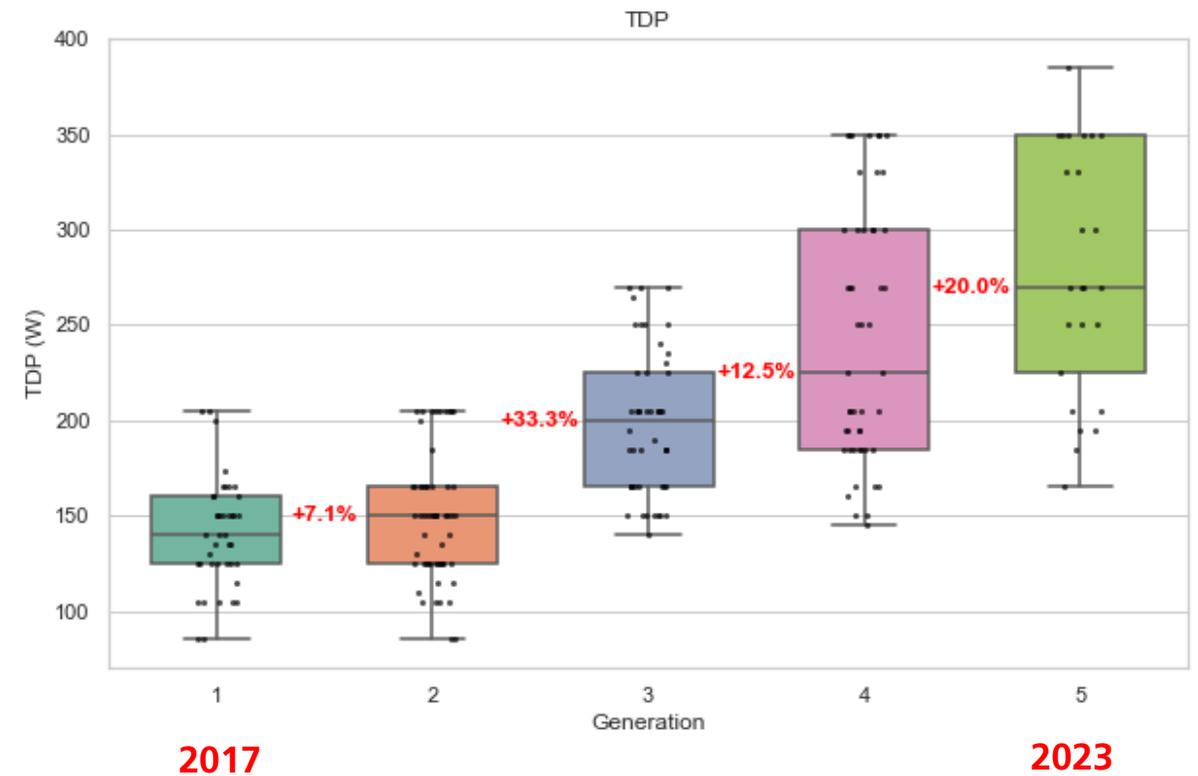
# Thermal Design Power (TDP) as an indicator for average power consumption

Power consumption of CPU is increasing substantially starting with 3rd XEON Scalable generation

TDP using mean



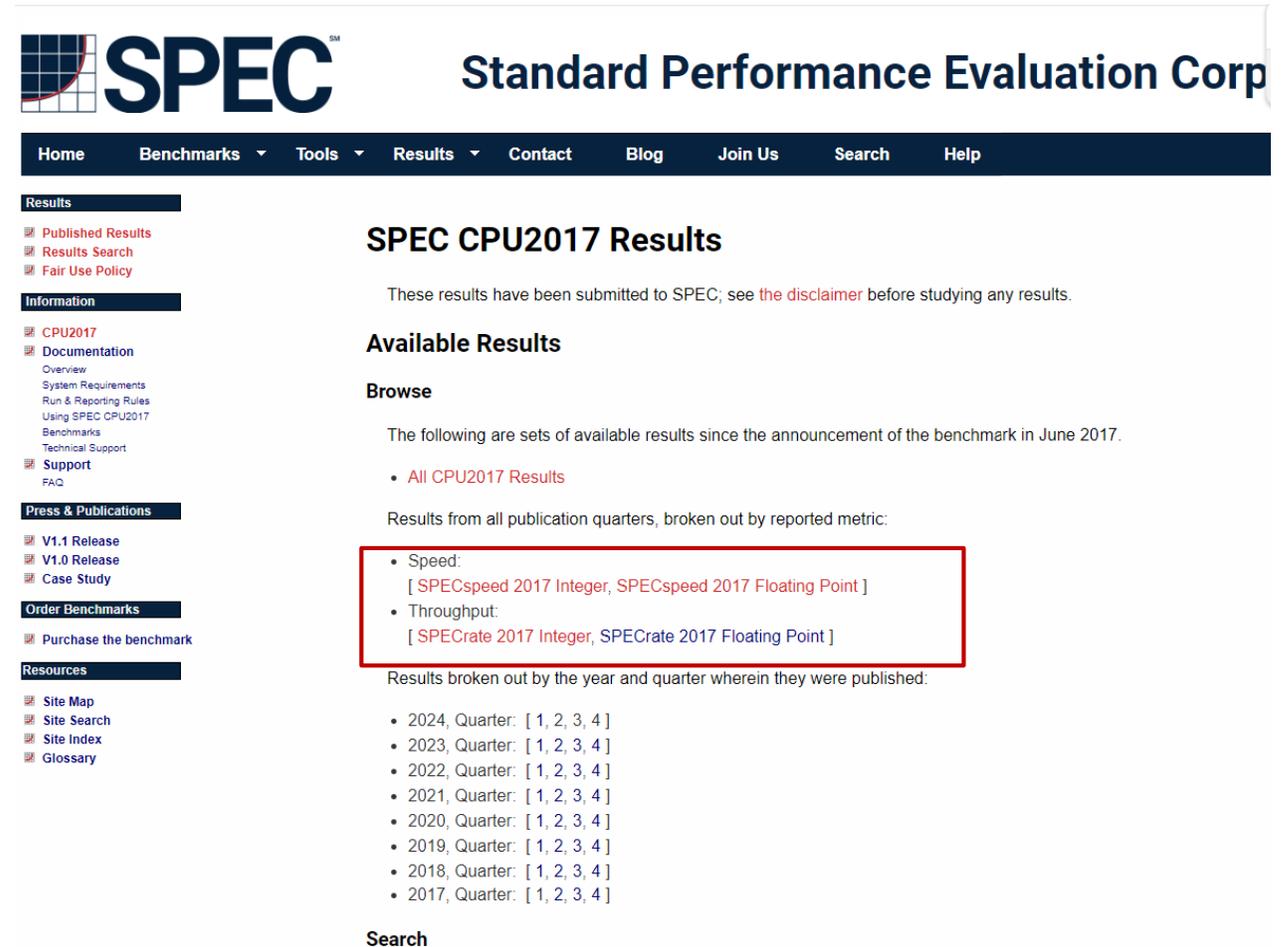
TDP using median



# Statistical Analysis of Performance and Power Development in CPUs

Example: Intel Xeon Scalable Processors (performance benchmark data)

- **Performance data points** for the Intel Xeon CPUs were drawn from **SPEC CPU2017 tests**  
<https://www.spec.org/cpu2017/results>
- **4x performance indicators:**  
**speed:** ISP (integer), FPS (floating point)  
**throughput:** IR (integer), FPR (floating point)



The screenshot shows the SPEC website interface. The main header includes the SPEC logo and the text 'Standard Performance Evaluation Corp'. A navigation bar contains links for Home, Benchmarks, Tools, Results, Contact, Blog, Join Us, Search, and Help. The left sidebar has several sections: Results (with links to Published Results, Results Search, and Fair Use Policy), Information (with links to CPU2017, Documentation, Overview, System Requirements, Run & Reporting Rules, Using SPEC CPU2017, Benchmarks, and Technical Support), Support (with links to Support and FAQ), Press & Publications (with links to V1.1 Release, V1.0 Release, and Case Study), Order Benchmarks (with a link to Purchase the benchmark), and Resources (with links to Site Map, Site Search, Site Index, and Glossary). The main content area is titled 'SPEC CPU2017 Results' and includes a disclaimer, a section for 'Available Results' with a 'Browse' link, and a list of results broken out by year and quarter. A red box highlights the 'Speed' and 'Throughput' metrics, showing their integer and floating point components. The 'Search' section is also visible at the bottom.

## SPEC CPU2017 Results

These results have been submitted to SPEC; see [the disclaimer](#) before studying any results.

### Available Results

**Browse**

The following are sets of available results since the announcement of the benchmark in June 2017.

- [All CPU2017 Results](#)

Results from all publication quarters, broken out by reported metric:

- Speed:  
[ [SPECspeed 2017 Integer](#), [SPECspeed 2017 Floating Point](#) ]
- Throughput:  
[ [SPECrate 2017 Integer](#), [SPECrate 2017 Floating Point](#) ]

Results broken out by the year and quarter wherein they were published:

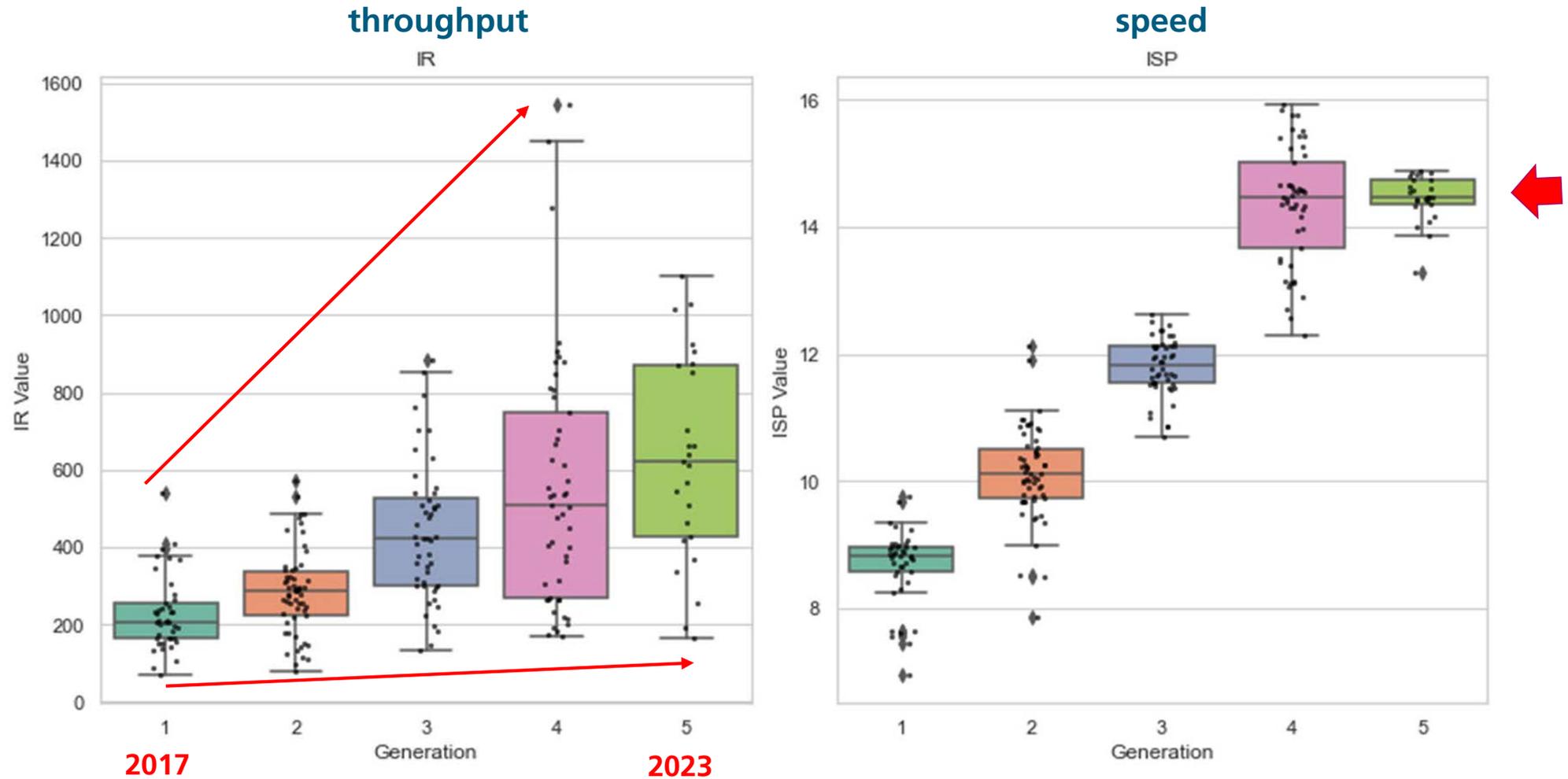
- 2024, Quarter: [ 1, 2, 3, 4 ]
- 2023, Quarter: [ 1, 2, 3, 4 ]
- 2022, Quarter: [ 1, 2, 3, 4 ]
- 2021, Quarter: [ 1, 2, 3, 4 ]
- 2020, Quarter: [ 1, 2, 3, 4 ]
- 2019, Quarter: [ 1, 2, 3, 4 ]
- 2018, Quarter: [ 1, 2, 3, 4 ]
- 2017, Quarter: [ 1, 2, 3, 4 ]

**Search**

# Performance development of integer benchmarks (median)

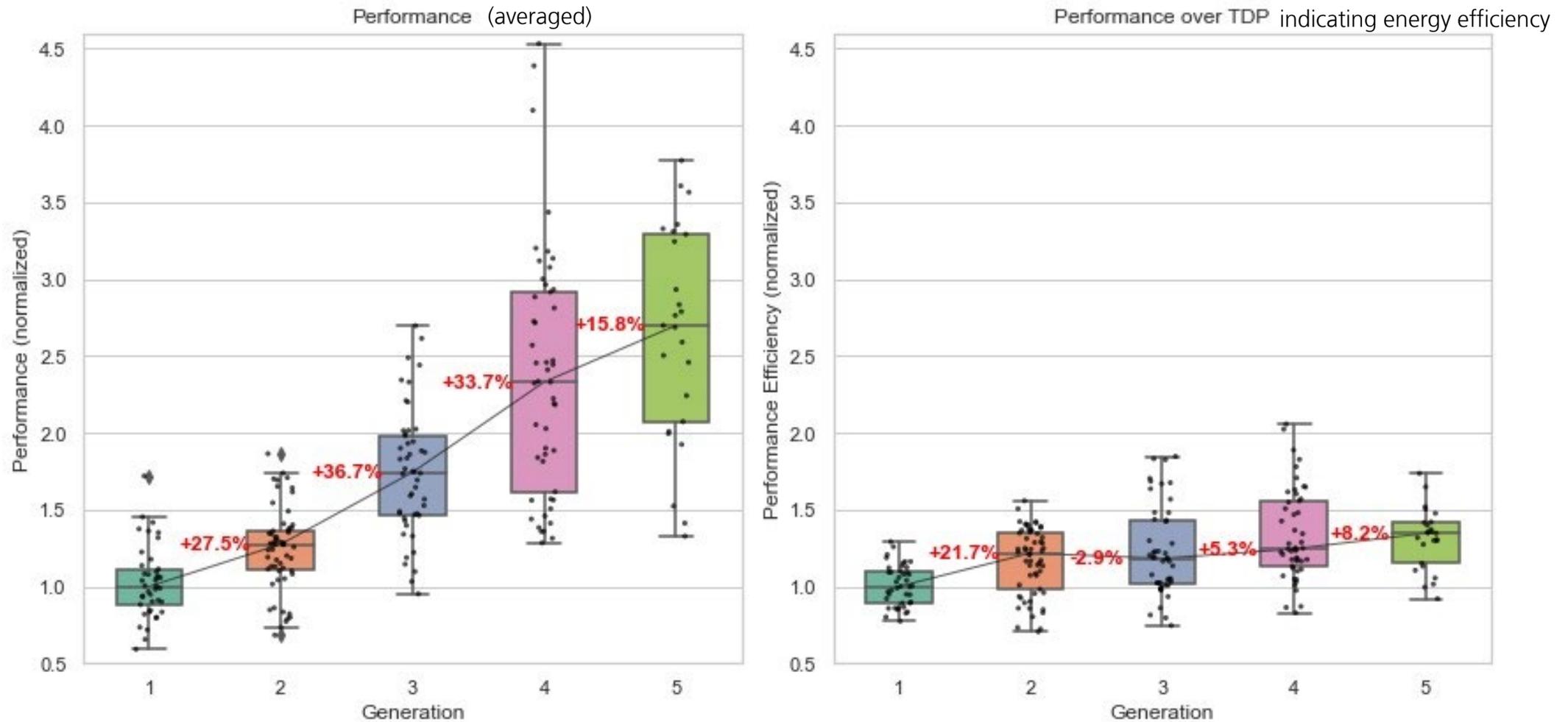
Range of performance is increasing (note 4th generation), Integer Speed improvement starts stalling

- Gen 1: 14nm (2017/2018)
- Gen 2: 14nm (2019/2020)
- Gen 3: 10nm (2020/2021)
- Gen 4: 7nm (2021/2022)
- Gen 5: 7nm (2023/2024)



# Development of Energy Efficiency (normalized benchmarks) using median

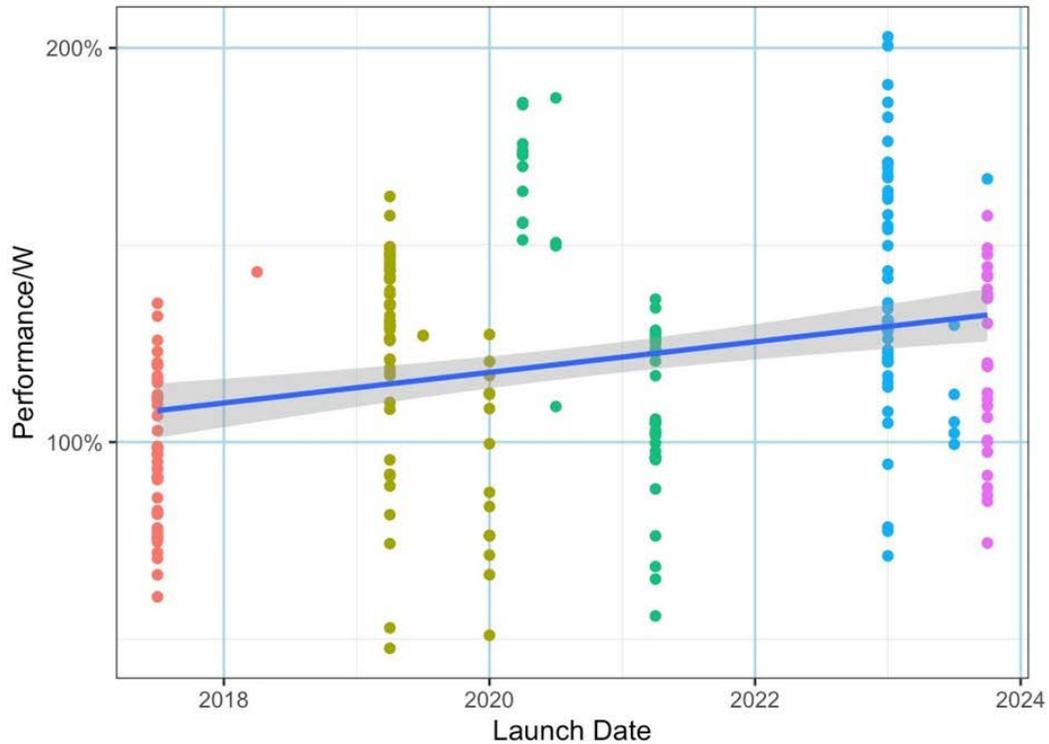
Performance improvement slows down, energy efficiency gains exist statistically



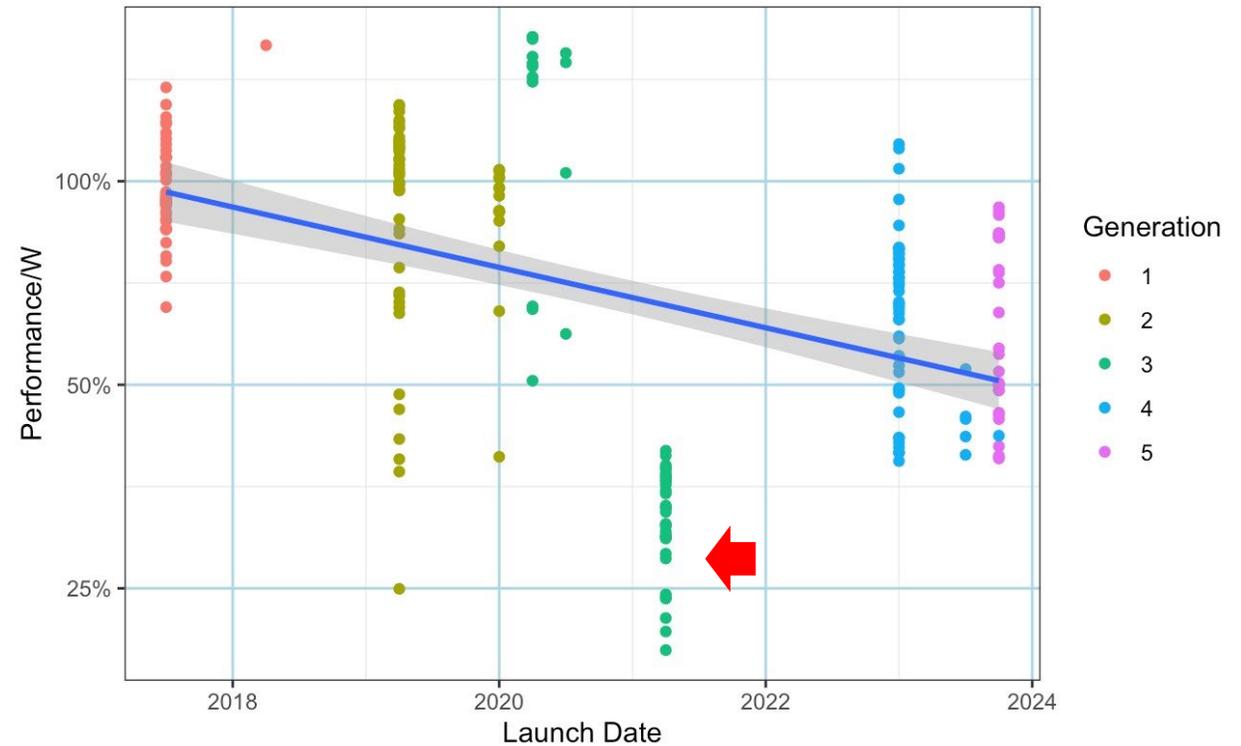
# Energy efficiency development without and with DRAM power consumption

2/3 of max. DRAM capacity with 100 mW/GB (!exact DRAM configuration for benchmarks unknown!)

### Energy efficiency without DRAM power



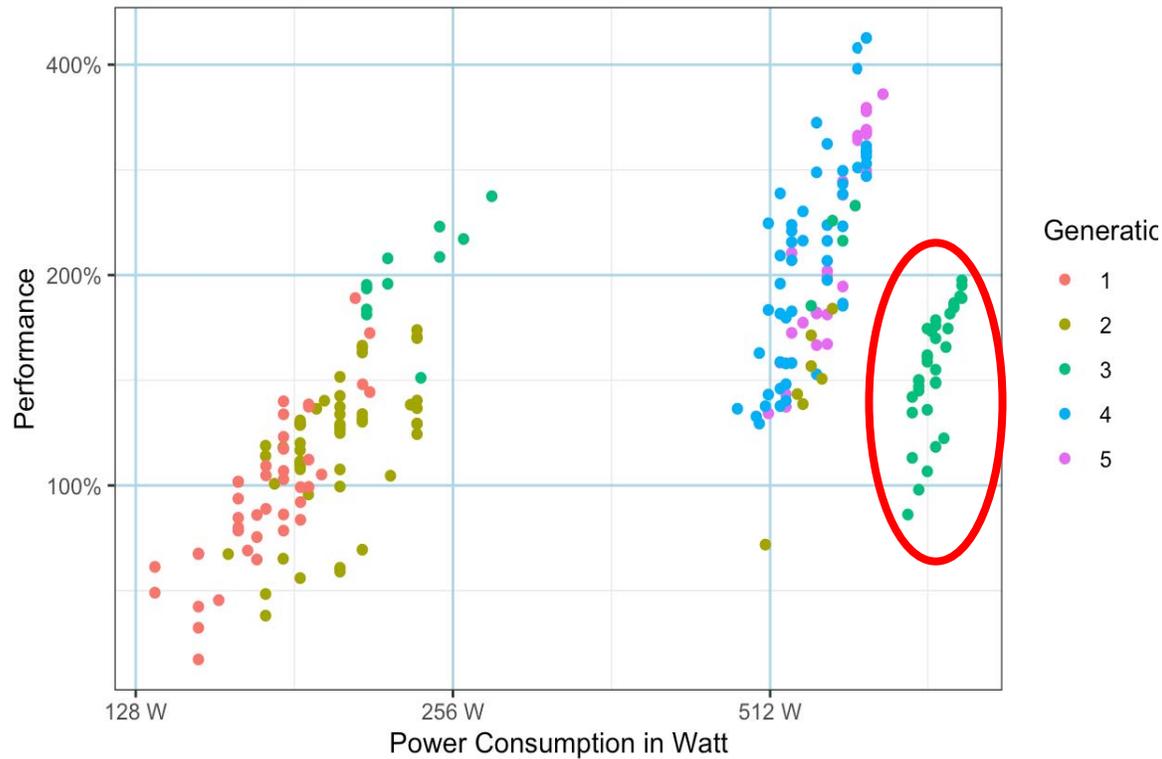
### (theoretical) Energy efficiency with DRAM power



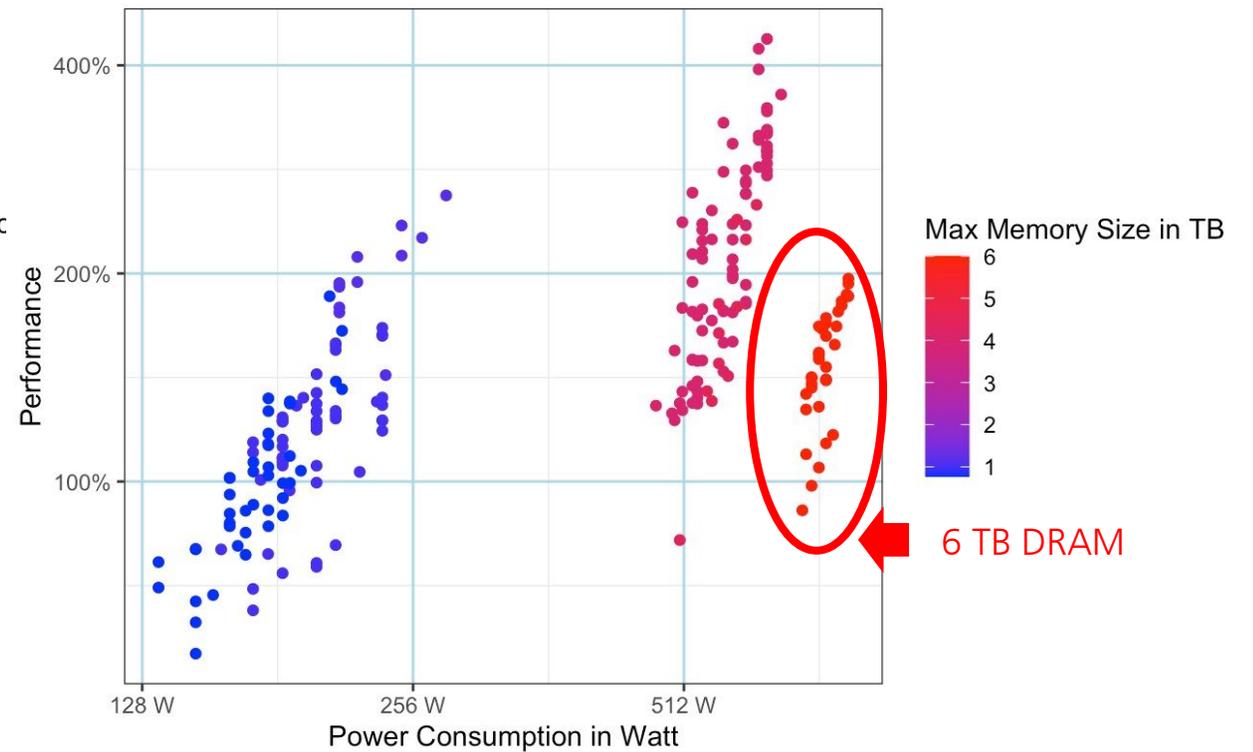
# CPU + DRAM configuration (memory capacity) should be considered for EE

