

Bewertung kostengünstiger Microcontroller für Energiemonitoring, Last- und Energiemanagement

Thomas Bernhard¹, Sofia Maragkou², Stefan Wilker², Thilo Sauter^{2,3}

19. Symposium Energieinnovation | 11. - 13. Februar 2026

[1] gridoo GmbH, Gertrude-Fröhlich-Sandner-Straße 2-4, 1100 Wien, thomas.bernhard@gridoo.com

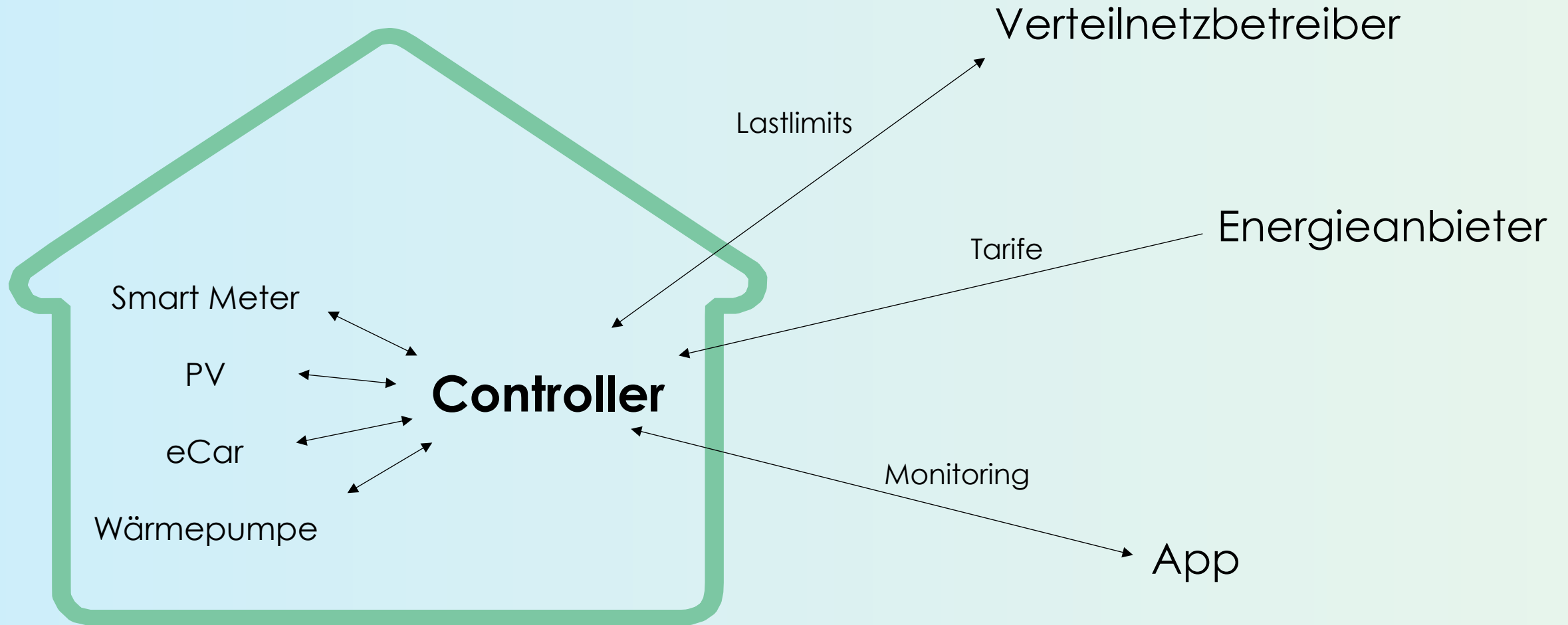
[2] TU Wien, Institut für Computertechnik, E384, Wien, vorname.nachname@tuwien.ac.at

[3] Universität für Weiterbildung Krems, Department für Integrierte Sensorsysteme, Wiener Neustadt

Motivation

- Herausforderung durch volatile erneuerbare Energiequellen und elektrische Verbraucher
- Flexibilisierung auf unterster Netzebene
- Zentrale Steuereinheit (Controller)
- Pilotprojekte mit Netzbetreibern

Setup

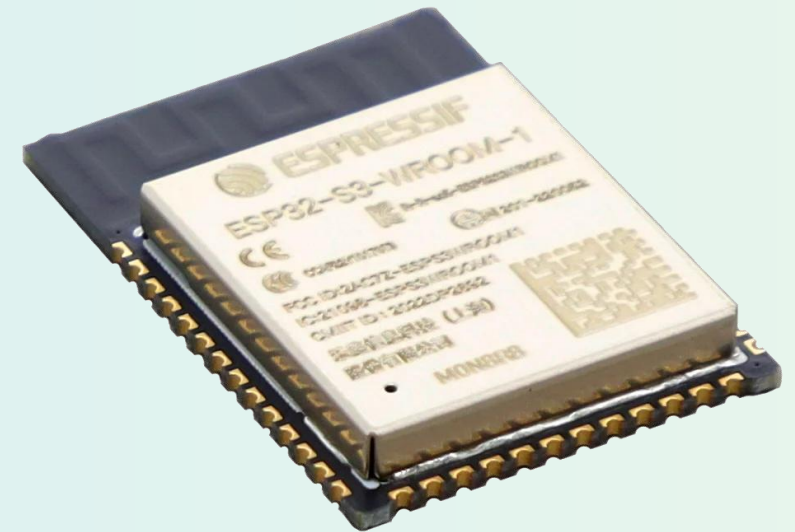


Anforderungen

- WiFi, Ethernet, Serielle Schnittstellen
- Echtzeit Monitoring (1s Intervalle)
- Lokales Energiemanagement (keine Cloud)
- Kostengünstig
- Klein (Montage im Schaltschrank)