3<sup>rd</sup> Generation Xeon scalable with 6 TB memory reduced total energy efficiency

Performance over CPU Power with DRAM power

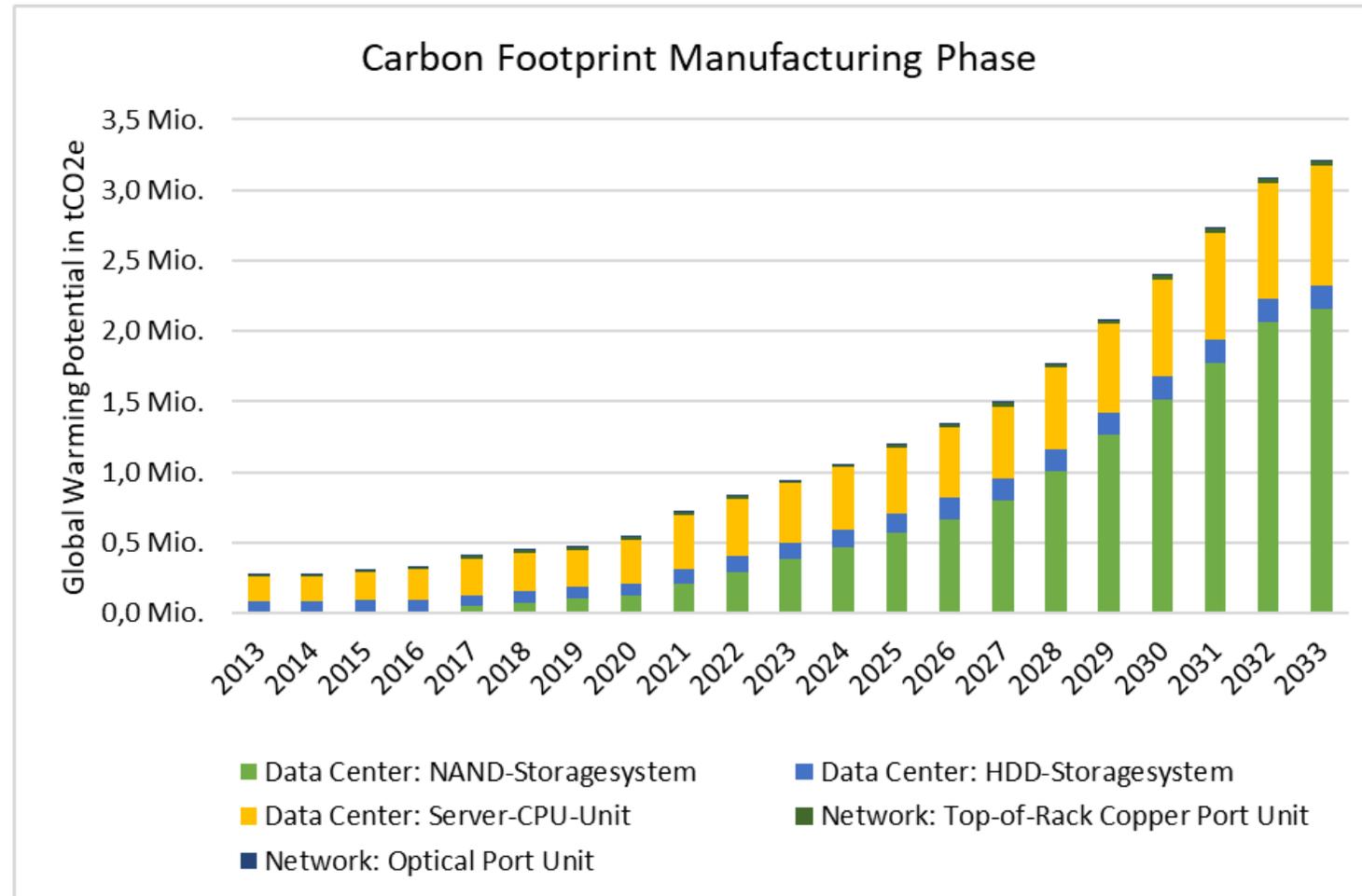


Performance over Power Consumption including DRAM

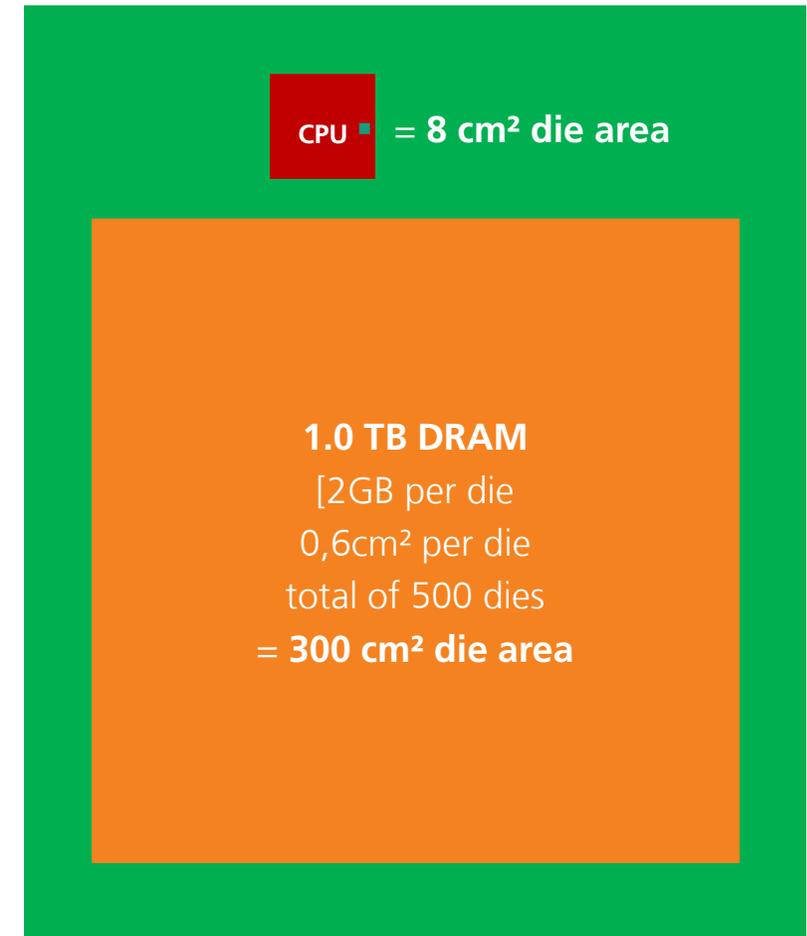


# Carbon Footprint Manufacturing Phase of Data Center Equipment

Solid state memory (NAND + DRAM) have a substantial carbon footprint (die size matters)



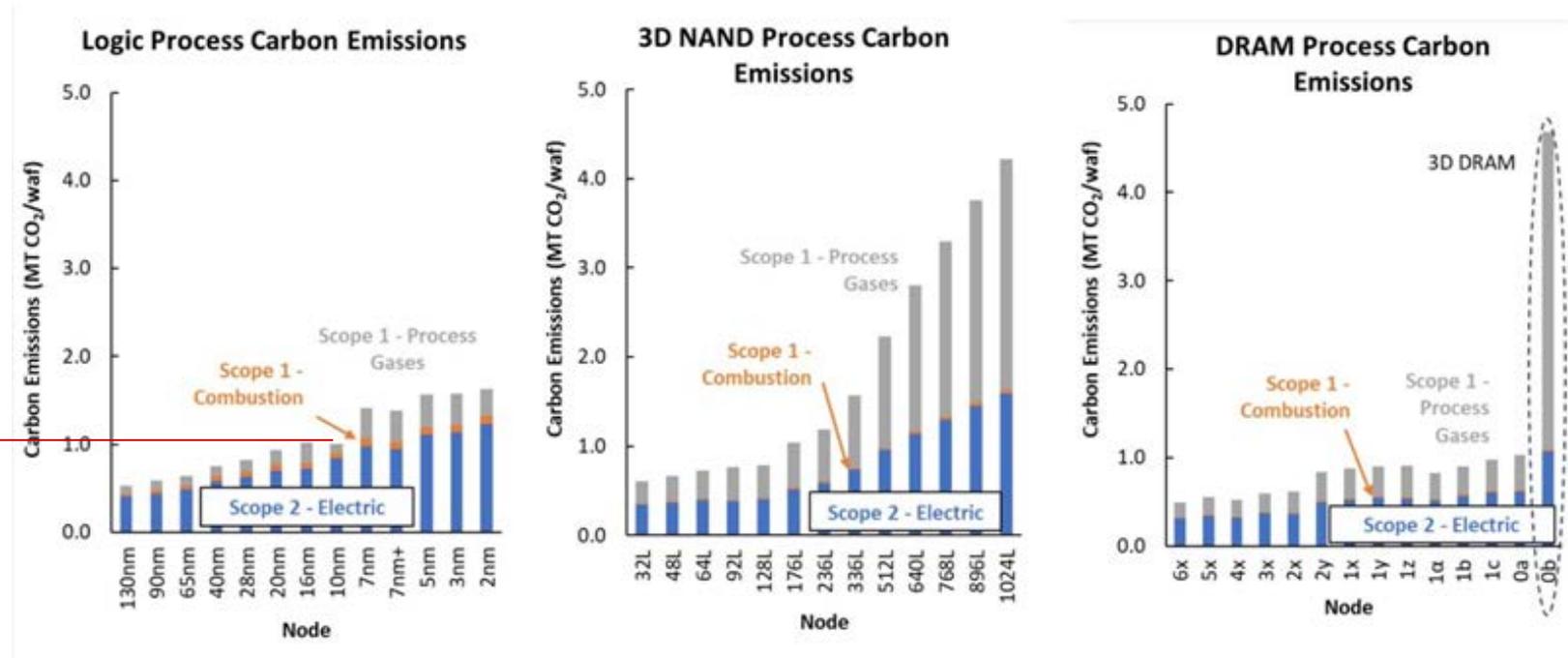
Server CPU-Unit



# The environmental impact varies by type of IC

TechInsights IEDM 2023 – Modeling 300mm Wafer Fab Carbon Emissions

1.45 kgCO<sub>2</sub>e/cm<sup>2</sup>



Logic is Taiwan 2023 electricity; 3D NAND and DRAM are 2023 South Korea electricity. 70% abatement efficiency assumed (we estimate that is the average for the 167 fabs we model).

26 Copyright TechInsights, all rights reserved, public disclosure permitted



by Scotten Jones on 01-09-2024 at 6:00 am

<https://semiwiki.com/events/340325-iedm-2023-modeling-300mm-wafer-fab-carbon-emissions/>

# Carbon Intensity of electricity generation 2000 to 2022

Relative slow progress towards renewable energy

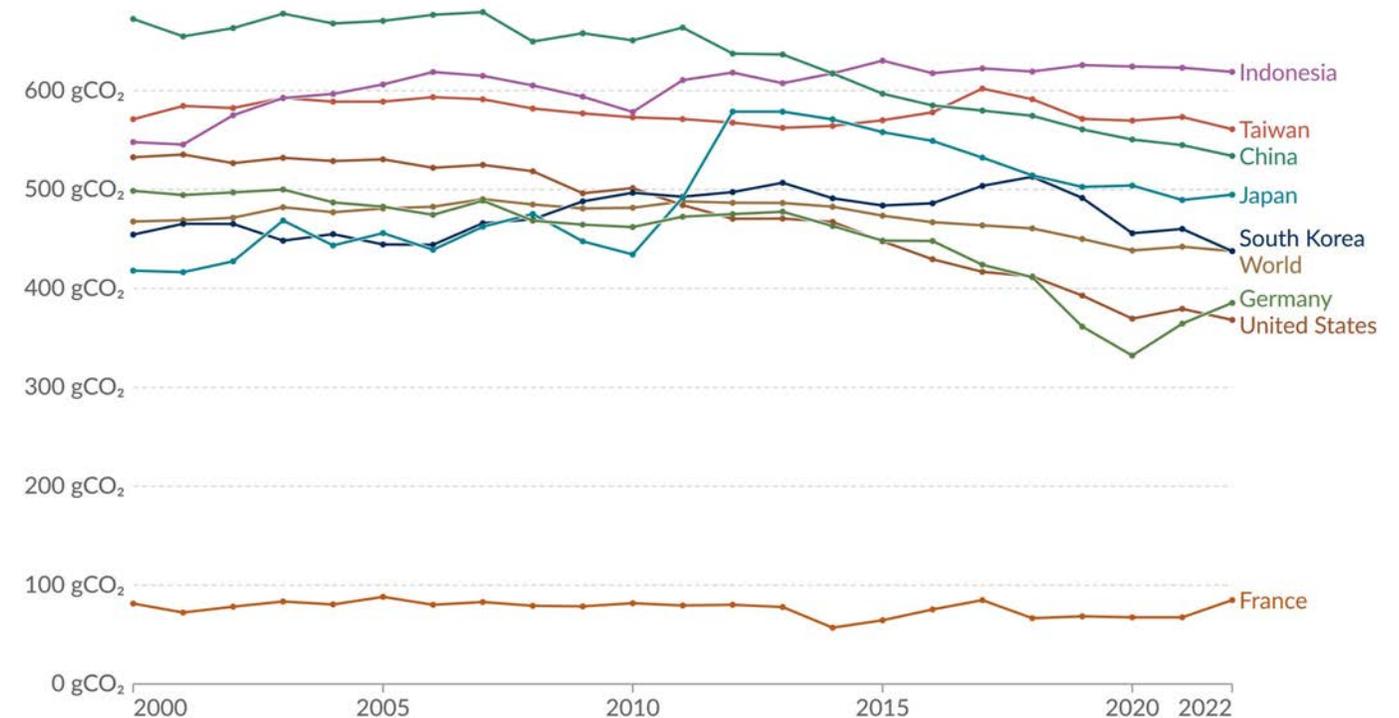
- Energy mix of major chip manufacturing nations is only slowly progressing towards low carbon footprint (GWP)
- Japan took a hike after Fukushima and the switch back from nuclear to fossil fuels
- Taiwan (TSMC) is worst than China (PRC)
- USA energy mix is (on average) better than the average of Germany (no more gas from Russia and no more nuclear power)
- France is nuclear powered → the environmental impact of that is not global warming but human toxicity!!!

Source: [https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=chart&country=FRA~EU-27~OWID\\_WRL~CHN~KOR~USA~TWN~IDN~JPN~DEU](https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=chart&country=FRA~EU-27~OWID_WRL~CHN~KOR~USA~TWN~IDN~JPN~DEU)

## Carbon intensity of electricity generation, 2000 to 2022

Our World in Data

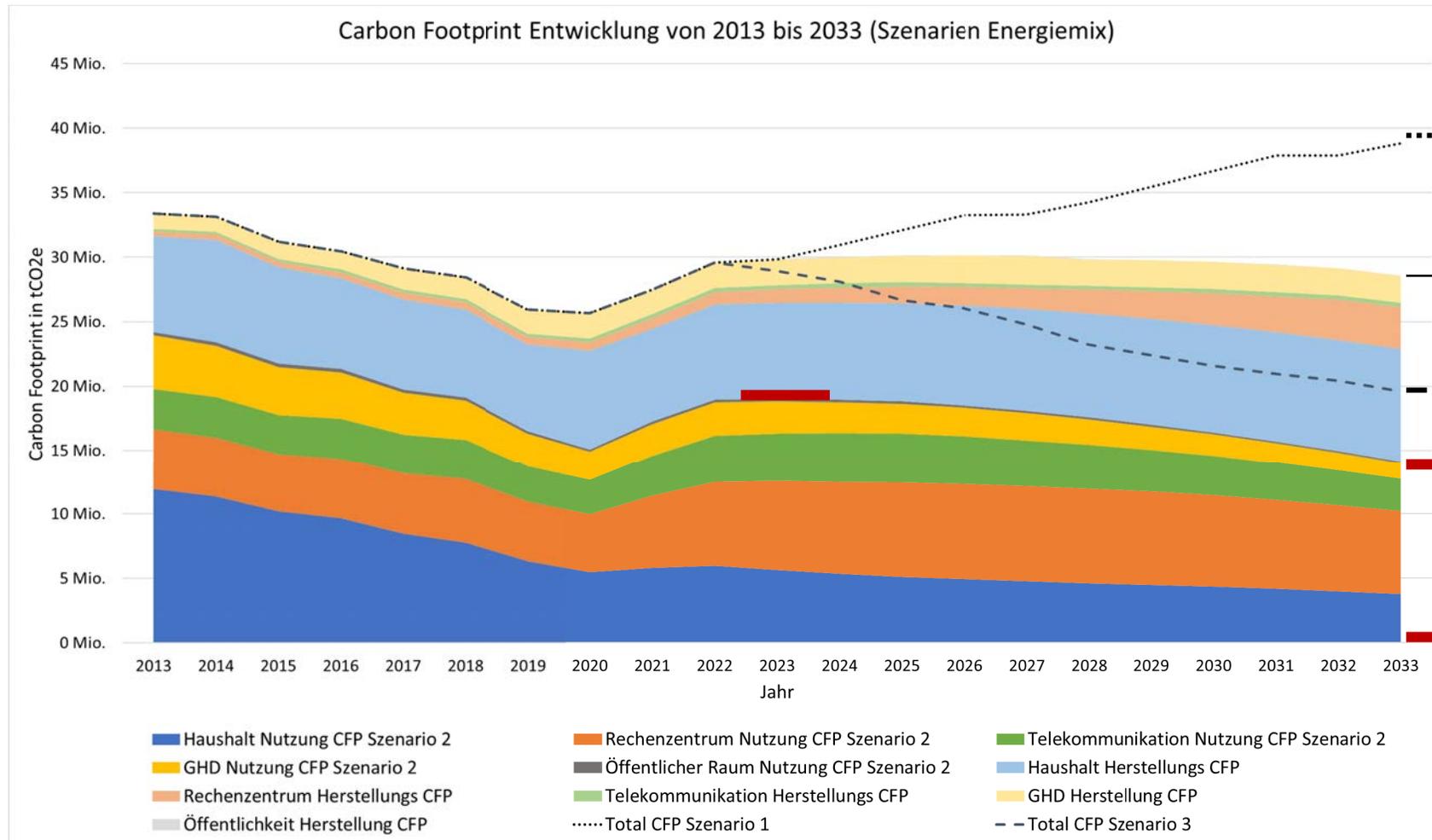
Carbon intensity is measured in grams of carbon dioxide-equivalents<sup>1</sup> emitted per kilowatt-hour<sup>2</sup> of electricity generated.



Data source: Ember - Yearly Electricity Data (2023); Ember - European Electricity Review (2022); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023)  
OurWorldInData.org/energy | CC BY

# Carbon footprint of production & use phase for ICT in Germany 2013 – 2033 greenict.connect<sup>24</sup>

Three energy mix scenarios for Germany are influencing the use phase carbon footprint



Conventional energy mix scenario  
380gCO<sub>2</sub>e/kWh [2030]

Climate change goal scenario  
280gCO<sub>2</sub>e/kWh [2030]

Renewable energy goal scenario  
145gCO<sub>2</sub>e/kWh [2030]

**Use Phase Carbon Footprint will be reduced due to the changing energy mix in Germany**



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



greenict.connect24



greenict.connect24

# Energieeffizienz in der Zerspanung: Eingebettete KI für nachhaltige Fräsprozesse

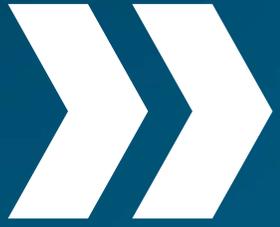
---

16.10.2024

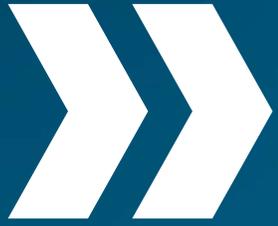
Prof. Dr. Dirk Lange<sup>a</sup>, Lars Wulfert<sup>b</sup>, Romas Auder<sup>c</sup>, Dina El-Hadi<sup>c</sup>, Lutz Gendrich<sup>b</sup>, Christian Müller<sup>a</sup>, Dr. Maren Kasischke<sup>b</sup>, Prof. Dr. Joachim Friedhoff<sup>c</sup>, Alexander Stanitzki<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Marposs Monitoring Solutions GmbH, <sup>b</sup> Fraunhofer für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS, <sup>c</sup> Institut Maschinenbau Hochschule Ruhr West





**Die zerspannenden Fertigungsverfahren bergen ein Einsparungspotenzial von bis zu 37% ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen«**



# Agenda

- **Energy Monitoring by Marposs Monitoring Solutions**
- **Validierungsprojekt: Eingebettete KI für nachhaltige Fräsprozesse**
- **Automatisierte Messung der Leistungsaufnahme in eingebetteten Systemen**

Prof. Dr. Dirk Lange

---

# Energy Monitoring by Marposs Monitoring Solutions

# 17 globale Nachhaltigkeitsziele



# MARPOSS GRUPPE

worldwide present in

**34**  
countries

offices worldwide

**80**

exports

**94%**

more than

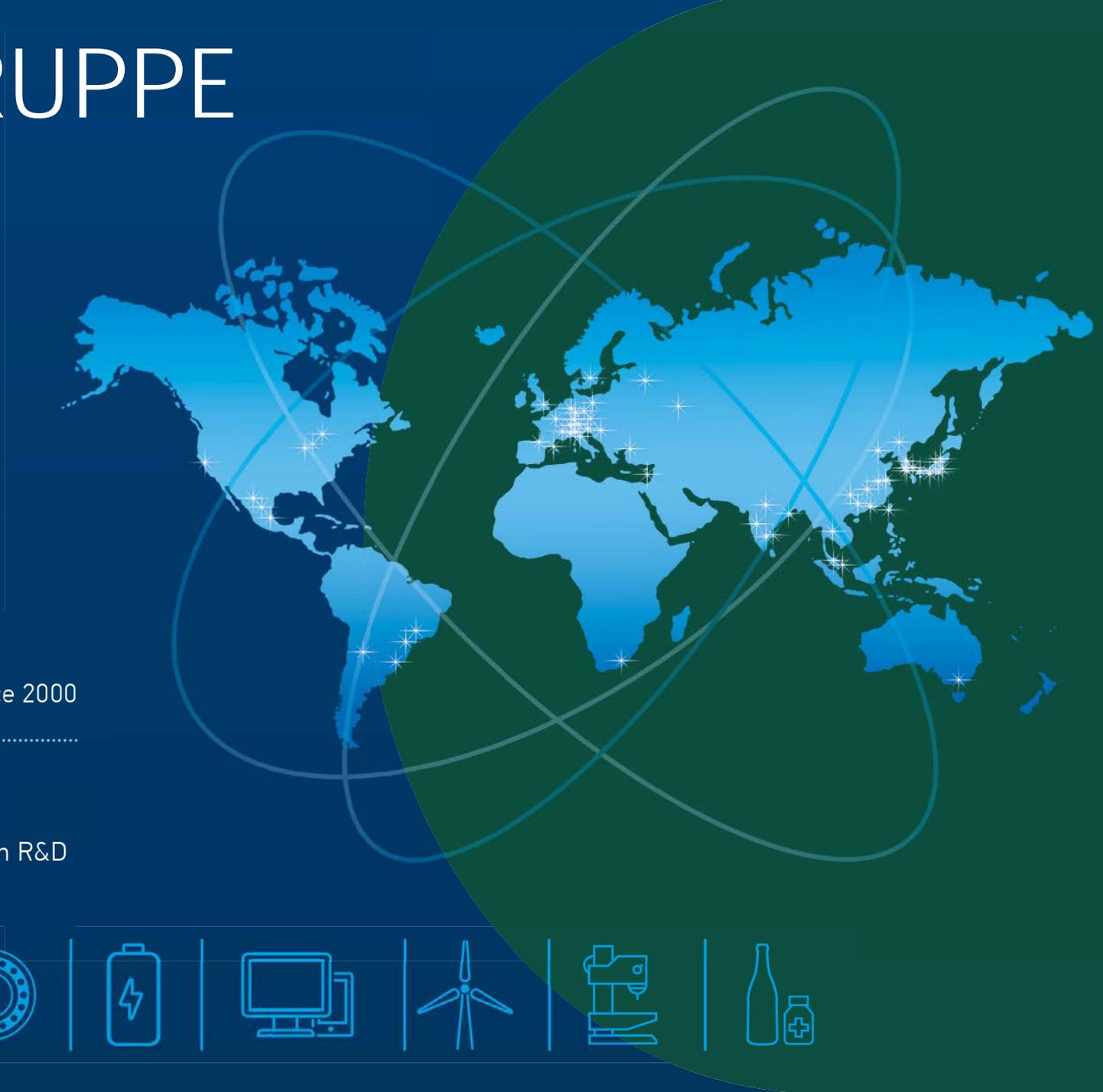
**3,700**  
employees

**26**

key acquisitions since 2000

**8%**

resources invested in R&D



# MARPOSS Gruppe

CONTROL GAGING (USA)  
ZHONGYUAN (CN)  
AEROEL (IT)  
MOVOMATIC (CH)

MESSGERÄTE FÜR PRE-,  
IN- UND POSTPROZESS



INDUSTRIELLE  
AUTOMATISIERUNG



ELETTROSYSTEM (IT)

ARTIS (DE)  
BRANKAMP (DE)  
DITTEL (DE)  
SCHWER + KOPKA (DE)  
TTV (IT)  
mesys

PROZESSÜBERWACHUNG  
UND SENSORIK



MESS- UND  
PRÜFTECHNIK



AEROEL (IT)  
FL TOOL HOLDERS (USA)  
LEHREN - UND  
MESSGERÄTEWERK  
SCHMALKALDEN (DE)  
METREL (IT)  
MG (IT)  
MILLENNIUM (USA)  
STIL (FR)



**MARPOSS**

BLULINK (IT)

CAQ-  
SOFTWARELÖSUNGEN



DICHTHEITSPRÜFUNG



HELIUM TECHNOLOGY (IT)  
MG (IT)  
TECNA (IT)  
TRACE (FR)

E.D.C. (IT)

PRÜFSYSTEME FÜR  
ELEKTROMOTOREN



LUFT- UND  
RAUMFAHRT



BPMA (FR)  
KERN (FR)

# Anwendungen der Zerspanung

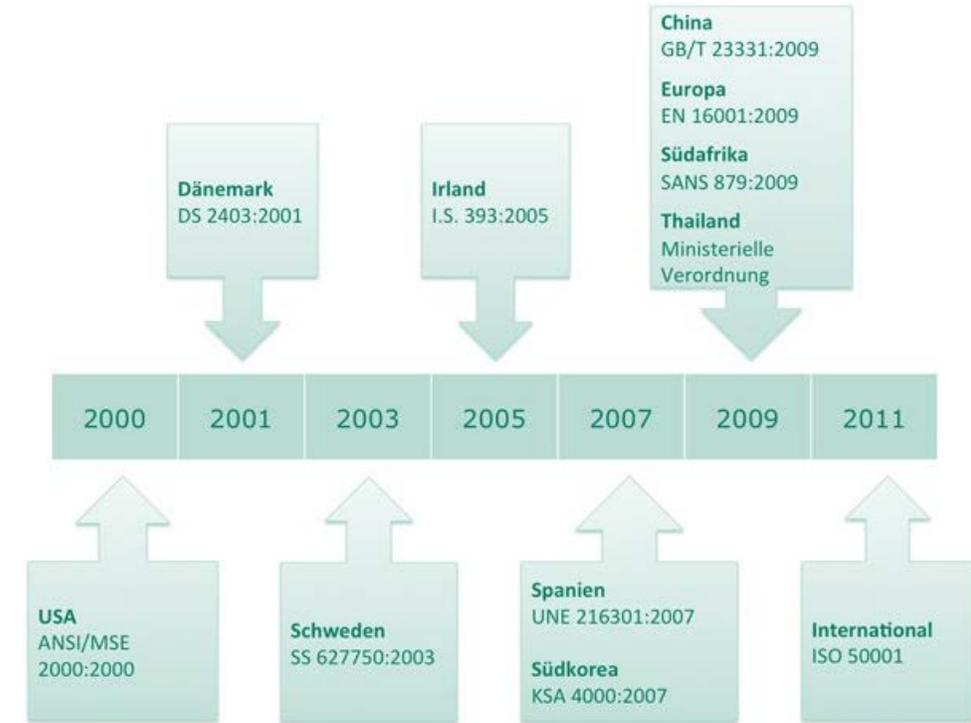
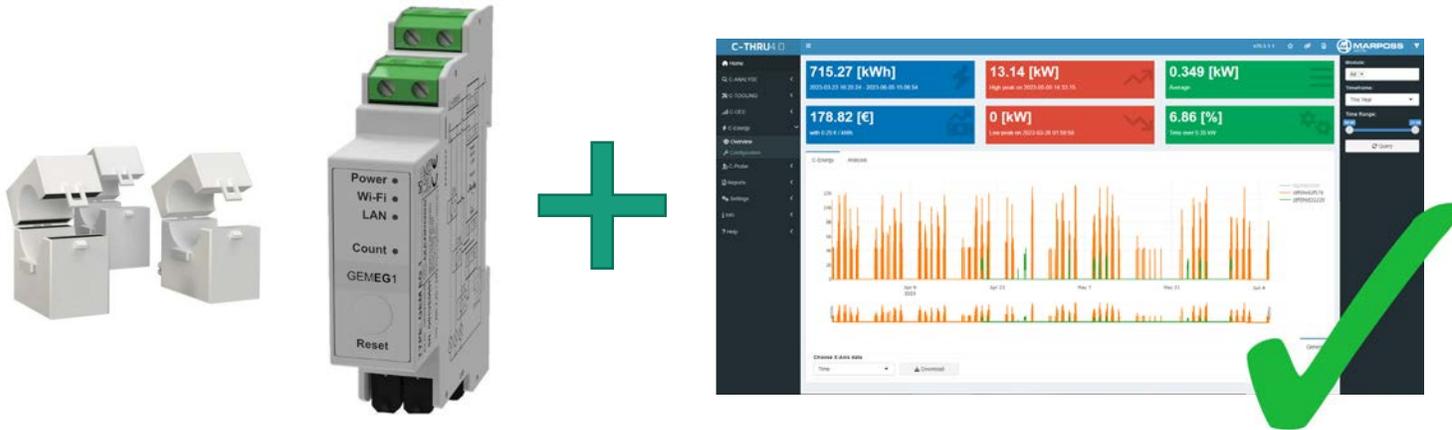


# Zertifizierung

## ISO 50001:2018

- Internationale Norm für Energiemanagementsysteme (EnMS)
- Konzentriert sich auf die Verbesserung der Energieeffizienz und die Reduzierung des Energieverbrauchs
- Hilft bei der Identifizierung von Energiesparmöglichkeiten und der Verfolgung von Fortschritten
- Kann mit nationalen und regionalen Energiemanagement-Vorschriften in Einklang gebracht werden
- Weltweit anerkannt und umgesetzt, auch in Deutschland

## Energiemanagementsoftware als Basis für eine Zertifizierung

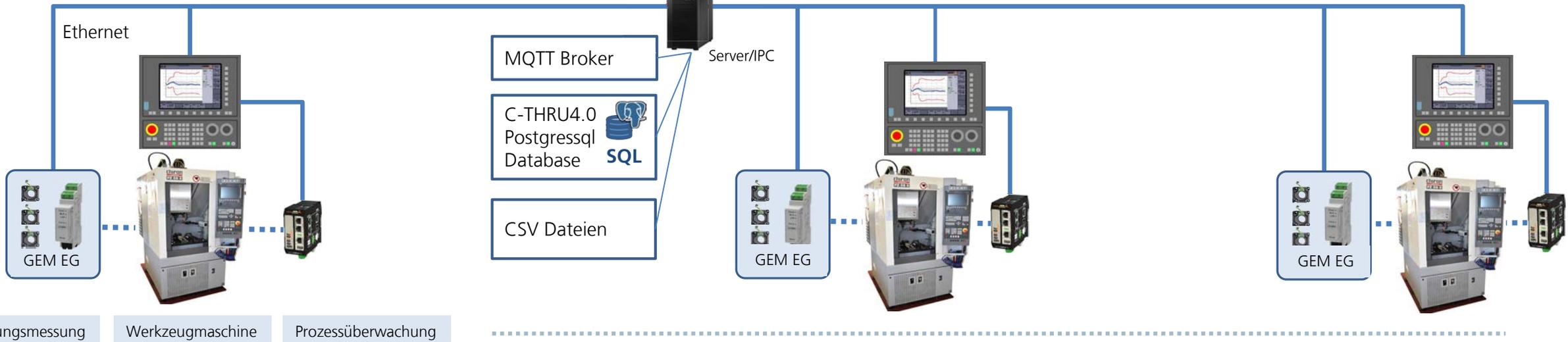


# Systemkonzept Energiemanagement



Web basierte Lösungen

- C-THRU4.0
- C-Analyse
- C-Energy



# Energiemanagementsoftware zur Visualisierung und Analyse der Energieverbräuche

**Gesamtleistung im  
gewählten Zeitraum**



**Energiekosten/  
Maximalleistung**



**CO<sub>2</sub> Verbrauch**



**Potentielle  
Einsparungen**



**Anteil der Leistung  
über einer  
Schwelle: Aktivzeit**



# Korrelation zwischen Energieverbrauch Klimagerät und Temperatur

49,339 [MWh]

2024-08-01 09:36:00 - 2024-09-01

12.334,64 [€]

with 0,25 € / kWh

19,74 [T]

CO2 Emission with 400,00 g / kWh

0,79 Ø

Power Factor for 2 machines

128,101 [kW]

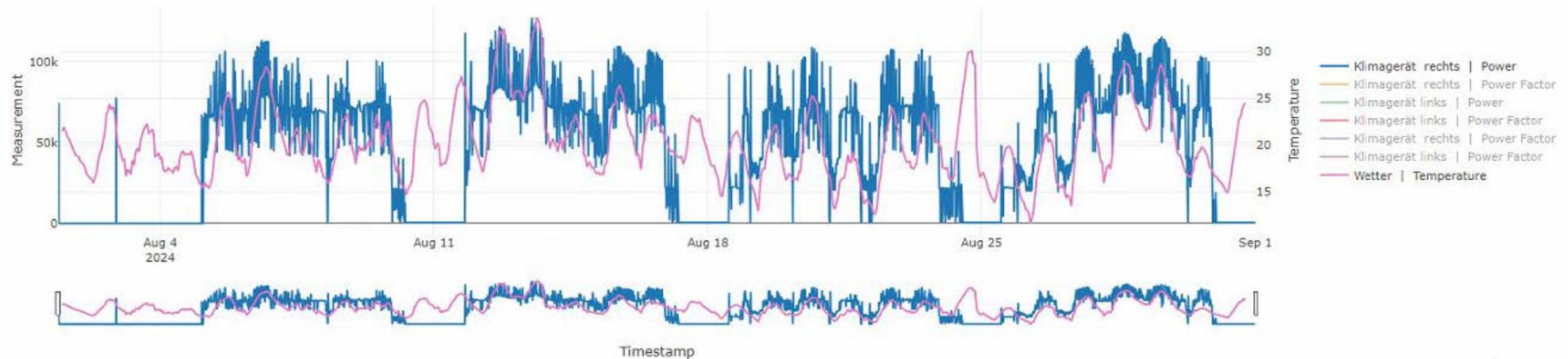
High peak on 2024-08-13 15:04:00

57,82 [%]

Time over 9.44 kW (849,20 hours)

C-ENERGY Analysis

Measurement Curve Duration Curve



Limits General

Choose X-Axis data

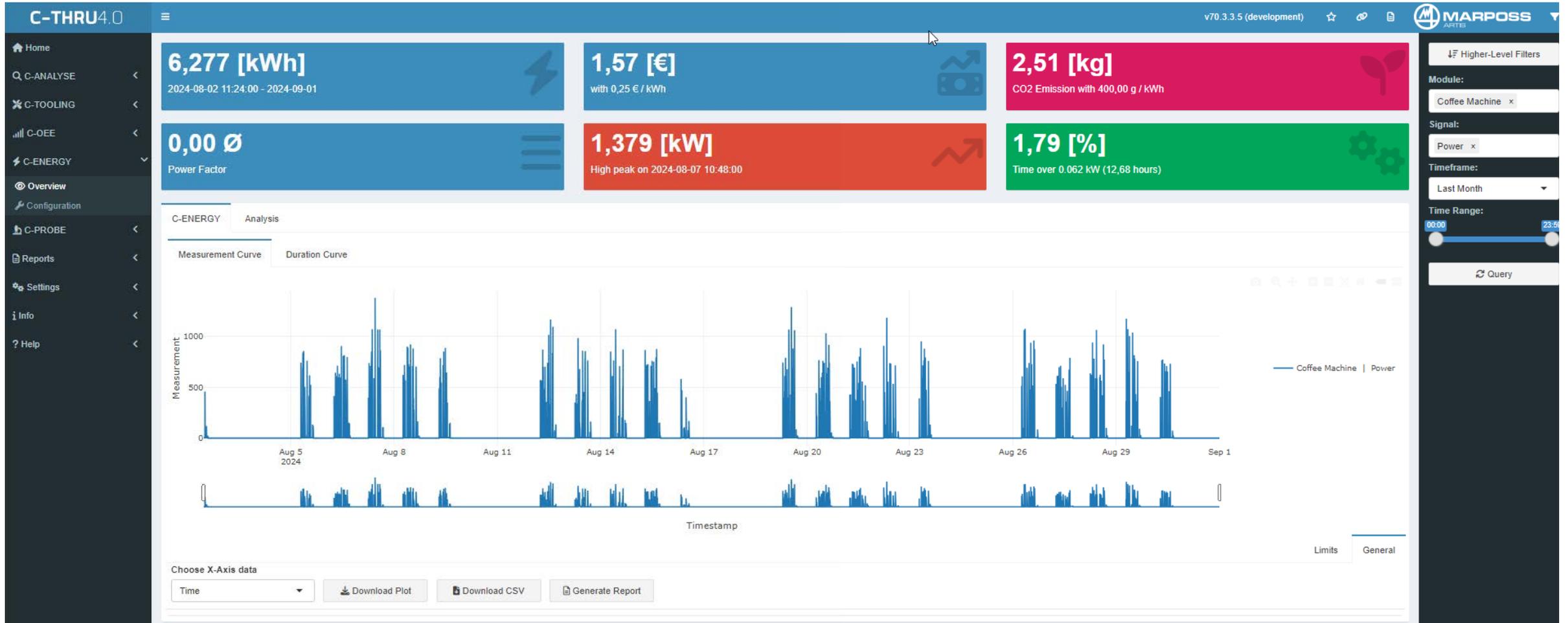
Time

Download Plot

Download CSV

Generate Report

# Energieverbrauch einer Office-Kaffeemaschine

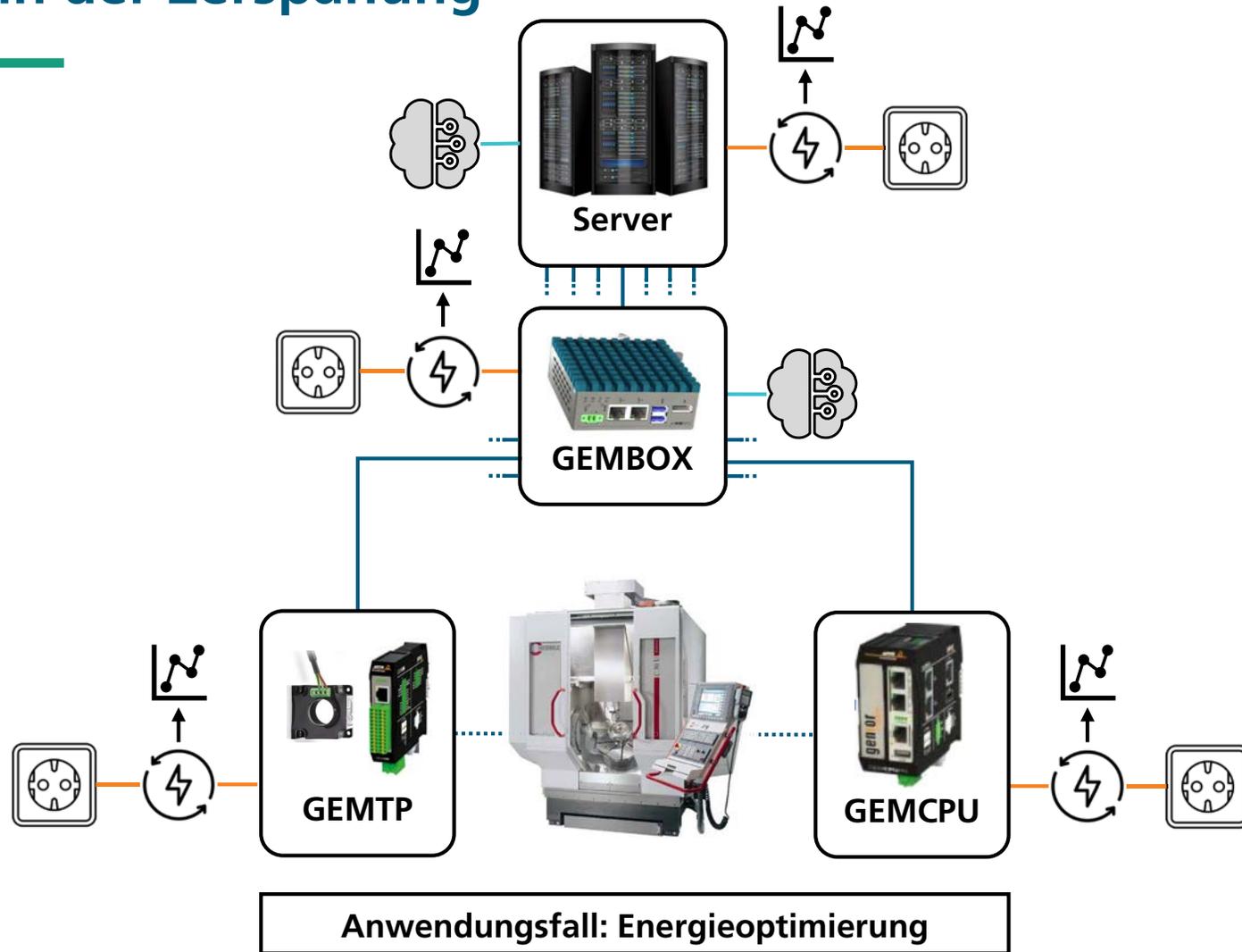


Prof. Dr. Dirk Lange

---

# Validierungsprojekt: Eingebettete KI für nachhaltige Fräsprozesse

# Konzept für Energie-Monitoring und eingebettete KI in der Zerspanspannung



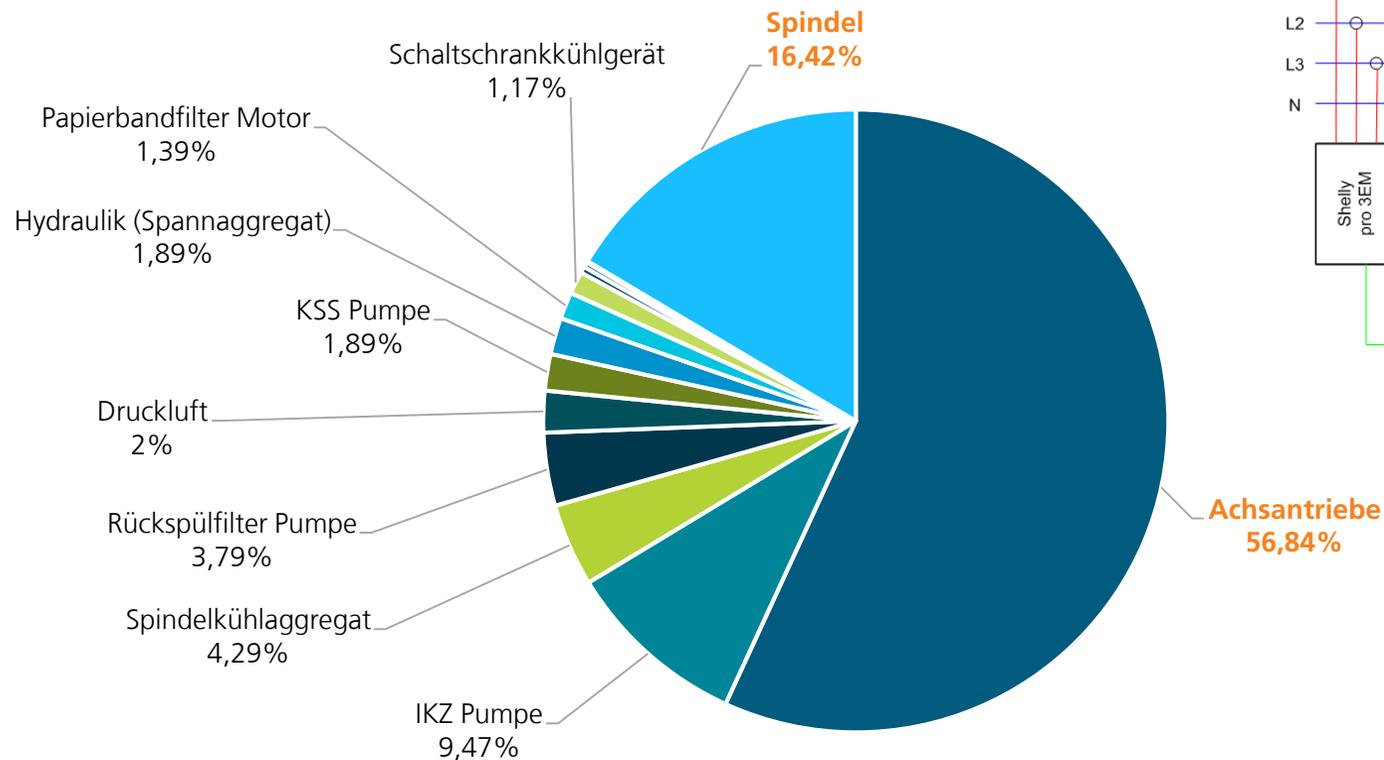
## Ziele und Vorgehen

- Energieoptimierung durch verbesserte Prozessführung
- Energieverbrauchsmessung einzelner CNC-Fräsmaschinenaggregate mit Marposs-Modulen
- Vergleich von Energieverbräuchen der GEM-Module
- Grenzwertbetrachtungen: Schruppen vs. Schlichten und 3-Achs- vs. 5-Achs-Bearbeitung
- KI-basierte Datenanalyse on the Edge: Zuordnung, Klassifikation und zukünftige Funktionen (Anomalieerkennung, Handlungsempfehlungen, Oberflächengüte)

# Hauptleistungsverbraucher und Messtellen in der CNC-Fräsmaschine

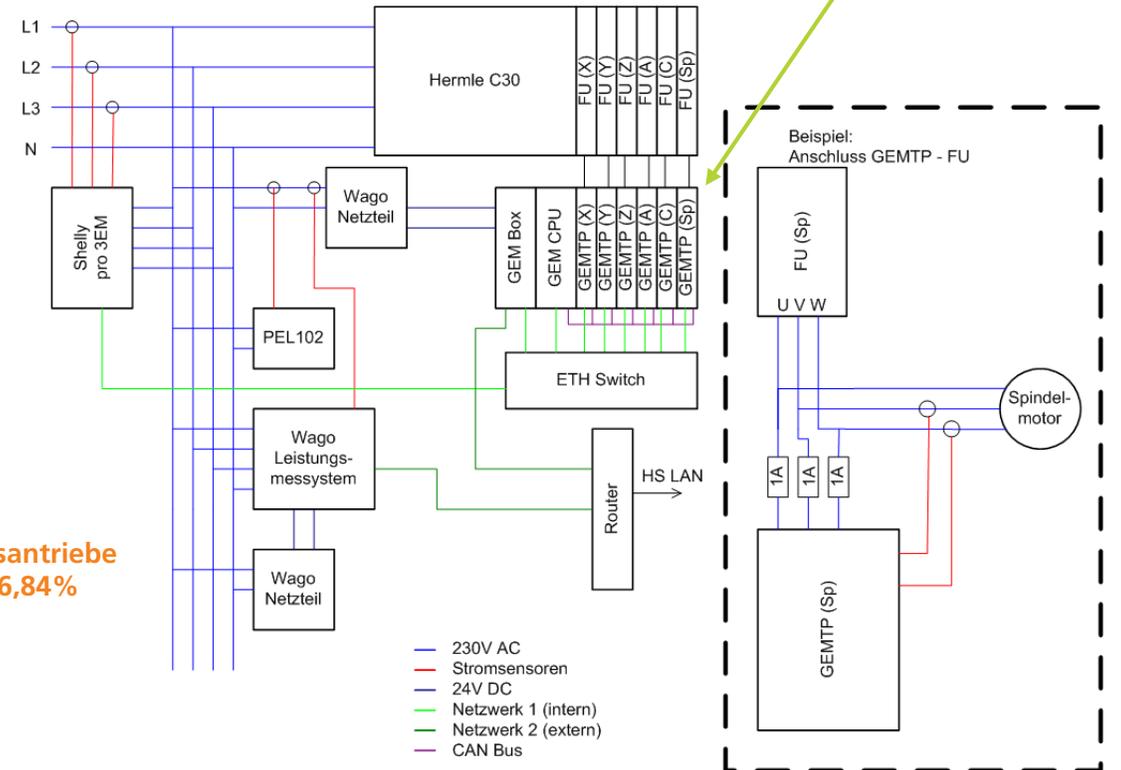


## Leistung der einzelnen Aggregate



Anschlussleistung: Hermle C30 U ca. 67 kW

## Aufbau und Messeinrichtung

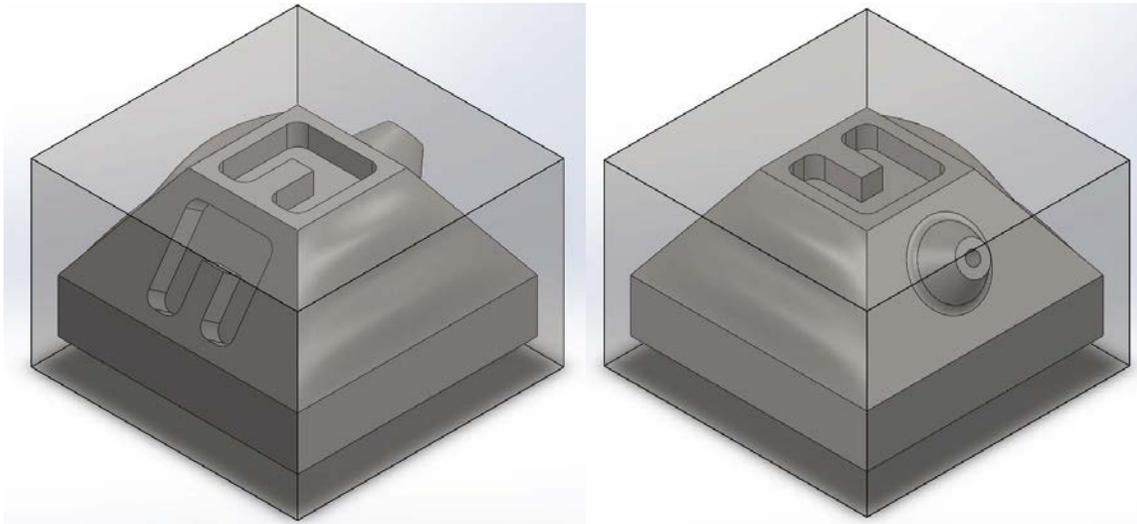


Anschlussleistung: GEM Module (6x GEMTP, GEMCPU, GEMBOX) insg. ca. 70 W

# Effizienzsteigerung durch Grenzwertanalyse in der Fräsbearbeitung

## Schruppen vs. Schlichten & 3-Achs vs. 5-Achs-Bearbeitung

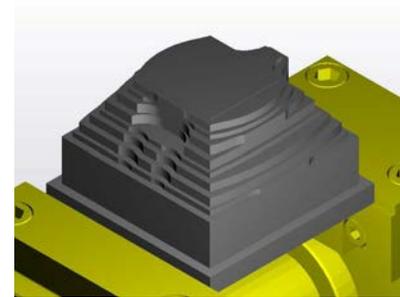
### Fräsobjekt



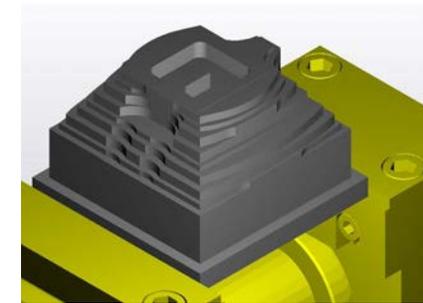
Werkzeugstahl/Kaltarbeitsstahl 1.2379 (X155CrVMo12-1)

### Fräsjobs

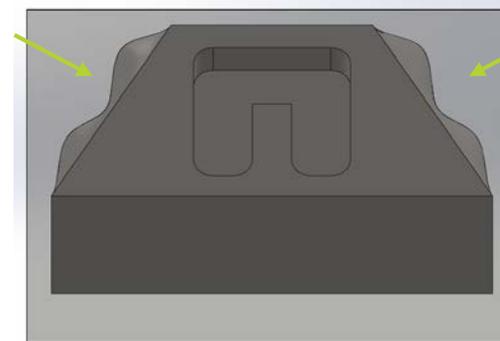
Schruppen



Taschenfräsen

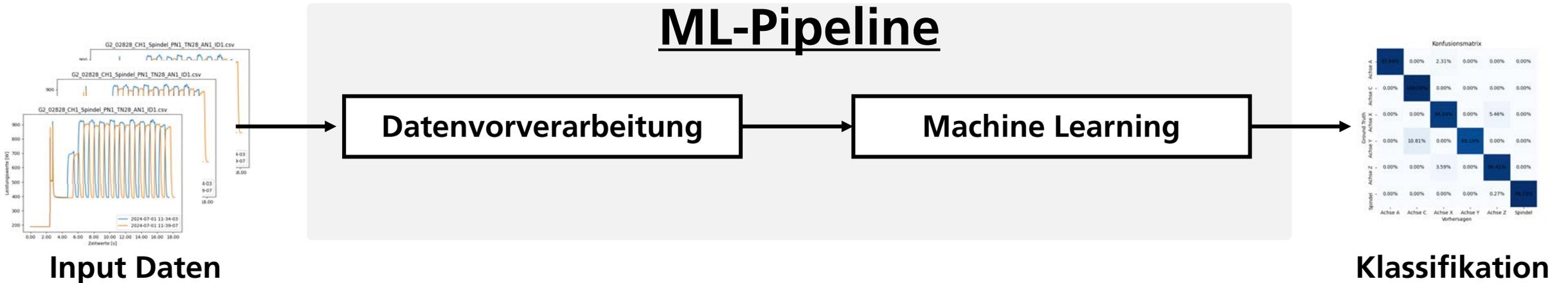


3-Achs Fräsen



5-Achs Fräsen

# Klassifikation der Achsen- & Spindel-Leistungsaufnahmedaten mittels ML zur Pipeline-Entwicklung



## Anforderungen

- Verarbeitung von Zeitreihendaten durch das ML-Modell
- Kompatibilität des ML-Modells mit AlfES und eingebetteten Systemen für Umweltbewertung (hier AIRISC auf einem Arty A7 FPGA Board)

## Ergebnisse

- Klassifikation der Input Daten von Vorversuchen (Planfräsen)
- Es konnte eine Genauigkeit von 96,58 % bei der Klassifikation erreicht werden
- Die gemessene Leistungsdifferenz während der Ausführung der ML-Pipeline zum Standby-Modus betrug 10,53 mW (der Leistungsverbrauch im Standby betrug 635,48 mW)

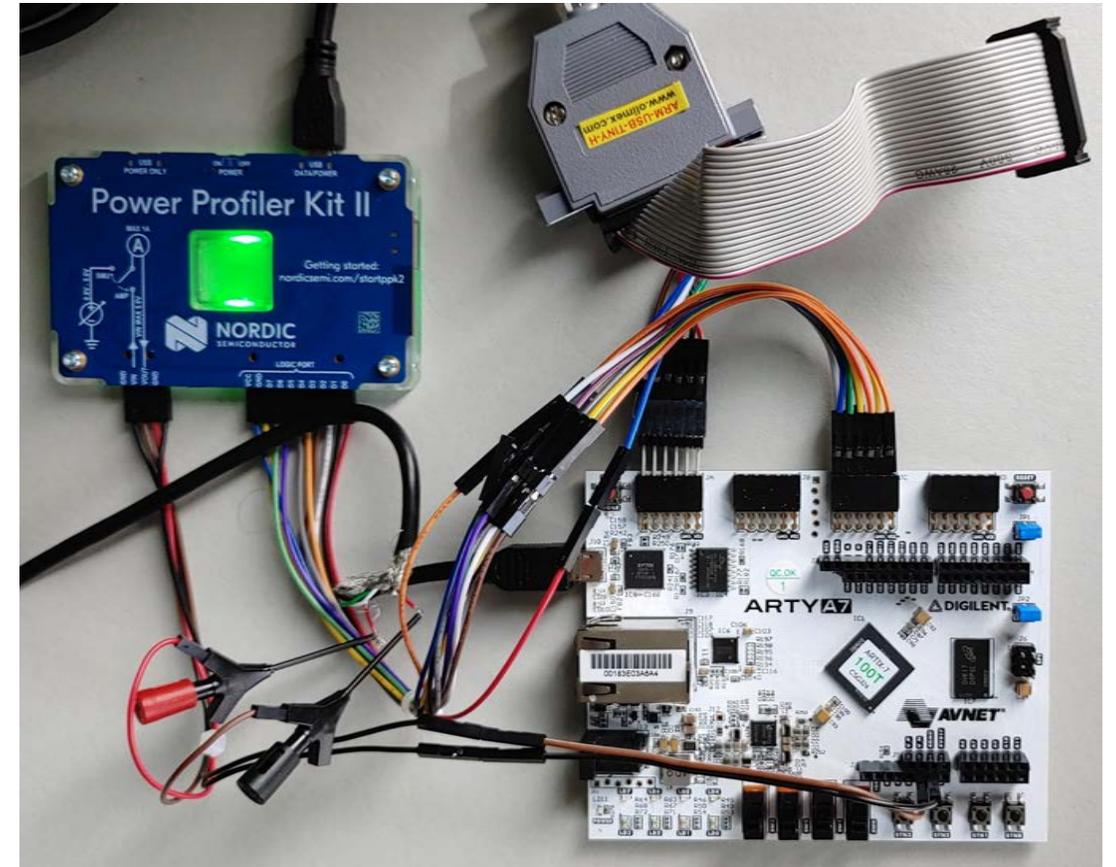
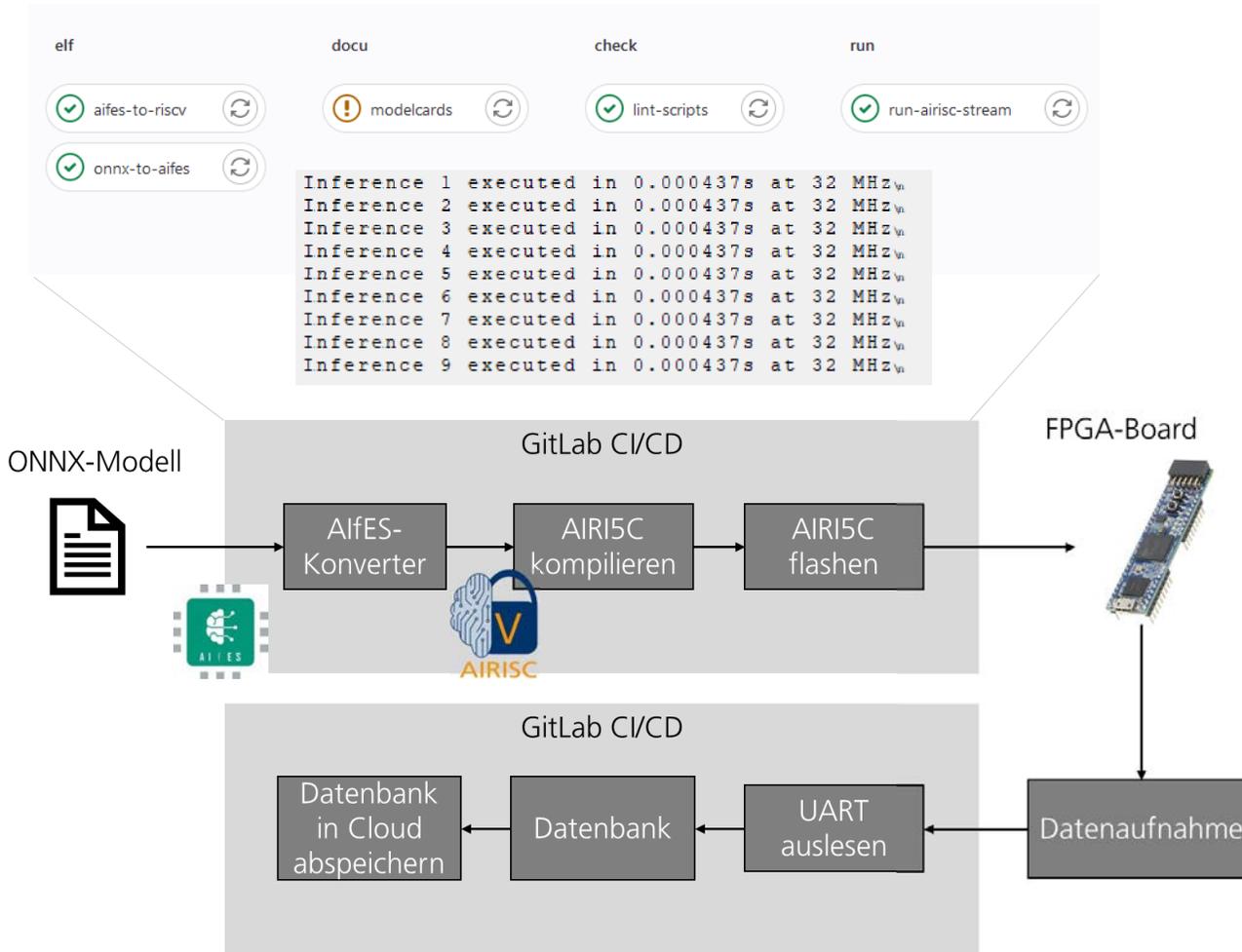
Alexander Stanitzki

---

# Automatisierte Messung der Leistungsaufnahme in eingebetteten Systemen

# Automatisierung der Messdurchführung

## Unter Einsatz von AifES und AIRISC



# Vorteile von Embedded AI

## Optimierte Sicherheit und Effizienz im Vergleich zur Cloud

- Safety & Security
  - Keine Anbindung an die Cloud notwendig, was besonders in branchenspezifischen Anwendungen (hier: Metallindustrie) relevant ist
  - Hohe Robustheit, da keine Kommunikationsinfrastruktur benötigt wird
- Echtzeitfähigkeit
  - Schnellere Datenverarbeitung direkt an den Sensoren
- Effizienzsteigerung
  - Höhere Effizienz durch die Übertragung höherwertiger Informationen und keine Rohdaten
- Leistungsvergleich zur Cloud-Lösung
  - Datenübertragung über W-LAN Verbindung (6 Mbit/s)
  - Energieverbrauch: 400 kWh pro Jahr (pro Anlage)
  - CO-Emissionen: 160 kgCO<sub>2e</sub> pro Jahr (pro Anlage)



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**





# Kontakt

---

**Alexander Stanitzki**  
**Business Unit Industry**  
**Tel. +49 203 3783-239**  
**[alexander.stanitzki@fraunhofer.de](mailto:alexander.stanitzki@fraunhofer.de)**

Fraunhofer für Mikroelektronische Schaltungen  
und Systeme IMS  
Finkenstr. 61  
47057 Duisburg  
[www.ims.fraunhofer.de](http://www.ims.fraunhofer.de)



# Kontakt

---

**Prof. Dr.-Ing. Dirk Lange**  
**Marposs Monitoring Solutions GmbH**  
**Tel. +49 4175 80 855 210**  
**[dirk.lange@mms.marposs.com](mailto:dirk.lange@mms.marposs.com)**

MARPOSS Monitoring Solutions GmbH  
Buchenring 40  
21272 Egestorf - Germany  
[www.artis.de](http://www.artis.de)



greenict.connect24



greenict.connect24

# „Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?“

---

Peter Spies, Constantin Baumann, Johannes Wiczorek, Fraunhofer IIS; David Sánchez, Fraunhofer IZM

Berlin, 16.10.2024

# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Outline

---

### Agenda

Drahtlose IoT-Sensoren

Anwendungsfall und Energieverbrauch

Komponenten eines IoT-Sensors

Auslegung der Energieversorgungen

Bestimmung und Vergleich des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks

# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Drahtlose IoT-Sensoren

- Weltweit existieren aktuell mehr als 13 Mrd. drahtlose IoT-Geräte, bis 2030 werden 25 Mrd. erwartet
- Im Industrial IoT sind Maschinen, Anlagen und Prozesse mit dem Internet vernetzt, um deren Effizienz, Produktivität und Sicherheit zu erhöhen
- Die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) sammelt, überträgt und verarbeitet dafür Daten und steuert damit verschiedenste Objekte wie Maschinen, Anlagen und Prozesse:
  - Betriebsmittel kontrollieren: **Einsparung von Ressourcen**
  - Wartung vorhersagen: **Ausfälle vermeiden, Produktivität erhöhen**
  - Maschinen im Fehlerfall anhalten: **Minimierung oder Vermeidung von Schäden**

ICT for Green: Informations- und Kommunikationstechnologie für Nachhaltigkeit

Aber wie nachhaltig ist die IKT selbst? Wie nachhaltig sind die IoT-Sensoren?



# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Anwendungsfall und Energieverbrauch

- **Sensorknoten zur Erfassung und drahtlosen Übertragung von Verbrauchswerten (Wasser, elektrische Energie oder Wärme)**
- LPWAN mioty Funkprotokoll
- *Anwendungsfall 1:* Übertragung alle 15 min
- *Anwendungsfall 2:* Übertragung alle 5 min
- Energieversorgung
  - Batterien: Erzeugen Wartungsaufwände und Sondermüll
  - Energy Harvesting: Nutzt Energie aus der Umwelt (Licht, Wärme), abhängig von der Einsatzumgebung

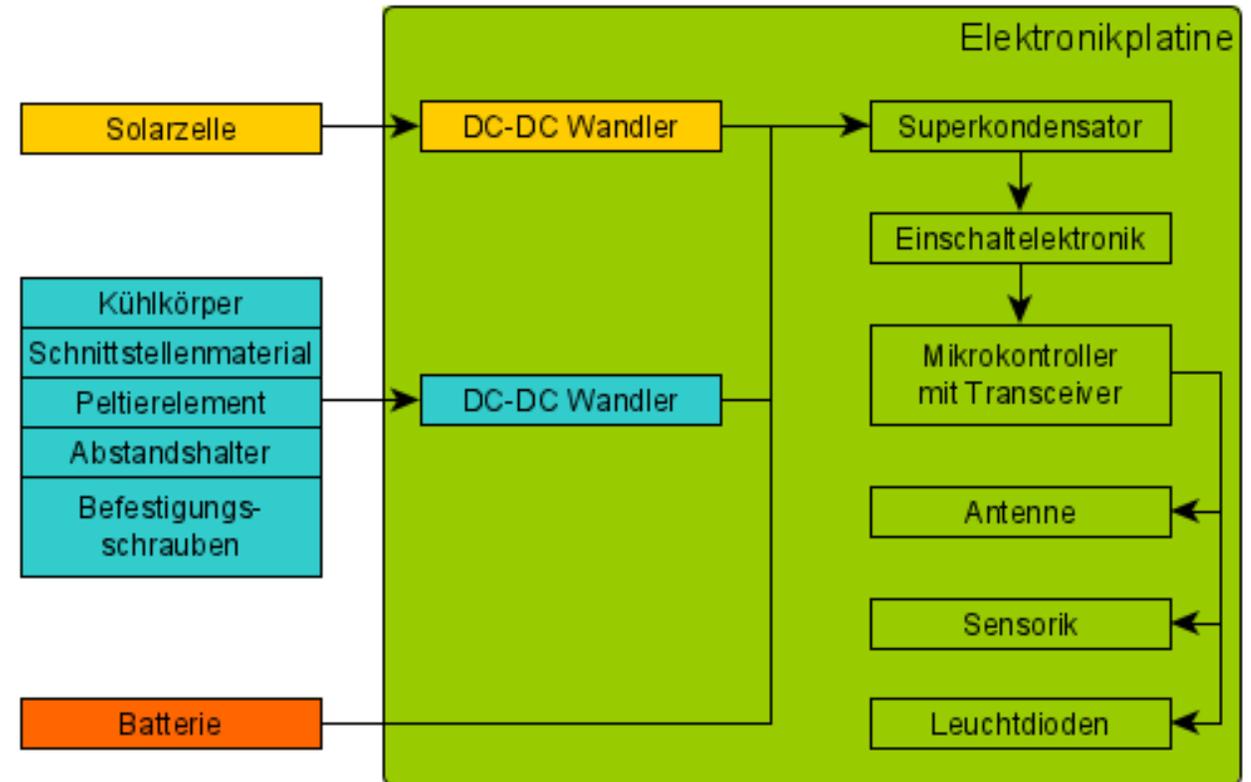


Name	Anwendungs-		Einheit
	fall 1	fall 2	
Intervall Temperaturmessung	16	16	s
Intervall Durchflussmessung	2	2	s
Intervall Funkübertragung	15	5	min
Periode der Mittelwertbildung	60	32	s
Payload	61	41	byte
Leistungsbedarf	400	790	µW

# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Komponenten eines IoT-Sensors

- Elektronische Funktionsblöcke (ICs, Speicher, Sensoren, Antenne) werden auf einer Elektronikplatine (PCB) aufgelötet
- Abhängig von Einsatzort können unterschiedliche Varianten der Energieversorgung genutzt werden:
  - *Gelb*: Solarzelle
  - *Blau*: Thermogenerator
  - *Orange*: Batterie

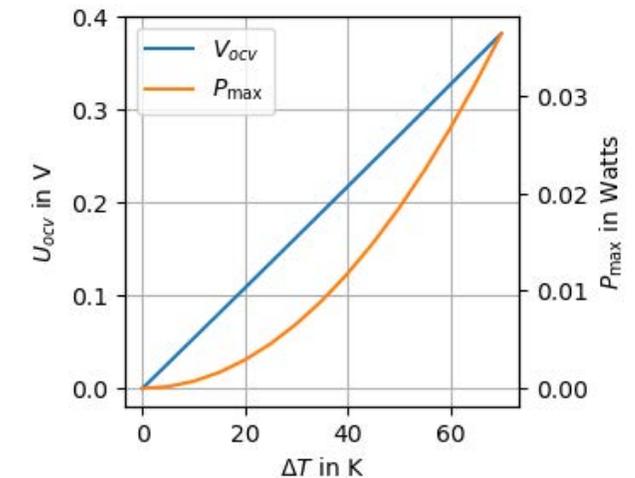
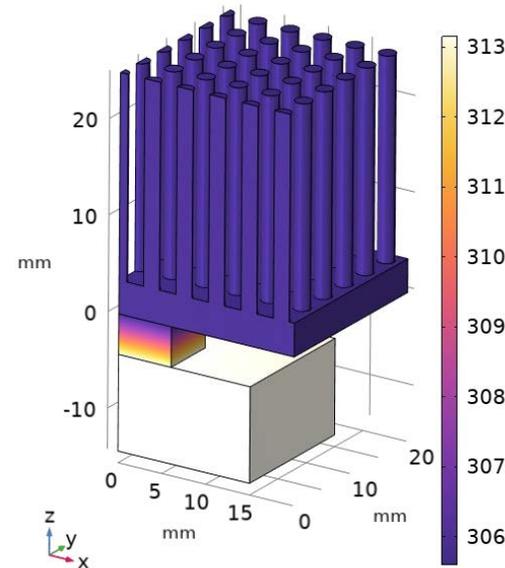


# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Auslegung der Energieversorgungen

- **Batterie:** Um Wartungskosten für Nachladung zu vermeiden, wird diese für eine Laufzeit von 10 Jahren ausgelegt
- **Thermoelektrischer Generator:** An warmen oder kalten Versorgungsleitungen können thermoelektrische Generatoren eingesetzt werden
  - Temperaturdifferenz 10 K (Worst Case)
  - Wirkungsgrad DC-DC 60 %
  - **Leistungsertrag: 440  $\mu$ W (siehe Anwendungsfall 1)**
  - Durch Skalierung können größere Mengen an elektrischer Leistung erzeugt werden

Name	Anwendungs- fall		Einheit
	1	2	
<b>Lebensdauer</b>	10	10	Jahre
<b>Batteriekapazität</b>	34	64	Wh

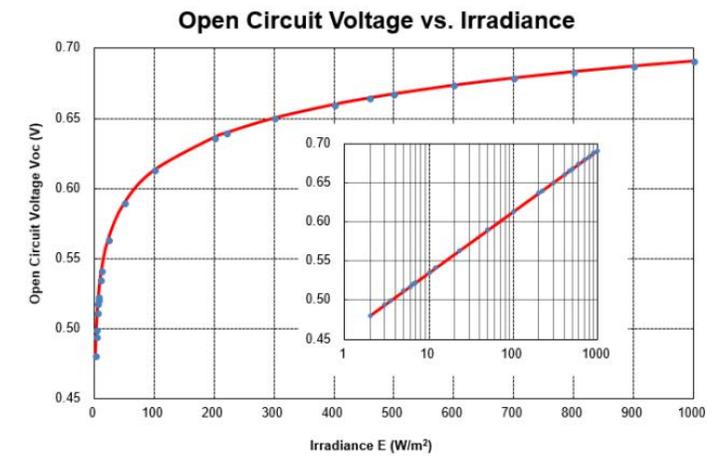


# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Auslegung der Energieversorgungen

### ▪ Solarzelle:

- Bei 500 Lux (Typ. Zimmerbeleuchtung) kann ein Wirkungsgrad der Zelle von 10 % erwartet werden
- Wirkungsgrad DC-DC Wandler: 80 %
- Fläche von 36,5 cm<sup>2</sup> : Leistungsertrag von 1,2 mW
- **Beleuchtungsdauer 8 h: mittlerer Ertrag 0,4 mW (siehe Anwendungsfall 1)**
- Durch Skalierung können größere Mengen an elektrischer Leistung erzeugt werden

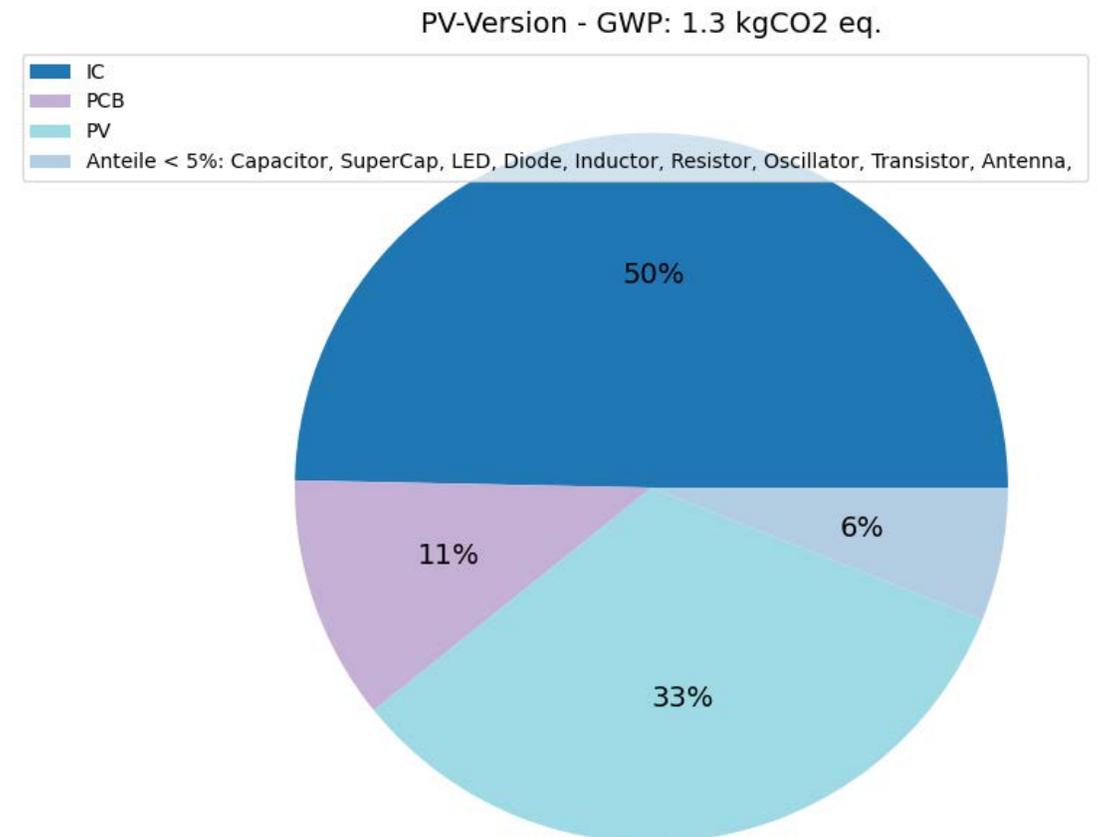


# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks bei Fertigung

Um die verschiedenen Varianten der Energieversorgung bzgl. ihrer Nachhaltigkeit und Umweltbelastung zu bewerten, soll der **CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aller Bauteile abgeschätzt** und verglichen werden

- Werte aus der sphaera Datenbank
- ICs werden auf Basis ihres Gehäuses untersucht
- Alle anderen mechanischen Bauteile werden über ihre Masse untersucht
- Für das Peltierelement (TEG) werden die Einzelkomponenten (BiTe-Pellets, AlO-Substrat, Lötzinn) bewertet und aufsummiert
- Batterie wird als LiMn-CR2/3AA berücksichtigt und der Energieinhalt auf die Anwendungsfälle skaliert
- Der Zusammenbau des Gesamtsystems und Installationsaufwände werden nicht berücksichtigt

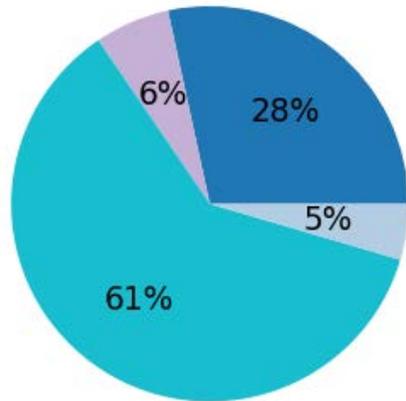


# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks bei Fertigung

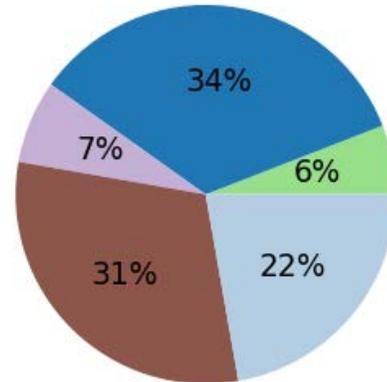
### Anwendungsfall 1 (400 µW)

Batterie - GWP: 2.3 kgCO<sub>2</sub> eq.



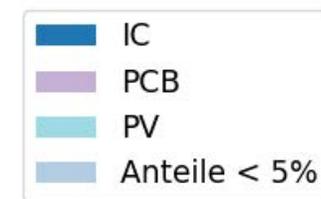
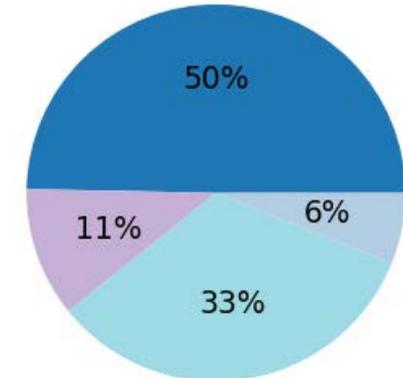
**Batterie:** Die größten CO<sub>2</sub>-Beiträge kommen von den ICs und von der Batterie

Thermoelektrisch - GWP: 2.0 kgCO<sub>2</sub> eq.



**Thermoelektrisch:** Die größten CO<sub>2</sub>-Beiträge kommen von den ICs und dem Aluminium des Kühlkörpers

Solar - GWP: 1.3 kgCO<sub>2</sub> eq.



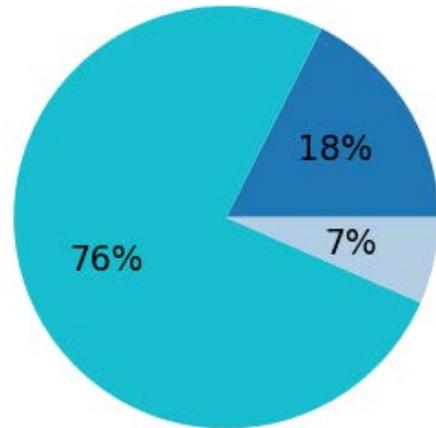
**Solar:** Die größten CO<sub>2</sub>-Beiträge kommen von den ICs und der Solarzelle

# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

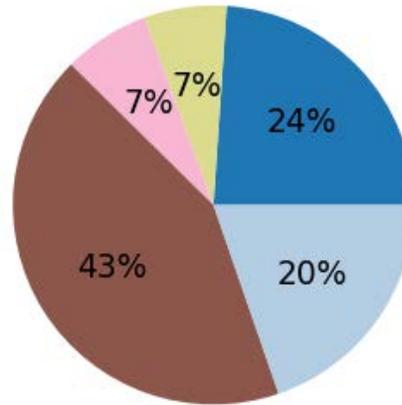
## Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks bei Fertigung

### ▪ Anwendungsfall 2 (790 μW)

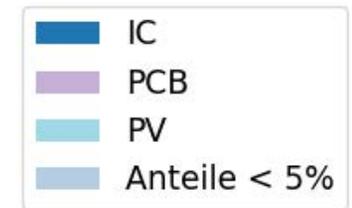
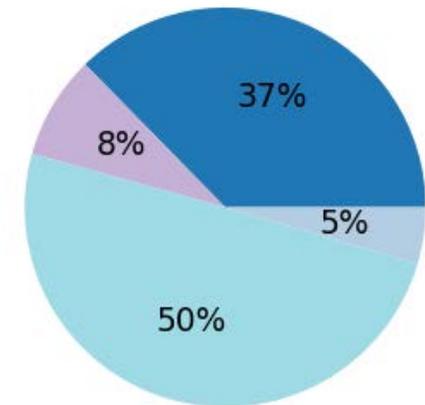
Batterie - GWP: 3.7 kgCO<sub>2</sub> eq.



Thermoelektrisch - GWP: 2.8 kgCO<sub>2</sub> eq.



Solar - GWP: 1.7 kgCO<sub>2</sub> eq.



Die CO<sub>2</sub>-Anteile der Energieversorgungen (Solarzelle, Kühlkörper (Alu), TEG, Batterie) sind bei allen drei Varianten gestiegen

# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Vergleich des CO<sub>2</sub>-Footprints

- Niedrigster CO<sub>2</sub>-Footprint bei der Solar-Variante
- Höchster CO<sub>2</sub>-Footprint bei der Batterieversorgung
- Mit steigendem Leistungsbedarf wird der Unterschied grösser: Anteil der Batterieversorgung am CO<sub>2</sub>-Footprint am größten
- Berücksichtigt wurde hier nur die CO<sub>2</sub>-Footprint der Produktion

### CO<sub>2</sub>-Footprint Sensorknoten

	Anwendungsfall 1 [kgCO <sub>2</sub> eq]	Anwendungsfall 2 [kgCO <sub>2</sub> eq]	Anstieg von Anwendungsfall 1 zu 2
<b>Batterie</b>	2,3 (100%)	3,7 (100%)	1,61
<b>Thermoelektrisch</b>	2,0 (87%)	2,8 (76%)	1,40
<b>Solar</b>	1,3 (57%)	1,7 (46%)	1,31

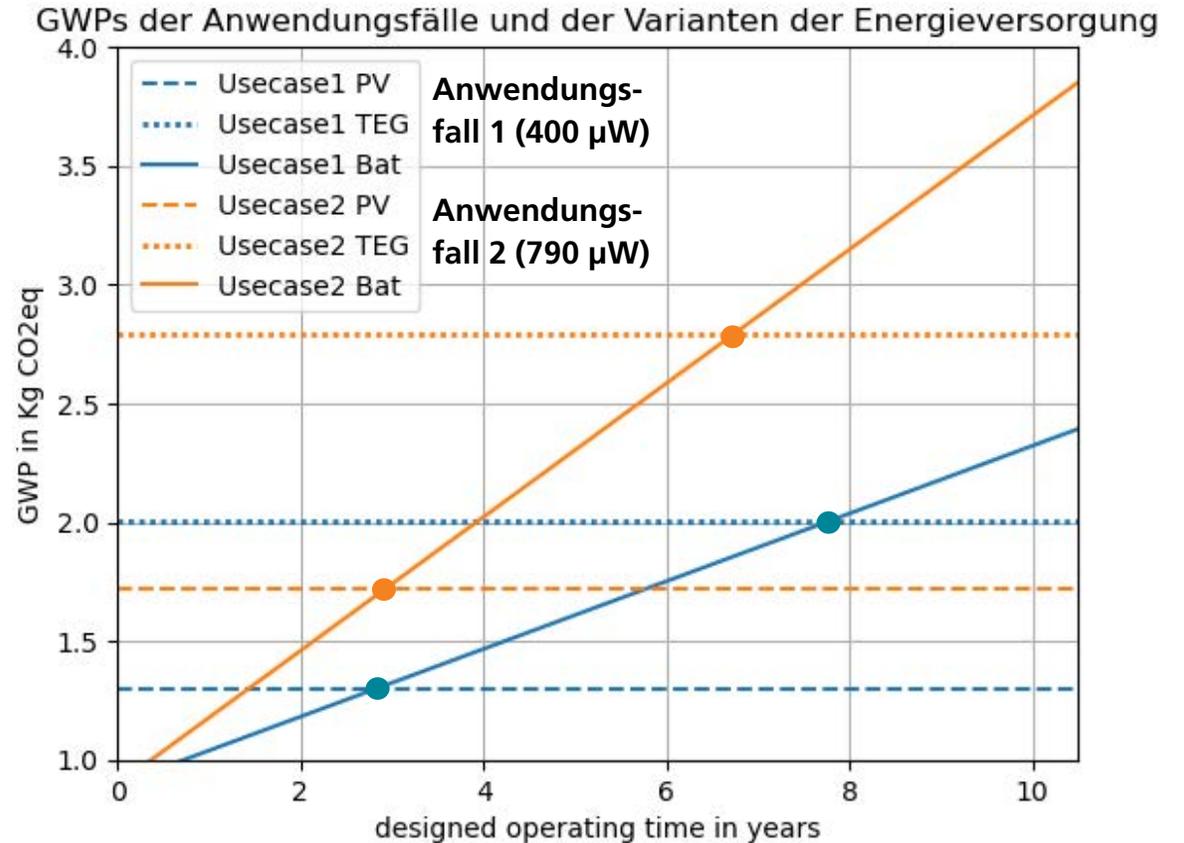
### Leistungsverbrauch Sensorknoten

Name	Anwendungsfall 1	Anwendungsfall 2	Einheit
<b>Intervall Funkübertragung</b>	15	5	min
<b>Leistungsbedarf</b>	400	790	µW

# Energieautarke IoT-Sensoren: GreenICT?

## Zusammenfassung

- Je länger die Einsatzdauer und je höher der Leitungsverbrauch, desto grösser wird die Batterie und deren CO<sub>2</sub>-Footprint
- Der CO<sub>2</sub>-Footprint der Energy Harvesting Komponenten ist unabhängig von der Einsatzdauer
- Einsatzdauer, Leistungsverbrauch und Umgebungsbedingungen (Licht, Temperatur) sind ausschlaggebend für den Unterschied des CO<sub>2</sub>-Footprints
- Der CO<sub>2</sub>-Vorteil von Energy Harvesting ist stark von den Umgebungsbedingungen abhängig, welche die Größe (Material) des Harvesters bestimmen
- Je grösser die Einsatzdauer und der Energieverbrauch, desto höher der Gewinn durch Energy Harvesting, wenn (!) ausreichend Umweltenergie verfügbar





Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



greenict.connect24

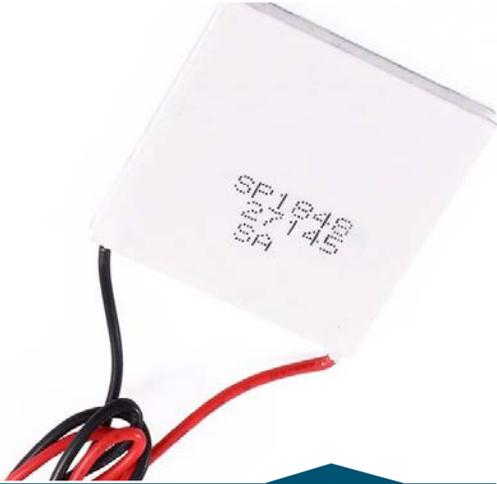


greenict.connect24



# Energy Harvesting

A road to battery-free IoT devices



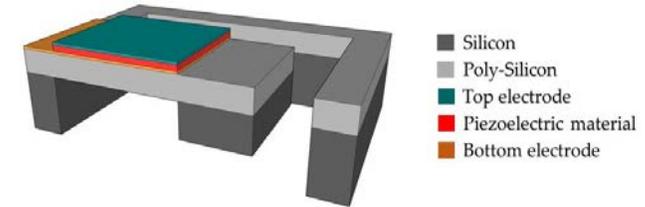
## Thermogenerator

- Energy harvesting from thermal gradients.



## Solar cells

- Energy harvesting light



## Piezoelectric energy harvesting

- Harvests energy from vibration/shocks

### Sweet spot:

- Non of the other sources available
- Hard to reach / costly to replace battery
- Size / costs matters

# Energy Harvesting

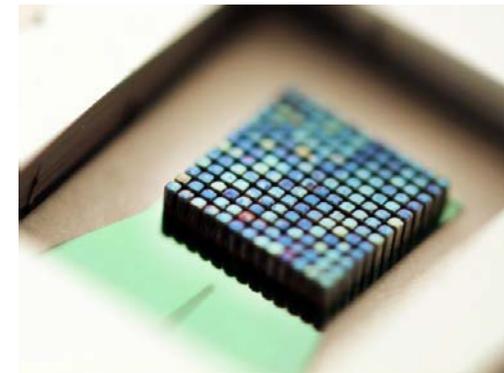
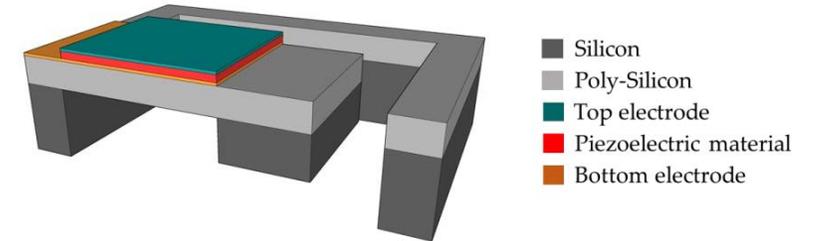
## What differentiates us?

### General Challenges for vibrational MEMS Energy Harvester

- „High“ resonant frequency
- Narrow excitation frequency range
- Low power output outside resonance

### Fraunhofer ISIT magneto-mechanical MEMS Energy Harvester

- Wafer-level integration of NdFeB magnets
  - High magnetic excitation forces at low frequencies
  - Contactless force coupling
- Integration of high density materials (e.g. NdFeB, W)
  - Increased Tipp mass, lower resonance frequency
- Integration of AlScN to increase power output



	AlN	AlScN
$d_{31}$ (pm/V)	1,97	5,45
$\epsilon$	10,5	16,9
FOM ( $10^{-12}$ m <sup>3</sup> /J)	0,042	0,2

# How to extract a CO<sub>2</sub> footprint?

## Overview about the processing

Process steps	Amount
Sputter deposition	5
(PE)CVD/ALD	6
Furnace	1
Epitaxy	1
Lithography	9
Cleaning	21
Resist and developmet	9
Dry etch	12
Deep reactive ion etching	4
Metrology	30
CMP	1
Grinding/polishing	2
Dicing	1
Wet etch	4
Bonding	2
TOTAL	>108



### Chemicals

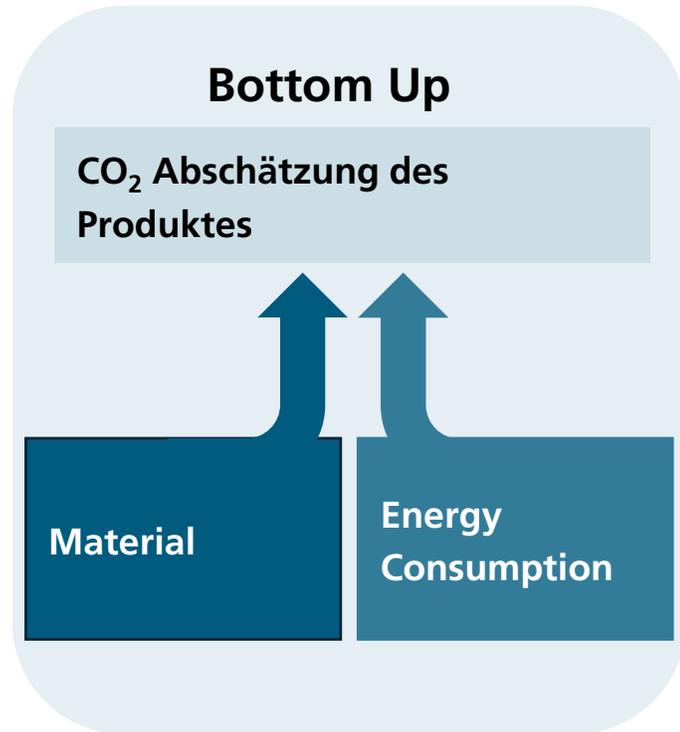
- Dichlorsilane
- N<sub>2</sub>O
- Nitrogen
- Ammonia
- Water
- Helium
- Oxygen
- Argon
- Hydrogen
- NF<sub>3</sub>
- Silan
- TEOS
- HCL
- PH<sub>3</sub>
- Cl<sub>2</sub>
- BCL<sub>3</sub>
- SF<sub>6</sub>
- CF<sub>4</sub>
- C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>
- Trimethylaluminium
- .....

And more...

e.g. wet chemical consumption not considered

# Bottom Up Approach

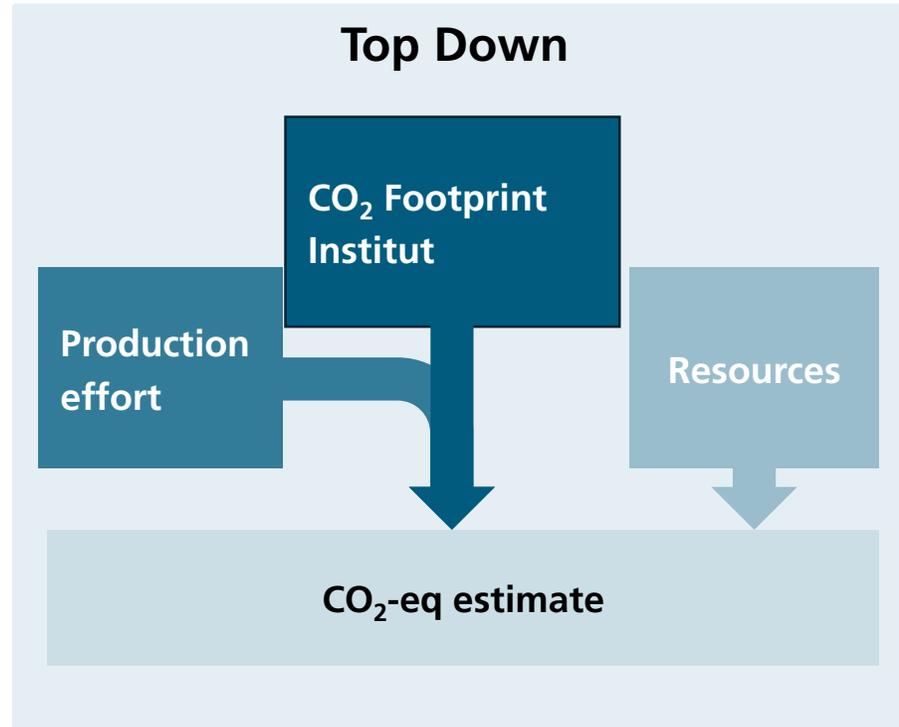
## Overview about the Process Flow



- >100 individual process steps.
- Cannot be covered 1:1 by literature values.
- Measurement results from GreenICT AP 4.4 available

# Top Down Approach

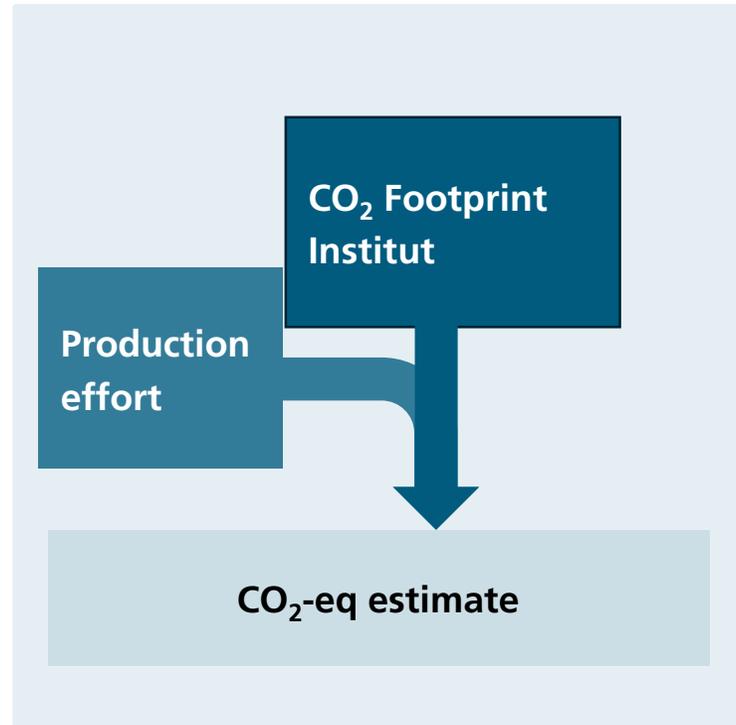
## Overview about the Process Flow



- The institute is considered as a whole, including Lab/Fab/Offices: Energy consumption, heating, car fleet, gas abatement
- Efficient assessment possible.
- Scope 3 considering CO<sub>2</sub>-eq for production of resource materials

# CO<sub>2</sub> Footprint from production

Electrical energy consumption, heating, gas abatement



## Worst Case - Research facility:

7.70 kgCO<sub>2</sub>-eq/die = 0.11 kgCO<sub>2</sub>-eq/mm<sup>2</sup>

## Best-Case - Industry:

1.75 kgCO<sub>2</sub>-eq/die = 0.025 kgCO<sub>2</sub>-eq/mm<sup>2</sup>

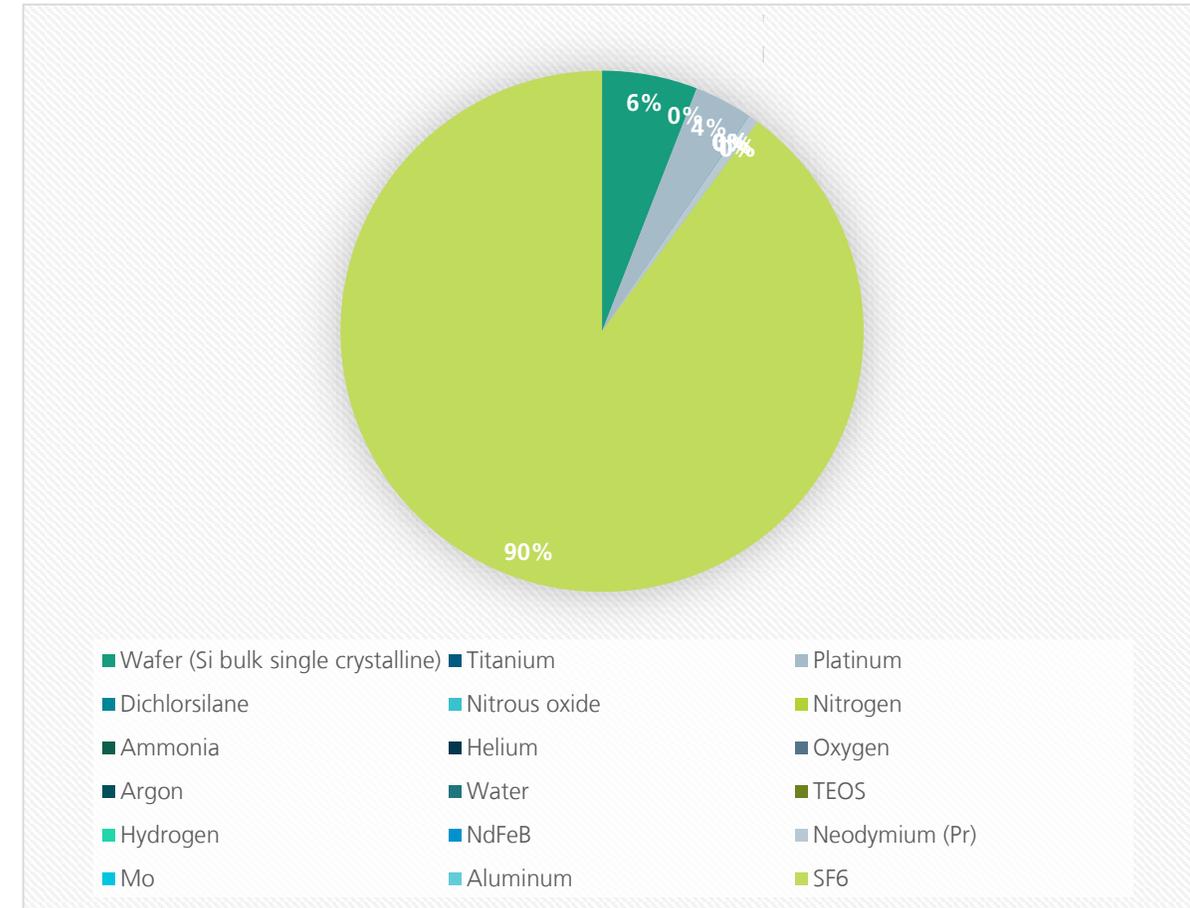
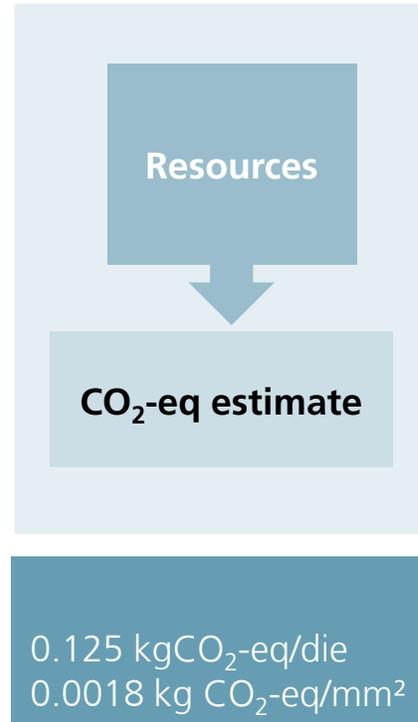
- The research facility character of FAB leads to an overestimation of the CO<sub>2</sub> estimation e.g. no 24/7 production.
- Correction by considering additional estimated capacity and higher machine utilization

## Improvements:

- Subdivision into different machine parks
- CO<sub>2</sub> footprint separation between different partners

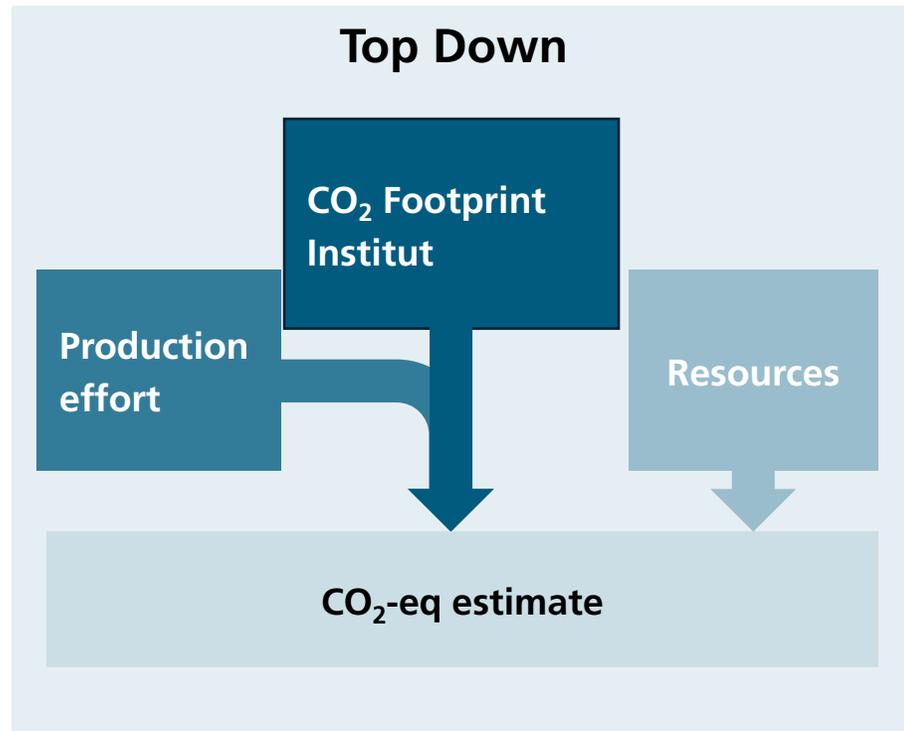
# Scope 3: Chemicals and Raw Materials

- Results based on process recipes for all major processes
- Large part of CO<sub>2</sub> footprint from deep reactive ion etching (SF<sub>6</sub> consumption)
- Footprint data availability in parts limited
- Improvement: Replacing Ti/Pt bottom electrode with Mo yields to 2.7% kgCO<sub>2</sub> reduction per chip



# Combining knowlege

Hybrid analysis and integration in COMSOL



## Design dependent CO<sub>2</sub>

- Baseline CO<sub>2</sub> per wafer from top down
- Energy consumption during process like epitaxy was tracked. This allows to determine CO<sub>2</sub> footprint for single processes and their influence varying chip designs, e.g. thickness of the cantilever
- Other minor factor which can be considered is type of material used in the tip and tip size in general

### Worst Case - Research facility:

7.82 kgCO<sub>2</sub>-eq/die = 0.112 kgCO<sub>2</sub>-eq/mm<sup>2</sup>

### Best-Case - Industry:

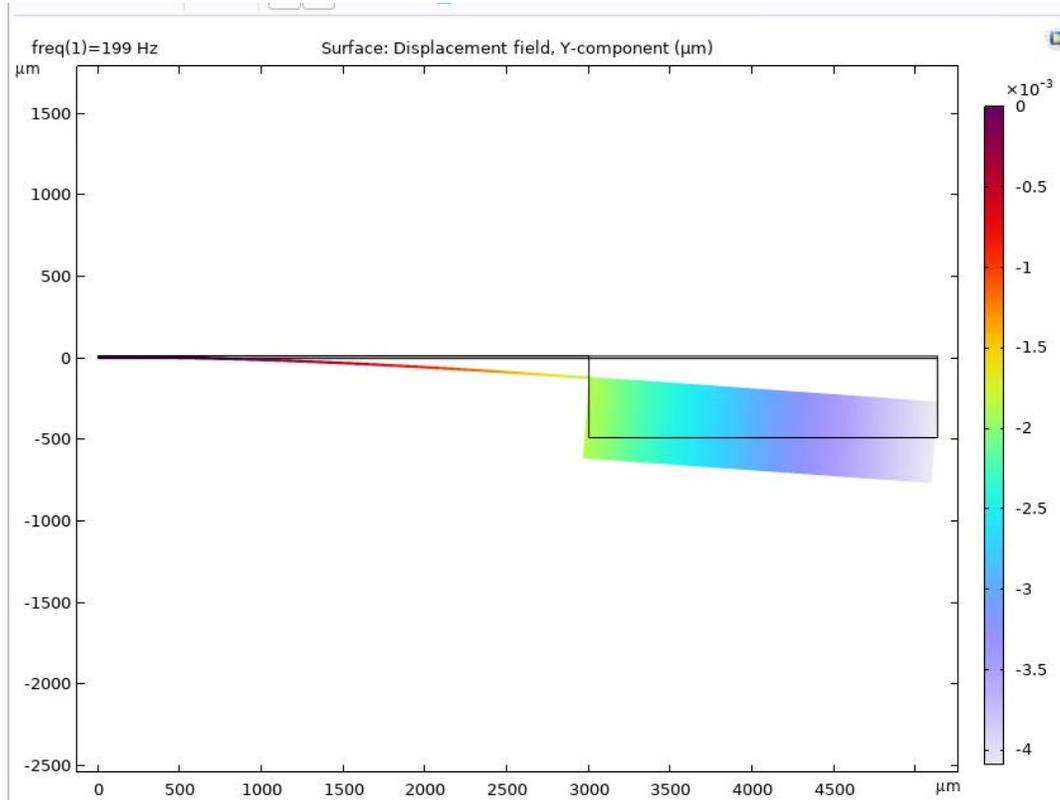
1.87 kgCO<sub>2</sub>-eq/die = 0.027 kgCO<sub>2</sub>-eq/mm<sup>2</sup>

### For Reference:

0.01-0.025 kgCO<sub>2</sub>-eq/mm<sup>2</sup> for bare IC dies of different node generations (250 nm – 45 nm)

# COMSOL Model to find design specific emissions

An example for evaluation of CO<sub>2</sub> footprint in design phase



## Example

### Design constraints:

Die Area: 5 mm<sup>2</sup>  
Resonance Frequency: 200 Hz  
Piezoelectric material: AlN  
Mass: Si

### Adjustable Parameters:

Membrane thickness  
Membrane length

### Resulting Parameters:

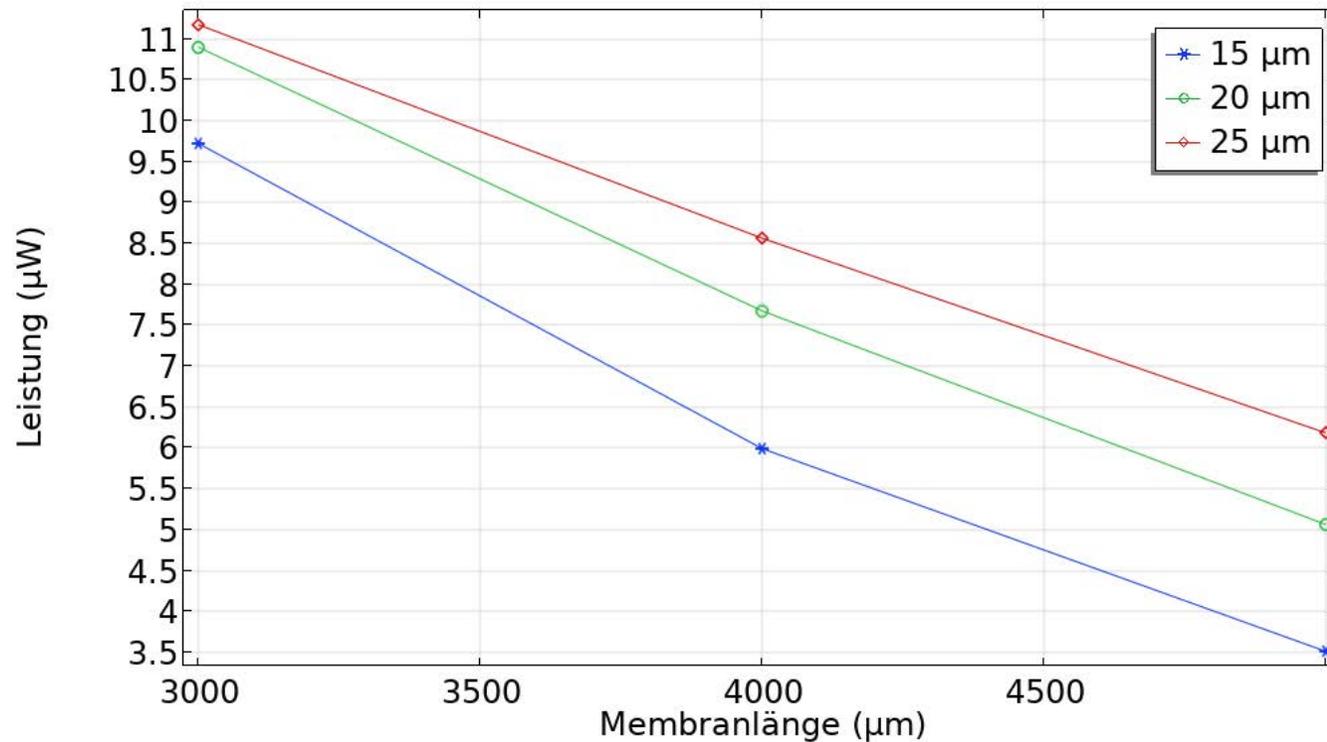
Length of mass  
Width of harvester

### Excitation:

200 Hz, acceleration 1 m/s<sup>2</sup>

# KPI - Dependence on the membrane length

First result with constant epi-poly thickness: Shorter harvester delivers more power

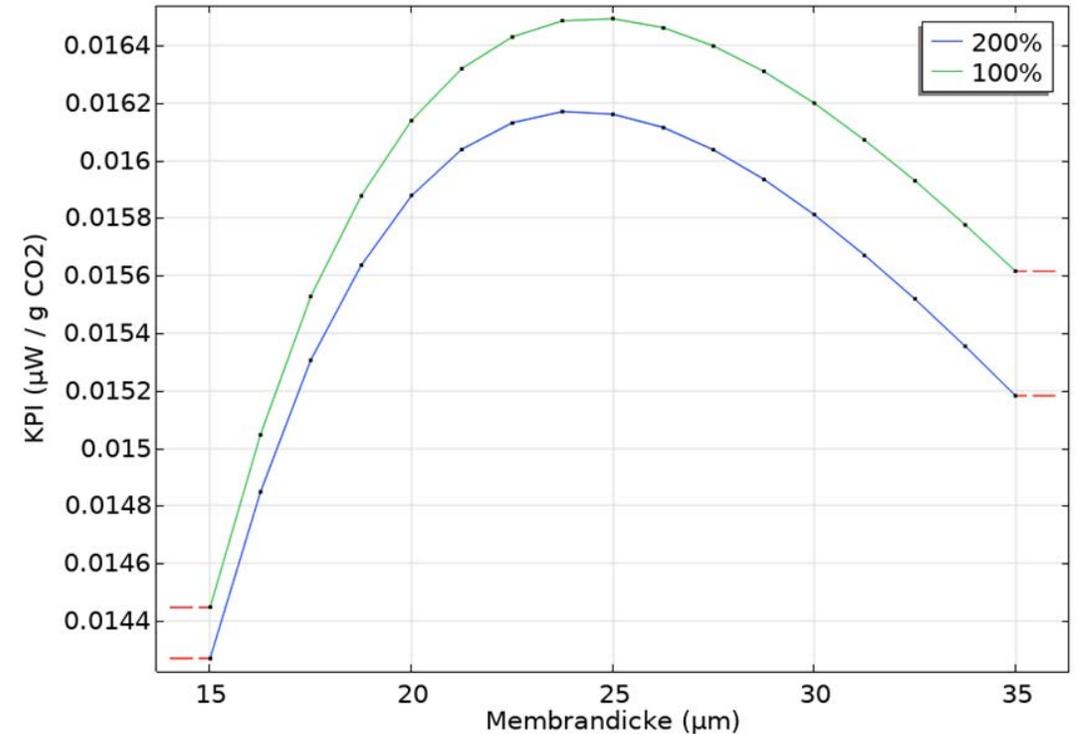
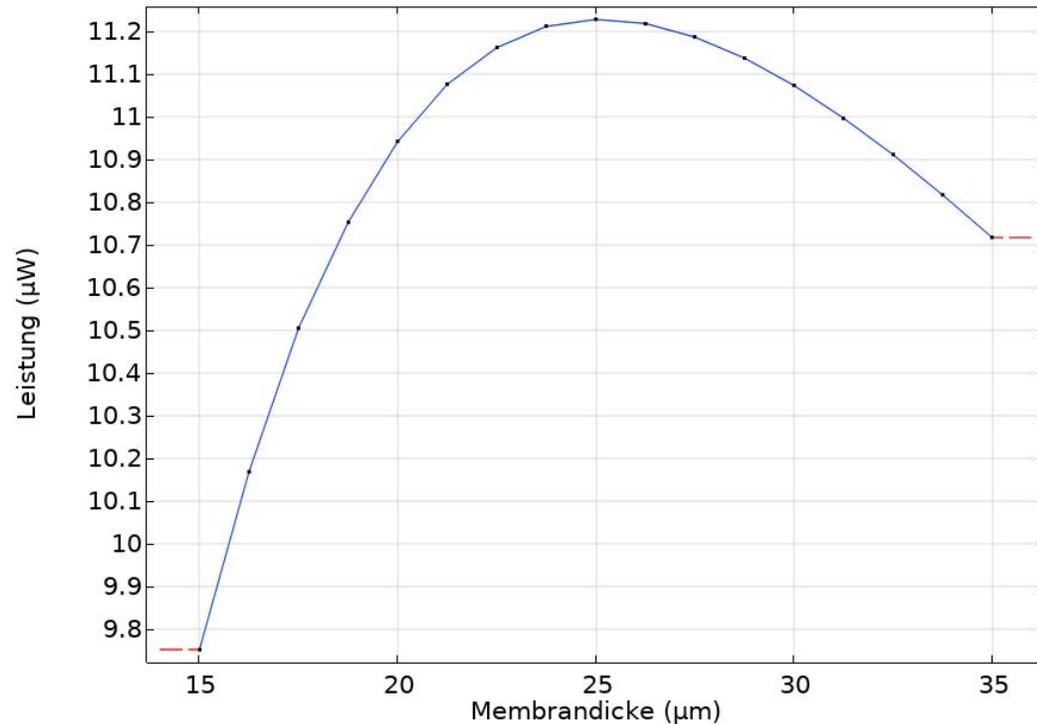


- The geometry parameters can be used to determine the CO<sub>2</sub> footprint of the respective harvester design
- An important criterion is the window area of the harvester, but epi-poly thickness, for example, also matters
- So, what is the ideal epi-poly thickness?

Performance depending on the membrane length, with constant epi-poly thickness,

# KPI – Dependence on epi-poly thickness

Optimal thickness determined



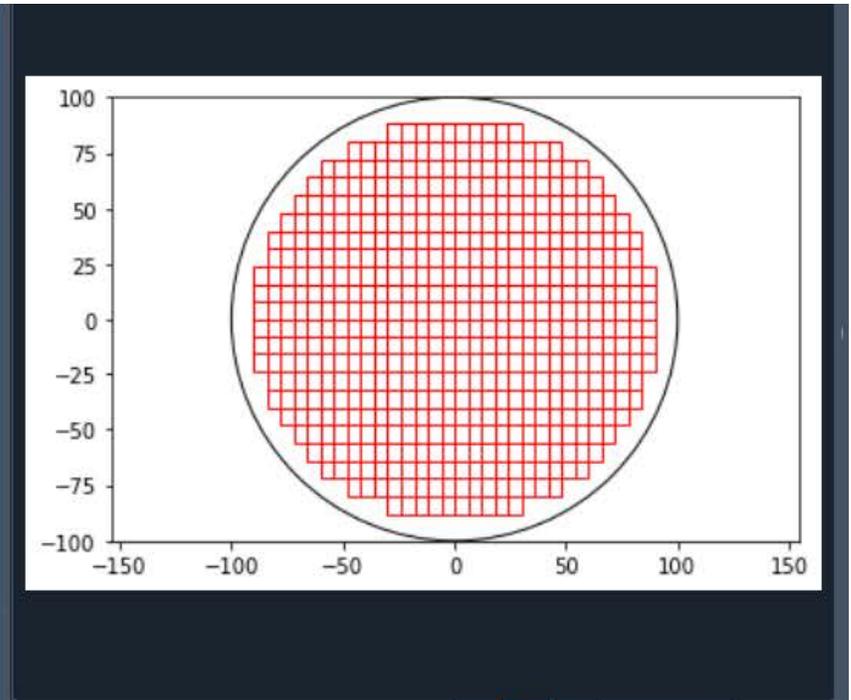
Membrane length: 3 mm, CO<sub>2</sub> footprint depends on epi-poly thickness (considered for epitaxy and DRIE), the electrical consumption of the facility equipment is assumed to contribute to 50% of the total energy (*ITRS - International technology roadmap for semiconductors 2.0, 2015: Environment, Safety, and Health.*)

# Final CO<sub>2</sub> footprint per die

## Calculating number of chips and CO<sub>2</sub> footprint per die

Python script written allowing to calculate the number of dies on a wafer and corresponding CO<sub>2</sub> footprint per die for a design

```
12 self.radius = radius
13 self.rectangles = []
14
15 def pack_rectangles(self, rectangle_width, rectangle_height):
16     for quad in [(1, 1), (1, -1), (-1, -1), (-1, 1)]: # for each quadrant
17         x = quad[0] * rectangle_width / 2
18         y = quad[1] * rectangle_height / 2
19         while True:
20             if self.check_collision(x, y, rectangle_width, rectangle_height):
21                 # place the rectangle
22                 rectangle = Rectangle(rectangle_width, rectangle_height)
23                 rectangle.position = (x, y)
24                 self.rectangles.append(rectangle)
25                 # move right
26                 x += quad[0] * rectangle_width
27             else:
28                 # move down and start a new row
29                 x = quad[0] * rectangle_width / 2
30                 y += quad[1] * rectangle_height
31                 # if the rectangle doesn't fit in the new row, break
32                 if not self.check_collision(x, y, rectangle_width, rectangle_height):
33                     break
34
35 def check_collision(self, x, y, rectangle_width, rectangle_height):
36     corners = [(x - rectangle_width / 2, y - rectangle_height / 2), # lower left corner
37               (x - rectangle_width / 2, y + rectangle_height / 2), # upper left corner
38               (x + rectangle_width / 2, y - rectangle_height / 2), # lower right corner
39               (x + rectangle_width / 2, y + rectangle_height / 2)] # upper right corner
40     return all(corner_x**2 + corner_y**2 <= self.radius**2 for corner_x, corner_y in corners)
41
42 # Create a circle and pack rectangles in it
43 circle = Circle(95)
44 circle2 = Circle(100)
45 rectangle_width = 6
46 rectangle_height = 8
```

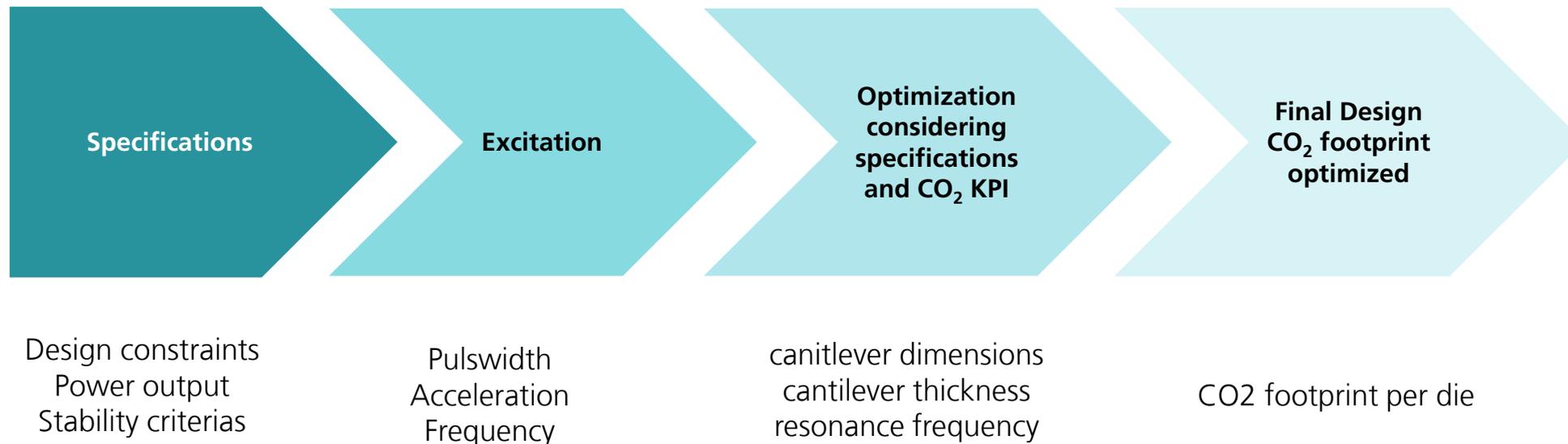


# Design Pipeline

With COMSOL and Python supported optimization

With the COMSOL and Python scripts established an evaluation of CO<sub>2</sub> footprint in the design phase can be performed

In an evaluation project with an industry partner a first design outline for a chip will be created to power an accelerometer and track vibration data in a pumping system



# Footprint due to Integration

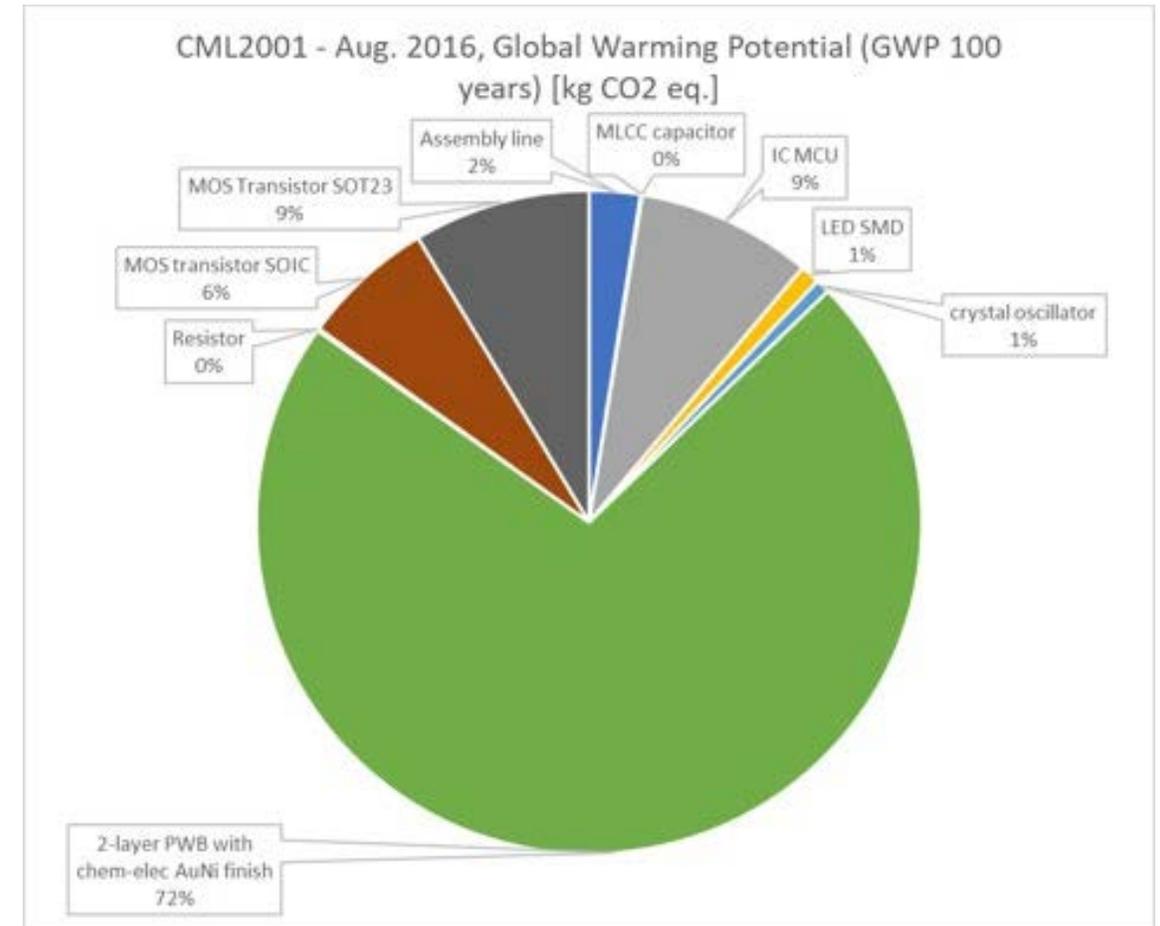
## Example: Zero-Power Wake-Up

### Application:

- Event Triggered Zero-Power Wake-Up: sufficient Voltage is generated to Wake-Up MCU using a footer switch
- Devices turned-off for most part of their life-time -> significant life-time increase -> Reducing CO2 footprint
- Application in Asset Tracking, Automotive, Freak Wave detection

### Carbon Footprint Analysis of the Production Phase of the Wake-Up PCB:

- Biggest impact from PCB
- Reduction of Footprint by redesign easily possible
- Total GWP = 0.43 kg CO2-eq.



Modeling with GaBi software by Fraunhofer IZM

# Thanks to the support:

---

## **Fraunhofer IZM:**

Lutz Stobbe

David Sánchez

Alexandra Morozov

Mathilde Billaud (former member)

## **Fraunhofer ISIT:**

Mohamad Hejjo Al Rifai

Oliver Schwarzelbach

Finn Klingbeil

Minhaz Ahmed

Torben Dankwort

Björn Gojdka

The process engineering team and the service team @Fraunhofer ISIT

## **Fraunhofer IIS:**

Josef Bernhard

Peter Spies

## **The team from FMD**

## **The team from VDI/VDE**

## **The BMBF for financial support**



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



greenict.connect24



greenict.connect24

# Energieeffiziente, drahtlose Sensor-Aktor-Plattform

---

Berlin, 16.10.2024

Green ICT Connect 2024

# Internet der Dinge

## Skalierbare drahtlose Sensorknoten

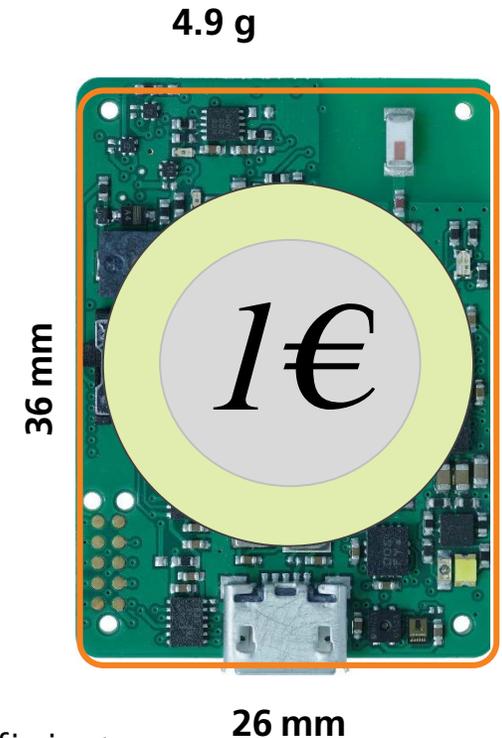
Vernetzte Sensoren bilden mitunter das Fundament der Digitalisierung

Sensorknoten (IoT-Knoten) können **dezentral**:

- statisch oder mobil
- fein granular Daten erfassen und
- drahtlos kommunizieren.

Ihre Lebensdauer und ihr Umweltrucksack wird maßgeblich durch Ihren Energieverbrauch definiert.

Am Applikationsbeispiel „Smart City“ soll das Potential von energieeffizienter Sensorik gezeigt werden.

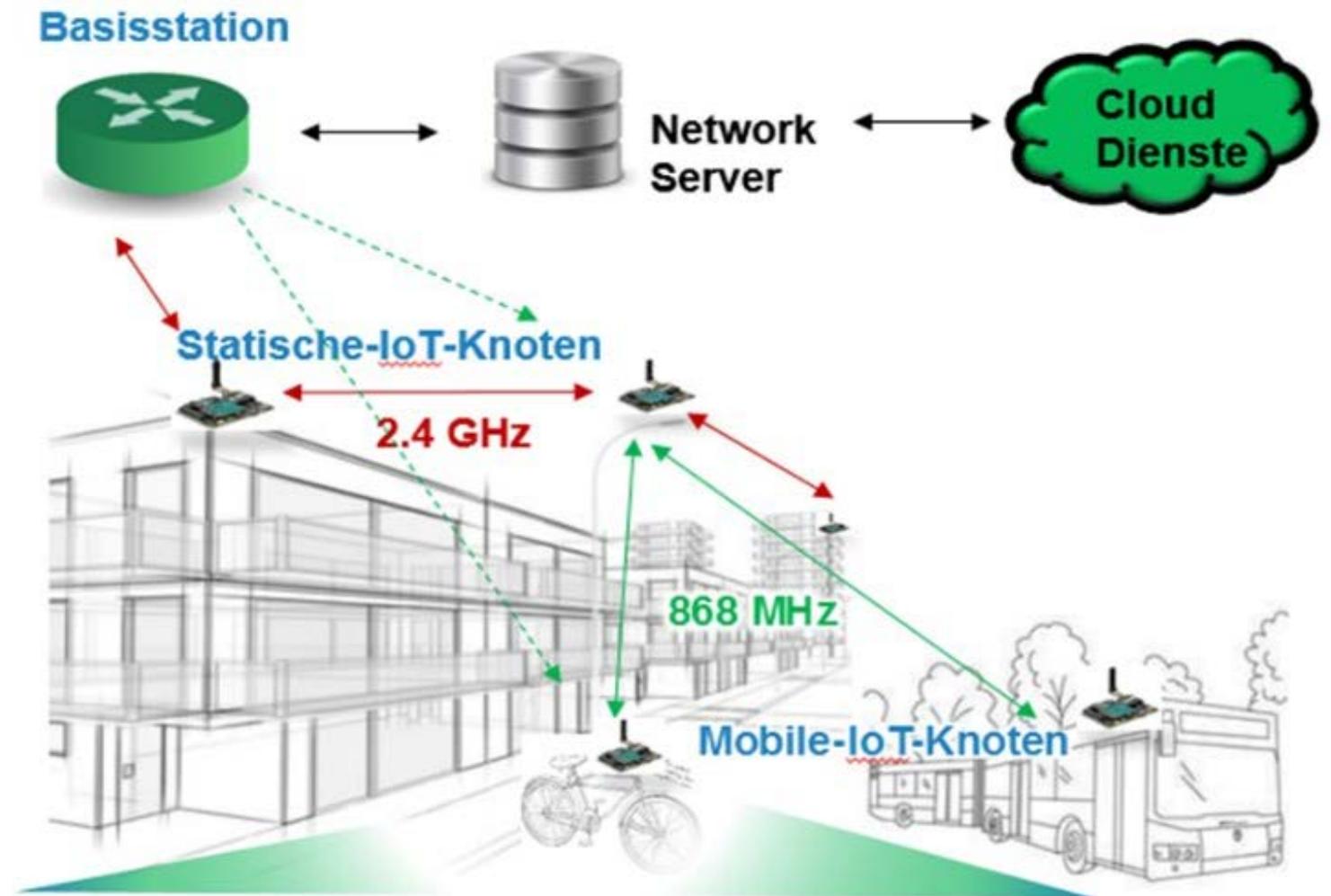


# Applikationsbeispiel – Smart City

Sensoren können u.a. bei der Digitalisierung von:

- Infrastruktur
- Mobilität und Verkehr
- Gebäudeautomatisierung

eingesetzt werden und für Effizienzgewinn in den beteiligten Prozessen oder Anlagen sorgen.



# Von der Idee zum Konzept

## Welche Komponenten gehören zum System?

### Ansteuerung und Signalverarbeitung:

Mikrocontroller, FPGA, DSP

### Energie:

Spannungsregulatoren, Energiemanagement

### Konnektivität

Kabel (seriell, parallel), Funk

### Sensorik:

Beschleunigung, Temperatur, Druck, Licht, Strom

### Aktorik:

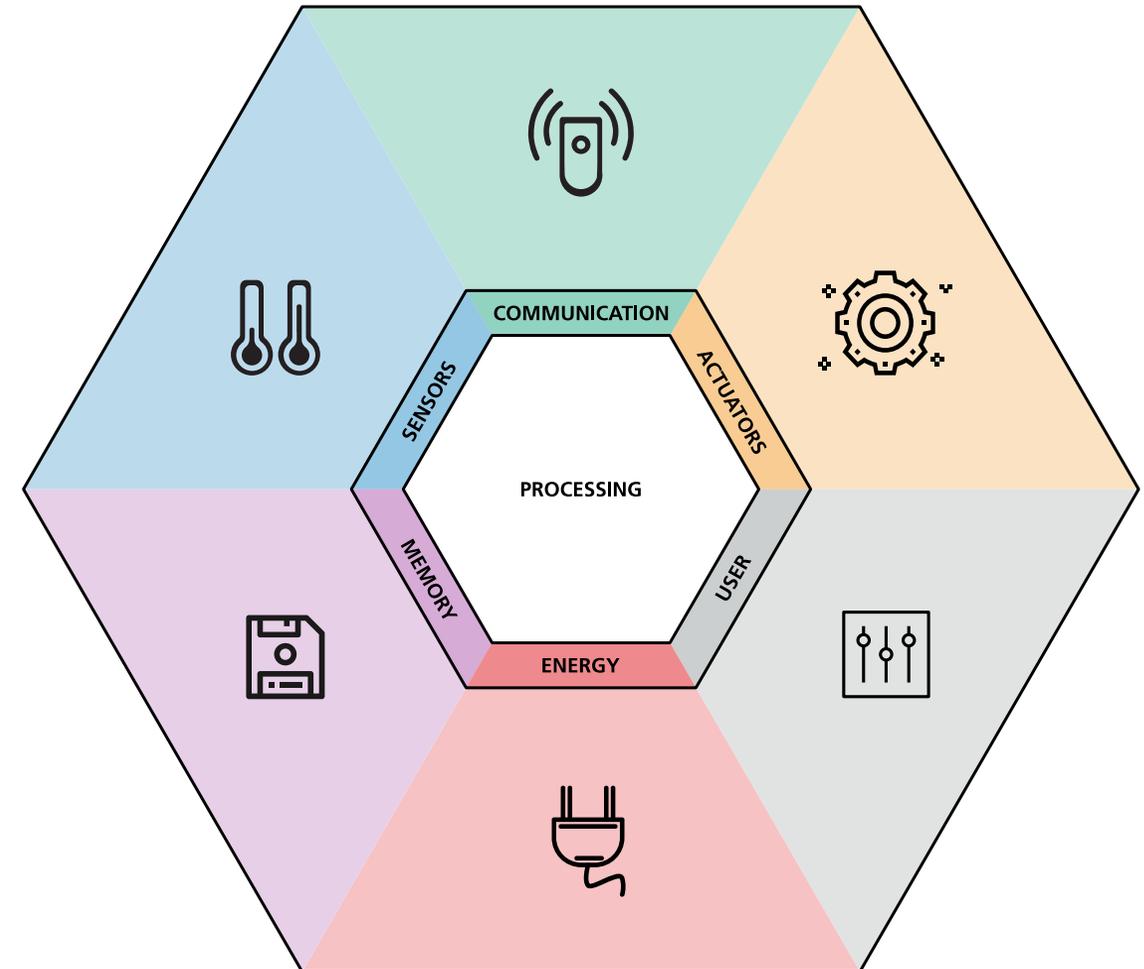
Motoren, Piezoaktoren

### Speicher:

Flash, DRAM, EEPROM, SD-Card

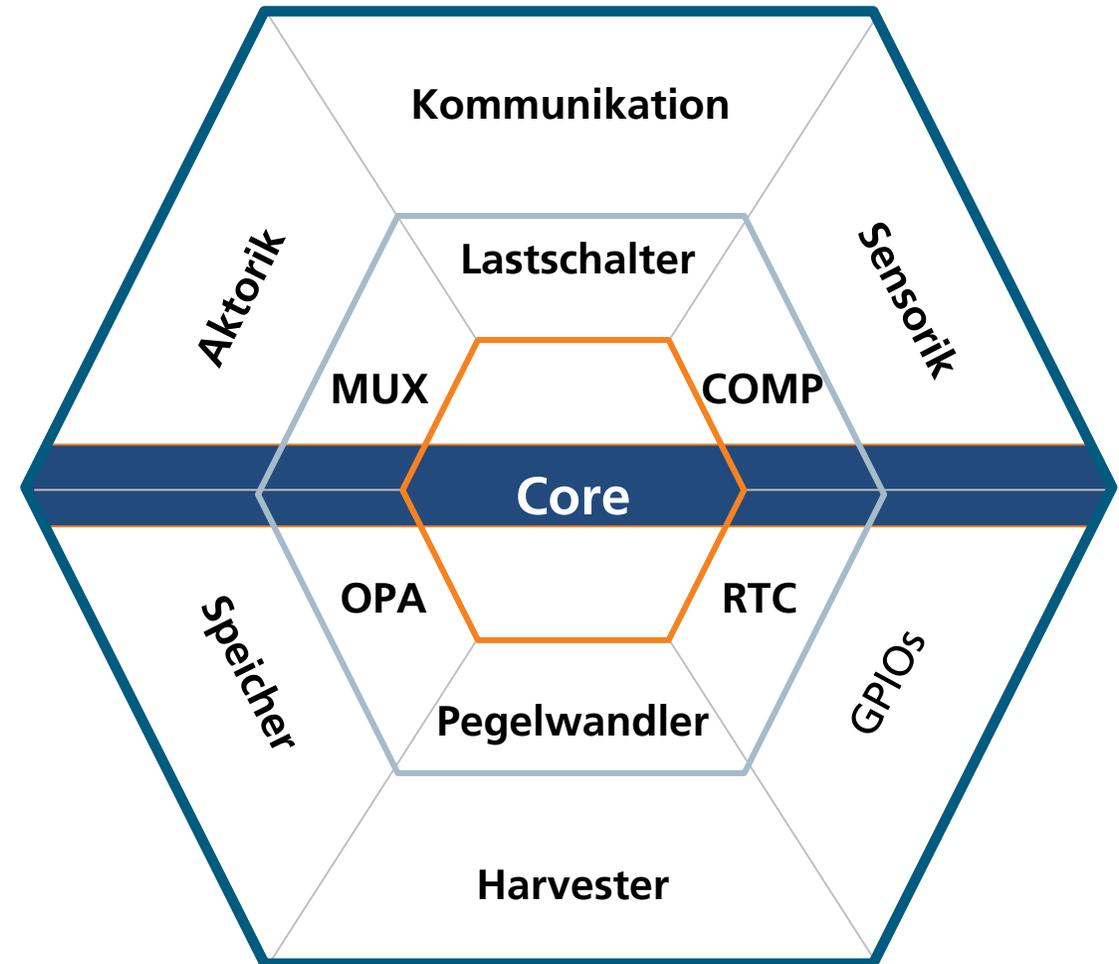
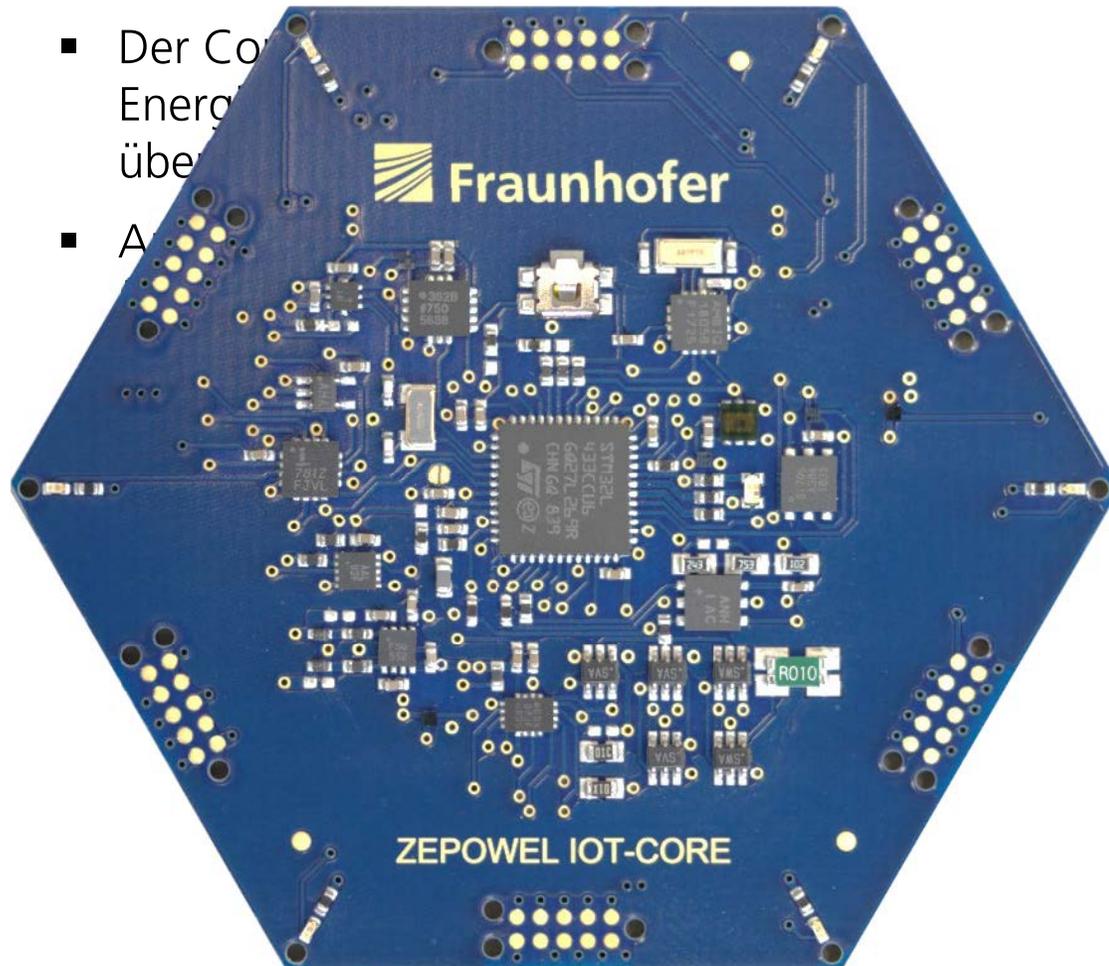
### Ein- und Ausgabe:

Taster, Schalter, Touch, LED, Display, Lautsprecher



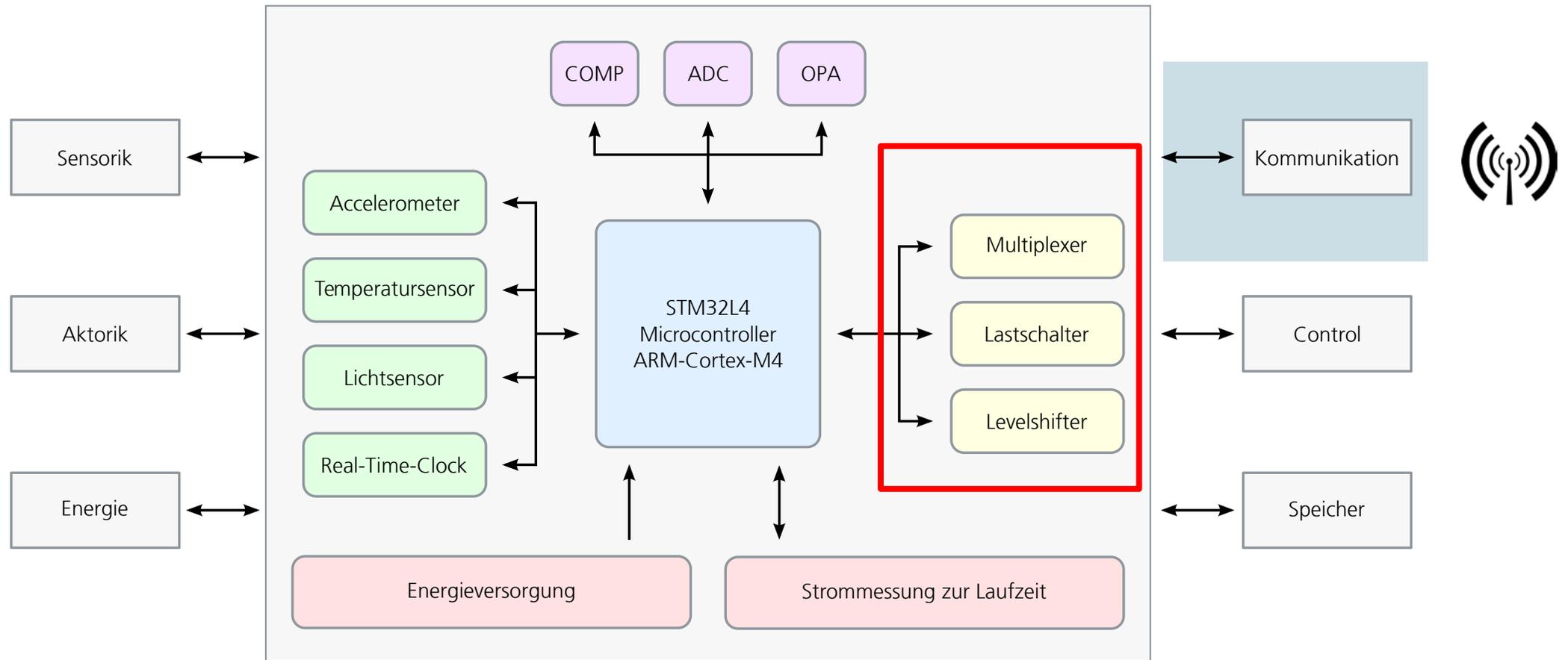
# Konzept zur Schnittstellenanbindung und Plattformgestaltung Hardwareplattform

- Der Core
- Energy
- über
- A

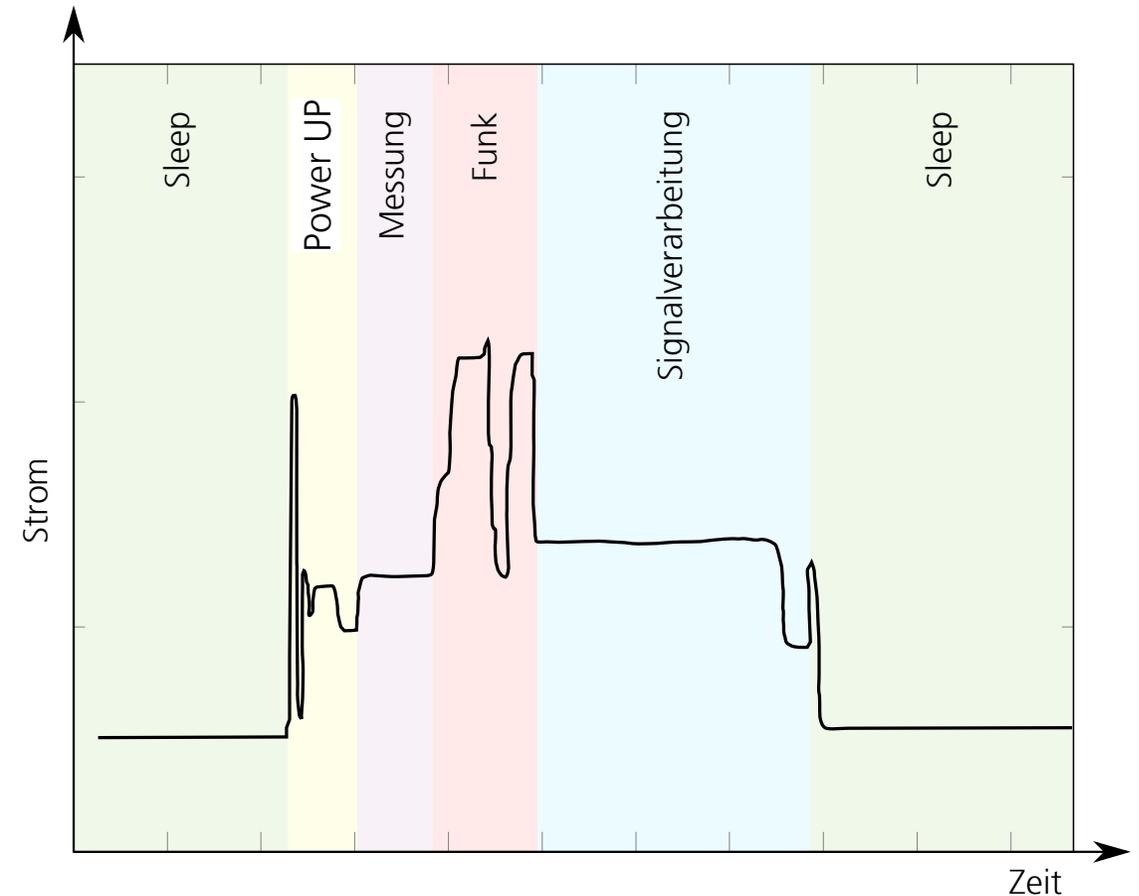


# Realisierung

## Aus welchen Komponenten besteht die Hardware?



- Abschätzung der Energiebilanz und der voraussichtlichen Laufzeit aus einem Energiespeicher
- Konfiguration der Zustandsmaschine in Abhängigkeit des Lastprofils und der Anforderungen
- Konfiguration der hardwareseitigen Schnittstellen
- Einbettung der Algorithmen in Softwarebibliotheken zur Sicherstellung der Nutzbarkeit innerhalb von Toolchains und Neuerstellung von Anwendungen



# Herausforderung

## Wie kann der Energieverbrauch optimiert werden?

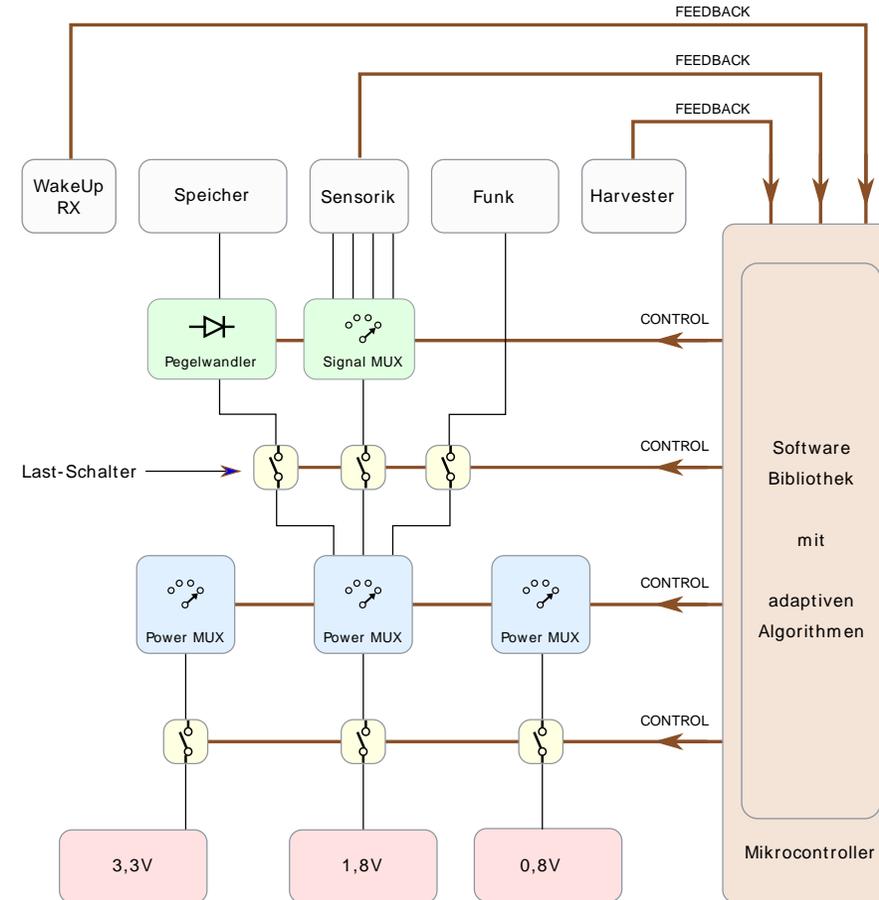
Optimierung des Energieverbrauchs durch eine ganzheitliche Betrachtung komplexer Systeme

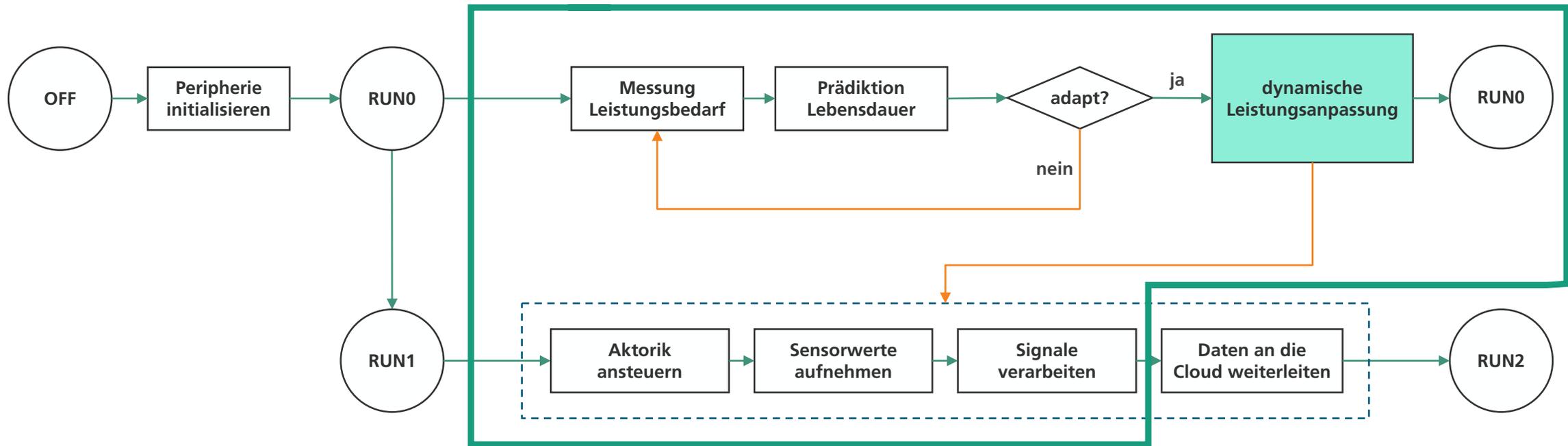
**Hardware**  
Ultra-Low-Power  
Rekonfigurierbar  
Modular

- Module
- Lastschalter
- Multiplexer
- Pegelwandler

**Software**  
Adaptiv  
Flexibel  
Skalierbar

- Software Bibliothek
- optimale Ressourcennutzung





- Akkumulation von Datenpaketen → Verringerung der Aktivität

# ULP-Teststand

## Analyse der aufgenommenen Daten

```

Spyder (Python 3.6)
File Edit Search Source Run Debug Consoles Projects Tools View Help
Editor - C:\Users\magazach\House\Garage\Python\DMW7510.py
C:\Users\magazach\House\Garage\Python
DMW7510.py
11 import matplotlib.pyplot as plt
12
13 filePath = "C:/Users/magazach/Desktop/dataBuffer.csv"
14 filePath2 = "C:/Users/magazach/Desktop/dataBuffer3.csv"
15 with open(filePath, "r") as myfile:
16     data = myfile.readlines()
17
18 with open(filePath2, "r") as myfile:
19     data2 = myfile.readlines()
20
21 # new List where all amplituded can be stored
22 amplitude = []
23 time = []
24 amplitude2 = []
25 time2 = []
26
27 data = data[9:]
28 data2 = data2[9:]
29
30 for record in data:
31     amplitude.append(1000*float(record.split(',')[0])) # read current value in mA
32     time.append(float(record.split(',')[13]))
33
34 for record in data2:
35     amplitude2.append(1000*float(record.split(',')[0])) # read current value in mA
36     time2.append(float(record.split(',')[13]))
37
38
39 # EFFEKTIVWERT
40 # Bei konstanten Abständen vereinfacht sich die Berechnung zu: sqrt(1/n * (u1^2 +
41 amplitude_sq = [i**2 for i in amplitude]
42 amplitude_rms = np.sqrt(np.mean(amplitude_sq))
43 amplitude_min = np.min(amplitude)
44 amplitude_max = np.max(amplitude)
45
46 print(amplitude_rms)
47 print(amplitude_min)
    
```

Name	Type	Size	Value
amplitude	list	100000	[0.007537694440675, -0.006119896585595, 0.002955311440604, 0.022822214 ...
amplitude2	list	100000	[5.7123749142369995, 5.760810549323, 5.74570519872, 5.727748937084, 5. ...
amplitude_max	float64	1	11.550279471329999
amplitude_min	float64	1	-0.03401720546876
amplitude_rms	float64	1	0.41347941614192363
amplitude_sq	list	100000	[5.68168374809828e-05, 3.745313421837734e-05, 0.733865710964889e-06, 0 ...
data	list	100000	['7.537694440675e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F,Front,F,Digitizer,3.999 ...
data2	list	100000	['0.005712374914237,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F,Front,F,Digitizer,0.0000 ...
filePath	str	1	C:/Users/magazach/Desktop/dataBuffer.csv
filePath2	str	1	C:/Users/magazach/Desktop/dataBuffer3.csv
record	str	1	0.005728987614654,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F,Front,F,Digitizer,0.99998 ...
step	float	1	1e-05
time	float64	(100000,)	[0.0000e+00 1.0000e-05 2.0000e-05 ... 9.9997e-01 9.9998e-01 9.9999e-01 ...
time2	list	100000	[0.0, 1e-05, 2e-05, 3e-05, 4e-05, 5e-05, 6e-05, 7e-05, 8e-05, 9e-05, ...

```

Python console
Console I/A
Python 3.6.5 [Anaconda, Inc.] (default, Mar 29 2018, 13:32:41) [MSC v.1900 64 bit (AMD64)]
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.

IPython 6.4.0 -- An enhanced Interactive Python.

In [1]: runfile('C:/Users/magazach/House/Garage/Python/DMW7510.py', wdir='C:/Users/magazach/House/Garage/Python')
0.41347941614192363
-0.03401720546876
11.550279471329999

In [2]: runfile('C:/Users/magazach/House/Garage/Python/DMW7510.py', wdir='C:/Users/magazach/House/Garage/Python')
0.41347941614192363
-0.03401720546876
11.550279471329999

In [3]: runfile('C:/Users/magazach/House/Garage/Python/DMW7510.py', wdir='C:/Users/magazach/House/Garage/Python')
0.41347941614192363
-0.03401720546876
11.550279471329999

In [4]:
    
```

Permissions: RW End-of-lines: CRLF Encoding: UTF-8 Line: 11 Column: 1 Memory: 54%

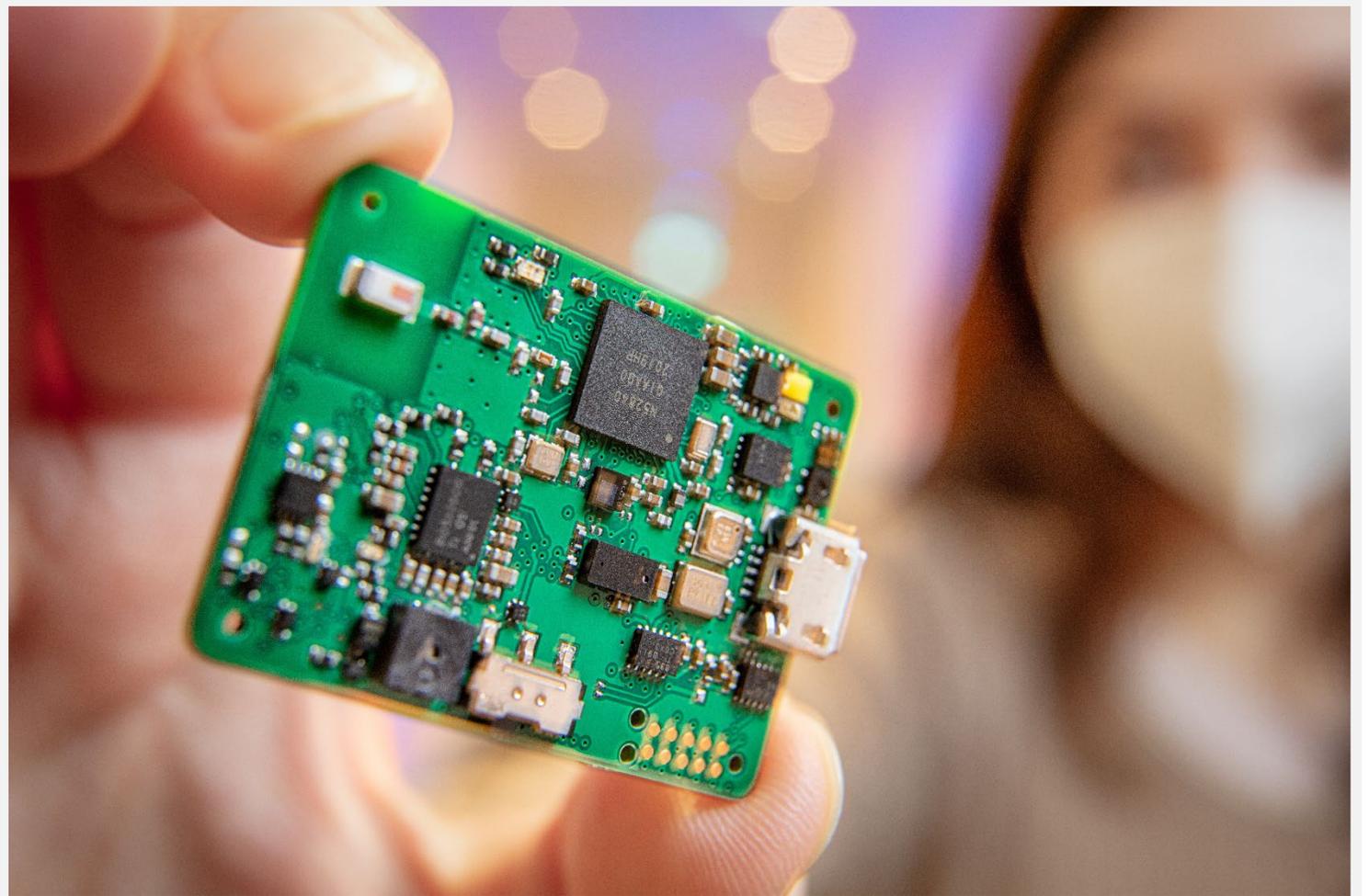
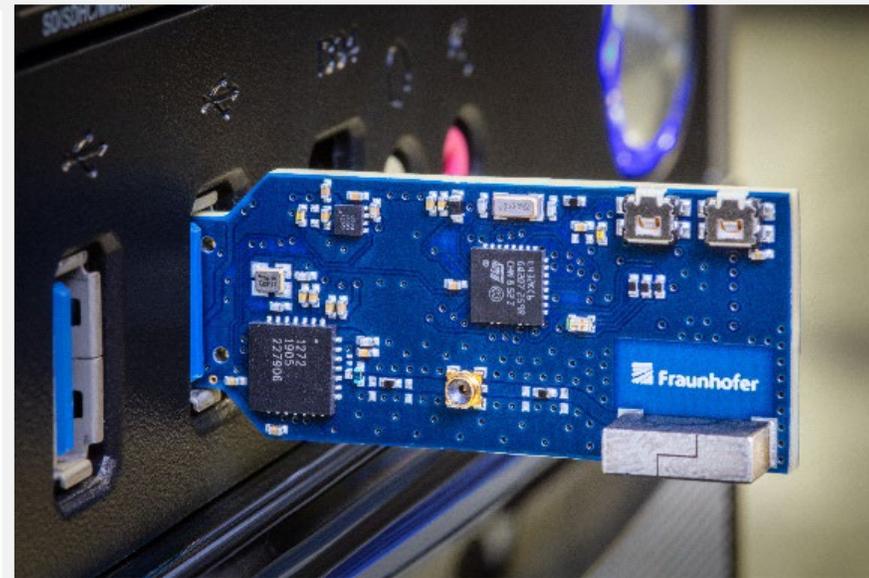


```

10 7.537694440675e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
11 -6.119896585595e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
12 2.955311440604e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
13 2.282221449796e-05,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
14 -3.821241921064e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
15 -1.404577727953e-05,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
16 -4.403368751692e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
17 1.088119213454e-05,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
18 -2.492798640913e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
19 6.015208883648e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
20 8.687021772941e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
21 -1.43302928259e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
22 -1.395621930559e-05,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
23 7.821294691494e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
24 -2.209198390094e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
25 -1.059871057829e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
26 1.413513185446e-05,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
27 6.104766857591e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
28 6.015208883648e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
29 -2.865956865675e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
30 6.582409385286e-06,Amp DC,.1,4.5,F,F,F,F
    
```

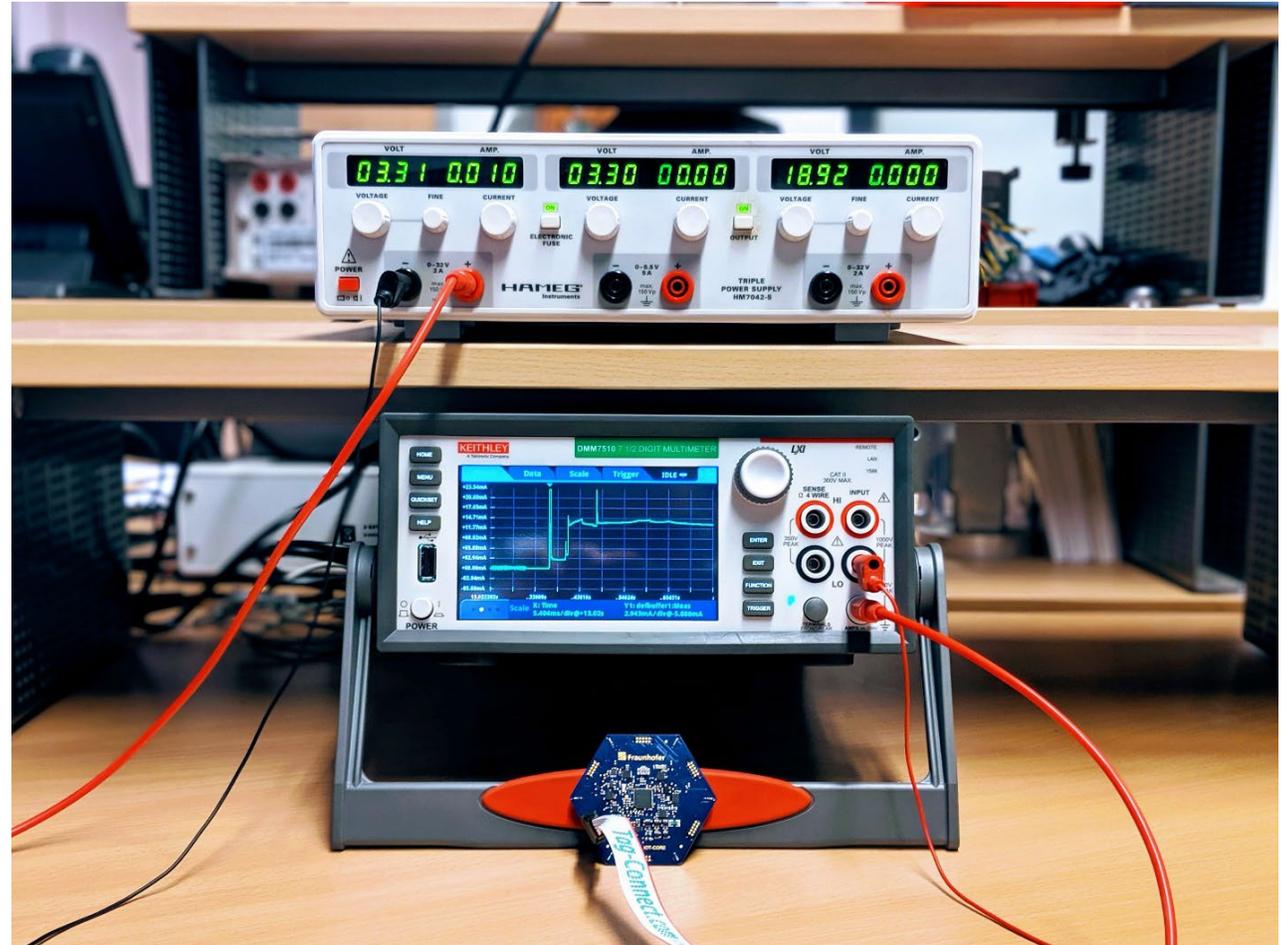
# Hardware

## Sensor-actuator platform „Swarmy“



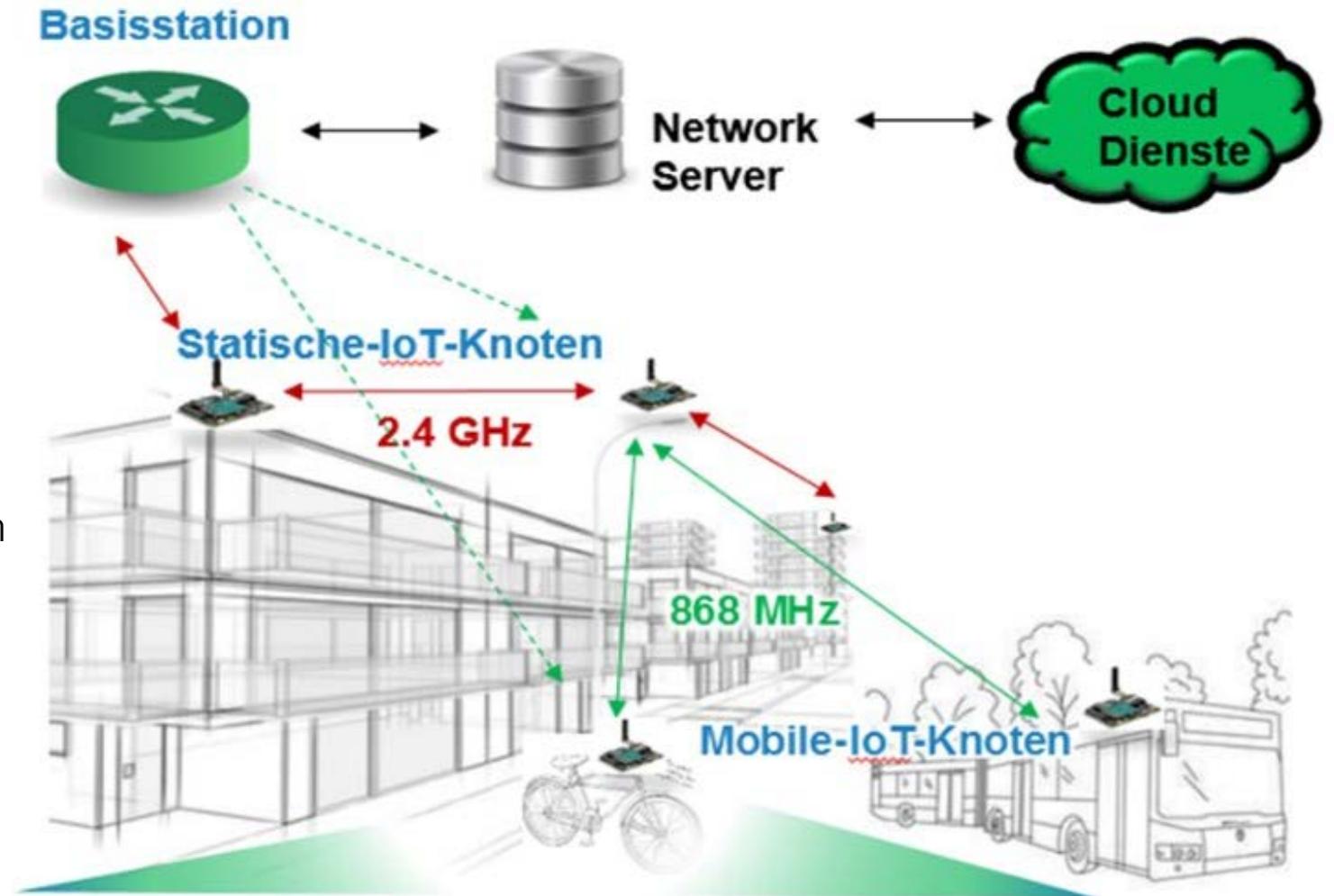
Durch Implementierung einer Firmware auf dem entwickelten Teildemonstrator konnte mithilfe der Durchführung von Messungen am Teststand das Konzept des ULP-IoT-Cores verifiziert werden

- Synergieeffekte im Ultra-Low-Power Bereich, durch die entwickelte HW-SW-Coarchitektur, erzielt
- Quantifizierung der Einsparpotenziale und Minimierung des Energieverbrauchs um den Faktor 5 bestätigt
- Dynamische Anpassung der Leistung zur Laufzeit des Systems
- Modulare Anbindung externer Komponenten erfolgreich getestet



# Applikationsbeispiel

- Der Energieverbrauch der IoT Knoten kann bis zu Faktor 5 reduziert werden.
- Dadurch wird der Umweltrucksack bezüglich des Betriebs kleiner.
- Batteriebetriebene Systeme haben eine längere Betriebsdauer, was zu geringerem Ressourceneinsatz führt.
- Der Effizienzgewinn der Anwendung ist dabei noch nicht berücksichtigt.





# Kontakt Daten:

Carsten Brockmann  
Fraunhofer IZM  
Abteilung RF & Smart Sensor Systems

[Carsten.brockmann@izm.fraunhofer.de](mailto:Carsten.brockmann@izm.fraunhofer.de)



greenict.connect24



greenict.connect24

# GREEN ICT CONNECT

## ECO DESIGN IN DER PRODUKTENTWICKLUNG MATCH OR MISSMATCH?

Kay Neugebauer  
Jan Demann

16.10.2024

**ROHDE & SCHWARZ**

Make ideas real





## Kay Neugebauer

Director of R&D Amplifier Products  
Director of R&D HF High Power Products



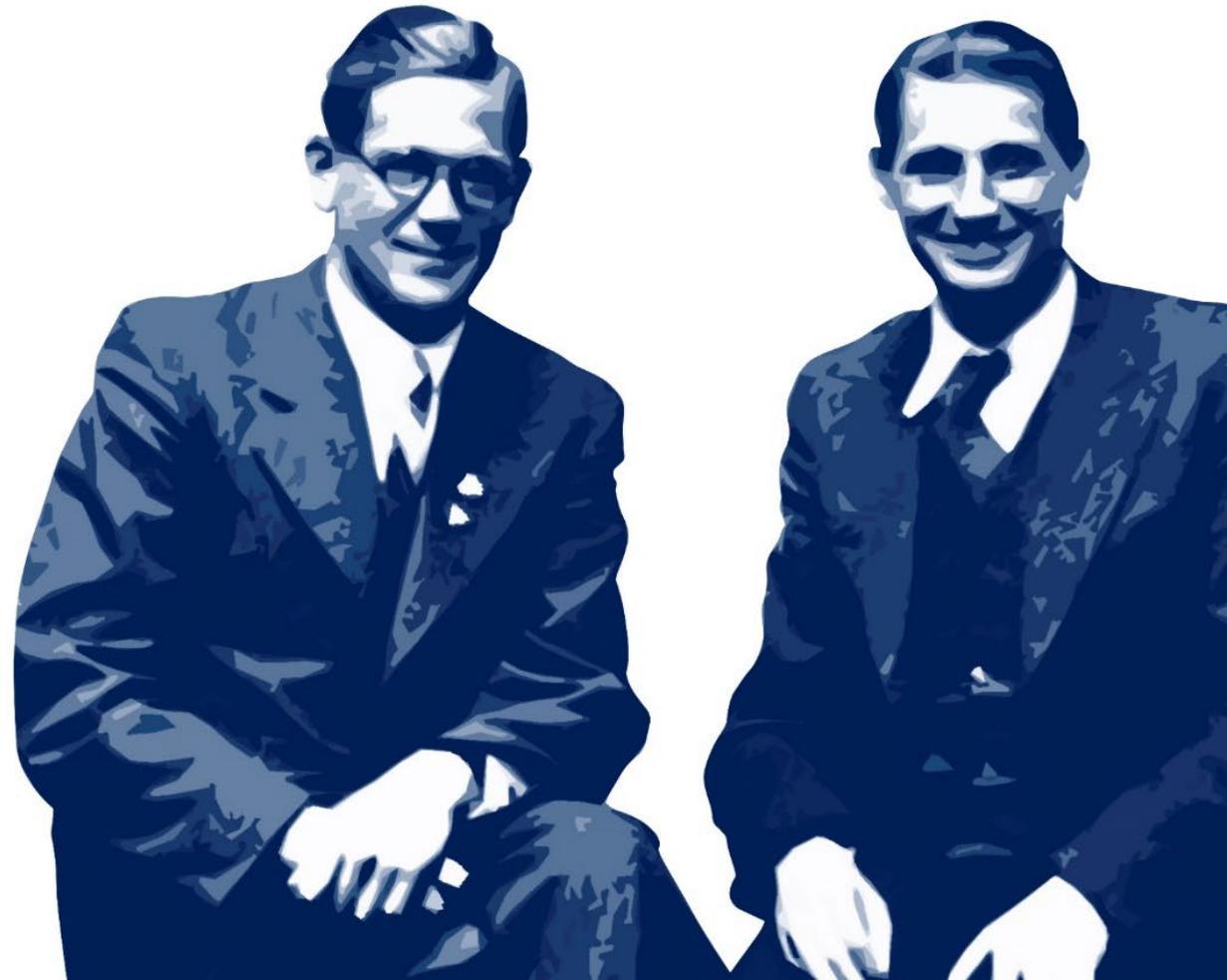
## Jan Demann

Life Cycle Analyst



# VOM 2-MANN-LABOR ZUM FAMILIENGEFÜHRTEN WELTKONZERN

- ▶ Gegründet vor 90 Jahren als „Physikalisch-technisches Entwicklungslabor“ durch die Studienfreunde Dr. Lothar Rohde und Dr. Hermann Schwarz
- ▶ Bis heute zu 100 Prozent im Besitz der Gründerfamilien
- ▶ Finanzielle Unabhängigkeit sowie langfristiges, nachhaltiges Planen und Handeln sorgen für Stabilität und Resilienz
- ▶ Seit Gründung Innovator und Enabler einer sicheren und vernetzten Welt



# EIN KONZERN, DREI DIVISIONEN, VIELFÄLTIGE MÄRKTE: WIR SIND EIN VERLÄSSLICHER TECHNOLOGIEPARTNER.

## TEST & MEASUREMENT



Wireless | Industry, Components & Research  
| Aerospace & Defense Testing | Automotive

## TECHNOLOGY SYSTEMS



Secure Communications | Critical  
Infrastructure & Networks | Government |  
IP Network Analytics | Broadcast, Amplifiers &  
Media

## NETWORKS & CYBERSECURITY

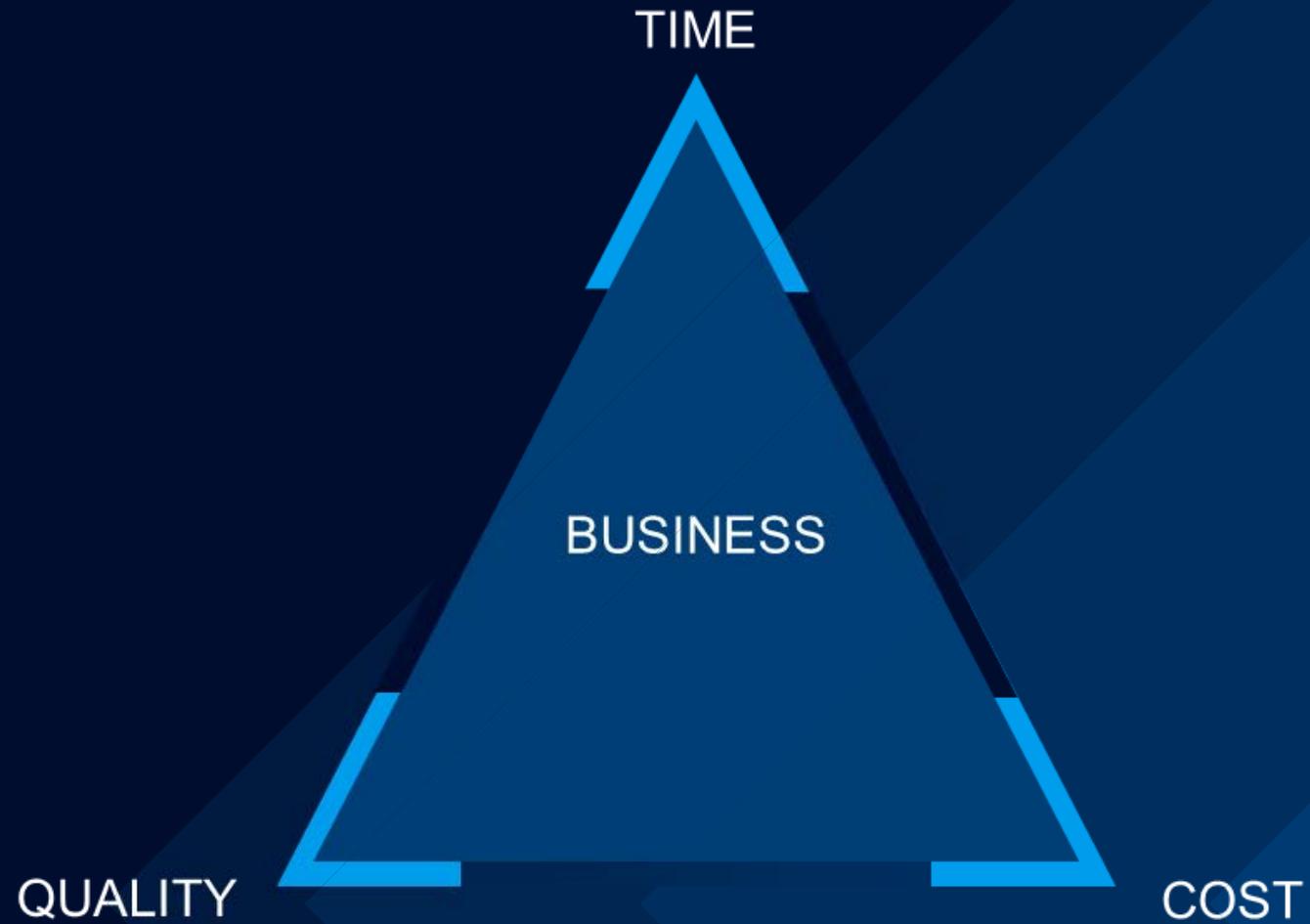


Endpoint Security | Secure Networks |  
Certified & High Grade Crypto Solutions



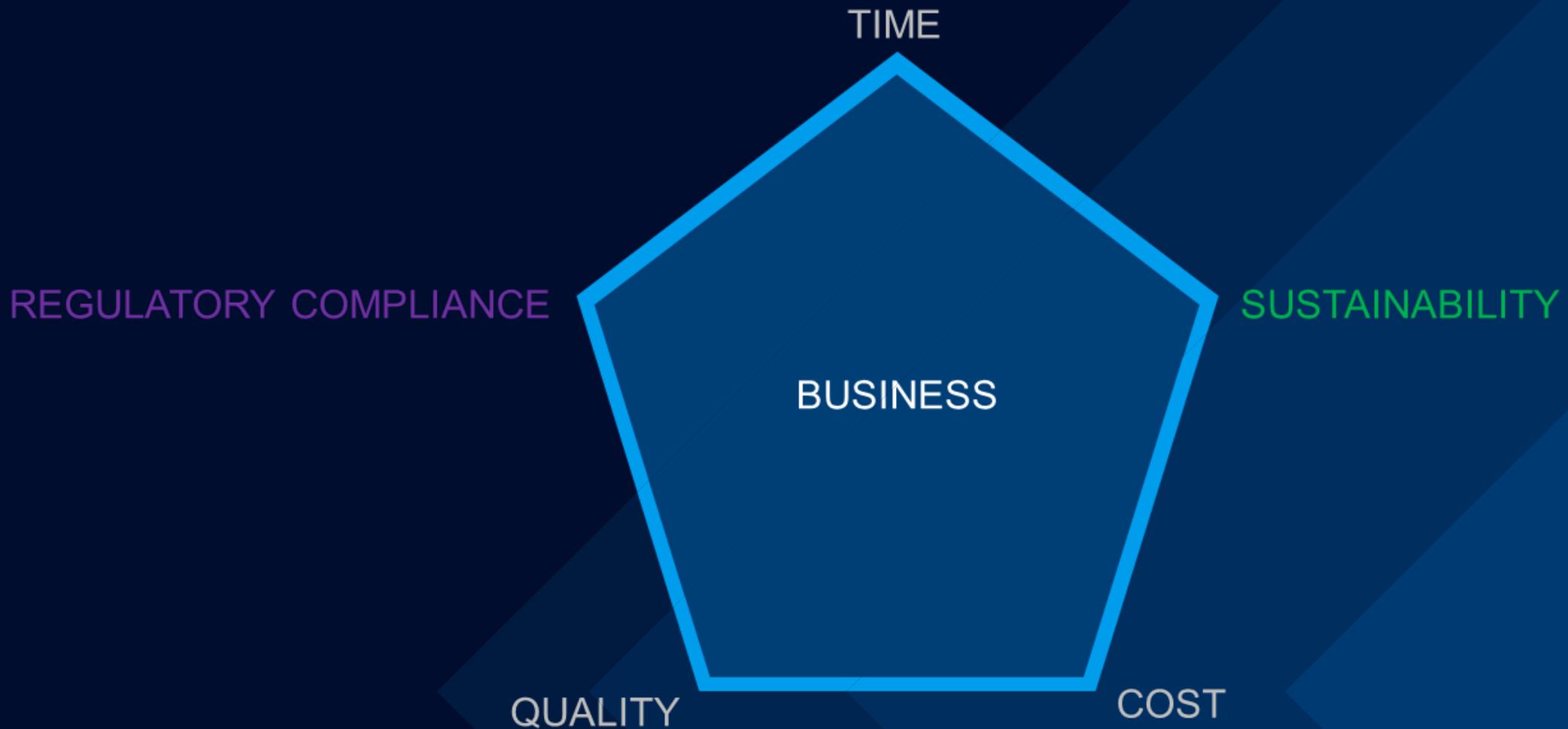
# WANDEL

...zur Bestimmung neuen Chancen.



# ANGEPASSTE GESCHÄFTSPARAMETER

... zunehmende Komplexität erweitert die Möglichkeiten für nachhaltiges Wirtschaften.



# ECO DESIGN IN DER PRODUKTENTWICKLUNG

## Nutzungsphase

### Energie Effizienz

- Abschaltbare Baugruppen
- Energieeffiziente Komponenten & Design
- Anforderungsoptimierter Betrieb



## Herstellung

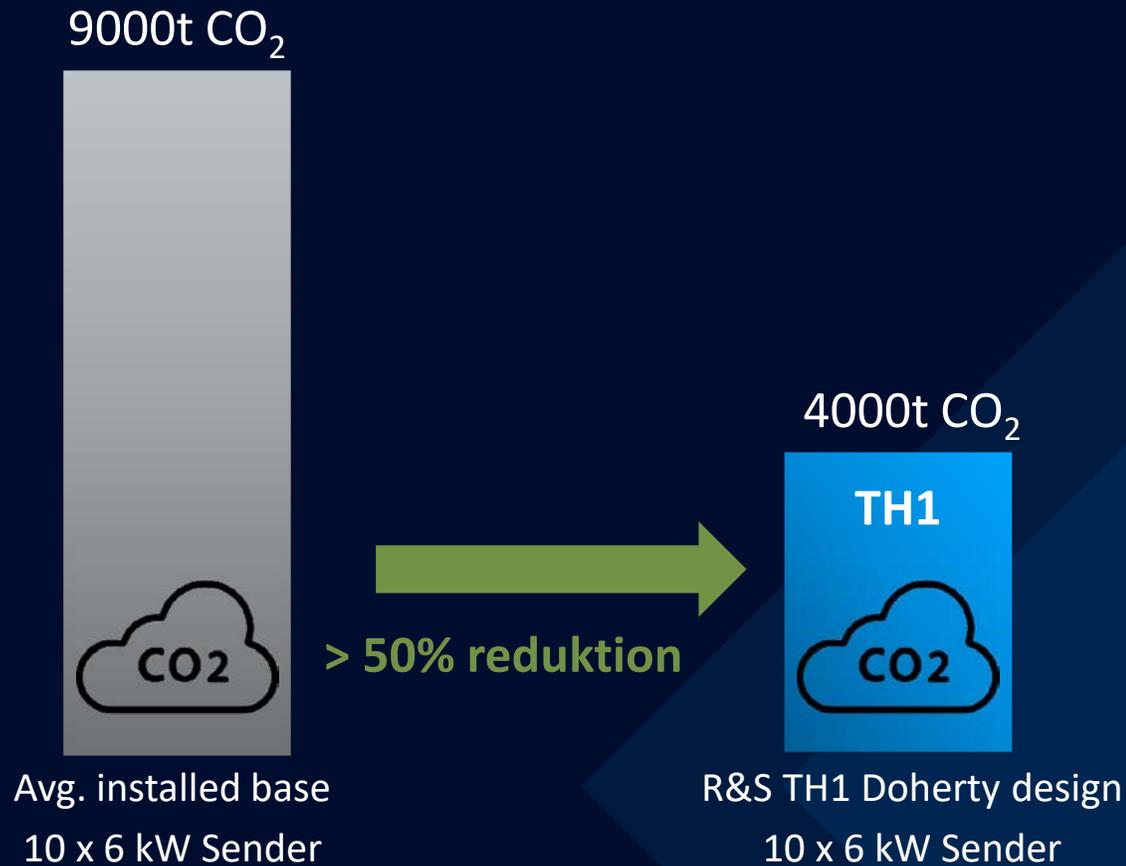
### Material Effizienz

- Emissionsarme Rohstoffe
- Emissionsarme Technologien
- Herstellung von Komponenten
- Auswahl von Komponenten



# ENERGIE EFFIZIENZ - BROADCAST

Beispiel Broadcast Network: 10 x Hochleistungssender



**EU GREEN DEAL:**  
**55% Reduktion bis 2030**

## CO<sub>2</sub> Einsparungen:

- Effizienzsteigerung ( $\eta_{el}$ )
  - Schaltungsdesign
  - BauteilAuswahl
- Höhere Integrationsdichte



Rohde & Schwarz

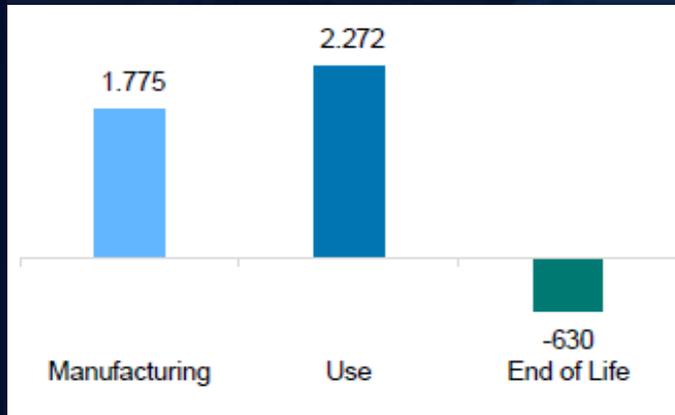




# MATERIAL EFFIZIENZ - BROADBAND AMPLIFIER

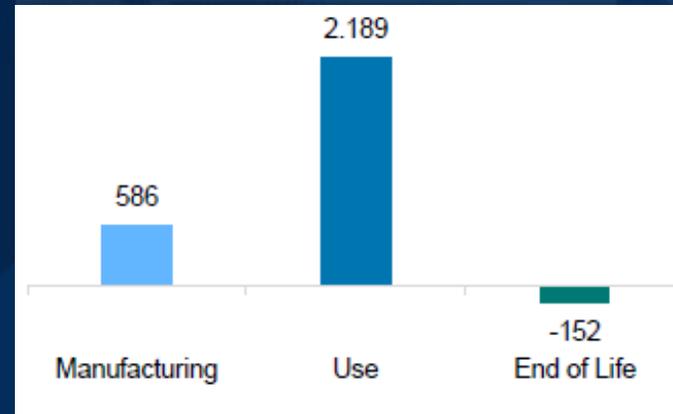
## BBA150DE

0,68GHz – 6GHz



## BBA 300CDE

0,38GHz – 6GHz



> 50% CO<sub>2</sub> reduction

### CO<sub>2</sub> Einsparungen:

- Werkstoffauswahl
  - Entwärmungstechnologie
- höhere Integrationsdichte



# SPANNUNGSFELD TECHNOLOGIE

## Steigende Kundenbedürfnisse

- Daten
- Bandbreite & Frequenzen
- Video & Audioqualität

## Auswirkung

- steigender Energieverbrauch
- steigender Verbrauch von Material

→ Technologische Innovation wirkt entgegen



1949  
~200W

heute  
~40.000W

# ECO DESIGN

## DEVELOPMENT PROCESS



- Systematischer Ansatz
- Frühe Integration in den Entwicklungsprozess
- Product Sustainability Engineer & Entwickler
- Lebenszyklusanalysen für Transparenz



# ECODESIGN UNTERSTÜTZT ERFOLGREICHE INNOVATIONEN



**...Forschung und Technologie spielen eine zentrale Rolle für eine nachhaltige Zukunft.**



**...eine frühzeitige und systematische Integration von Eco Design sichert den Markt -„match“ ab**



**...jeder Einzelne und jede noch so kleine technische Verbesserung macht Zusammen den notwendigen Unterschied.**



**LET'S MATCH TOGETHER**



greenict.connect24