Espressif ESP32 S-Serie

- Zertifizierte WiFi Module mit integrierter Antenne
- PSRAM und Flash Speicher im Modul
- XTENSA LX7 Prozessor (240 MHz)
 - Single-Core (ESP32-S2)
 - Dual-Core (ESP32-S3)
- Unter 5€



Konfiguration

- Single Core / Dual Core
- Anzahl an Komponenten
- Task Scheduling Strategie

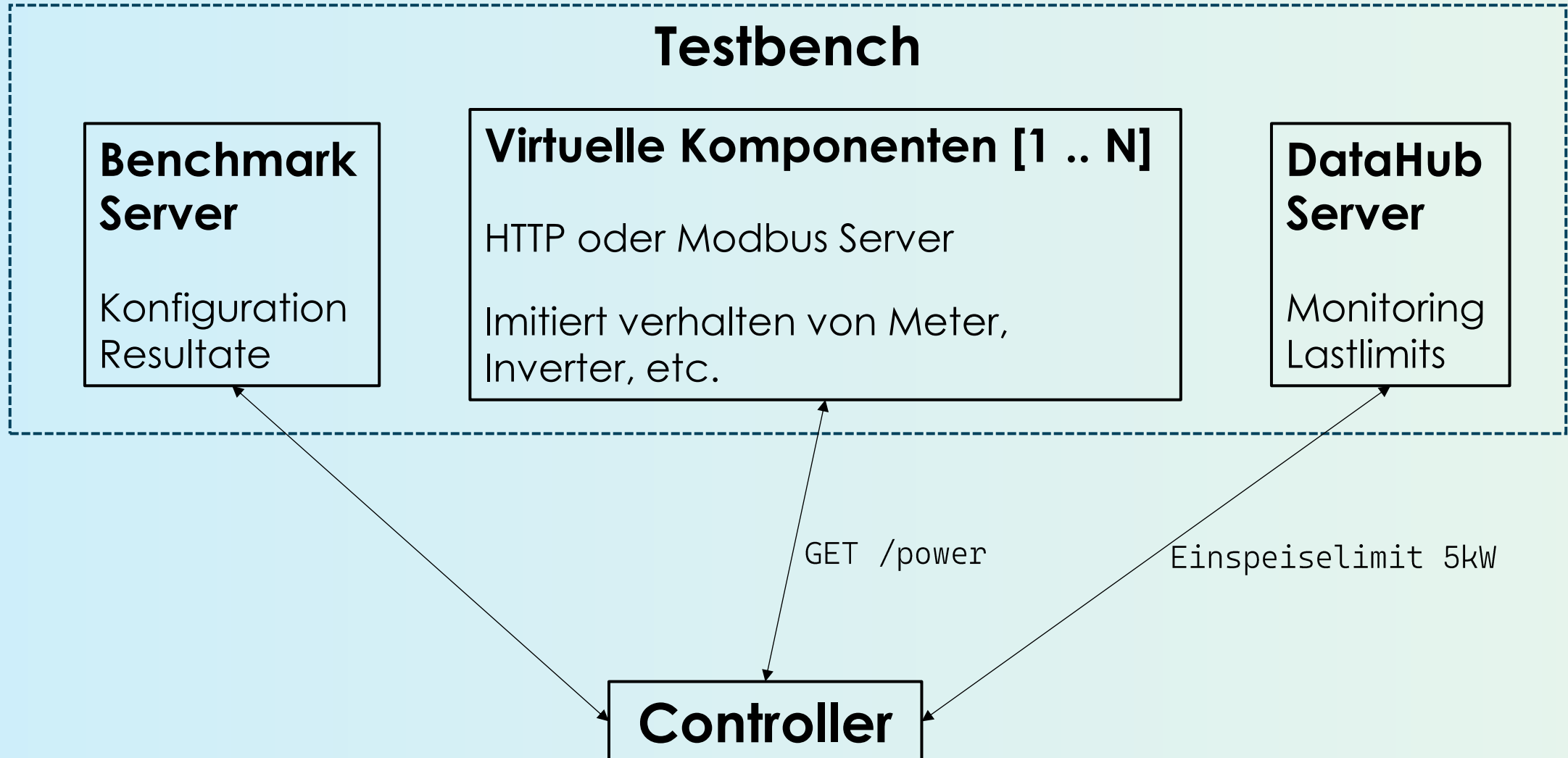
Szenarien

1. Monitoring
2. Workloads
 - a) Energieprognose
 - b) Energieplanung

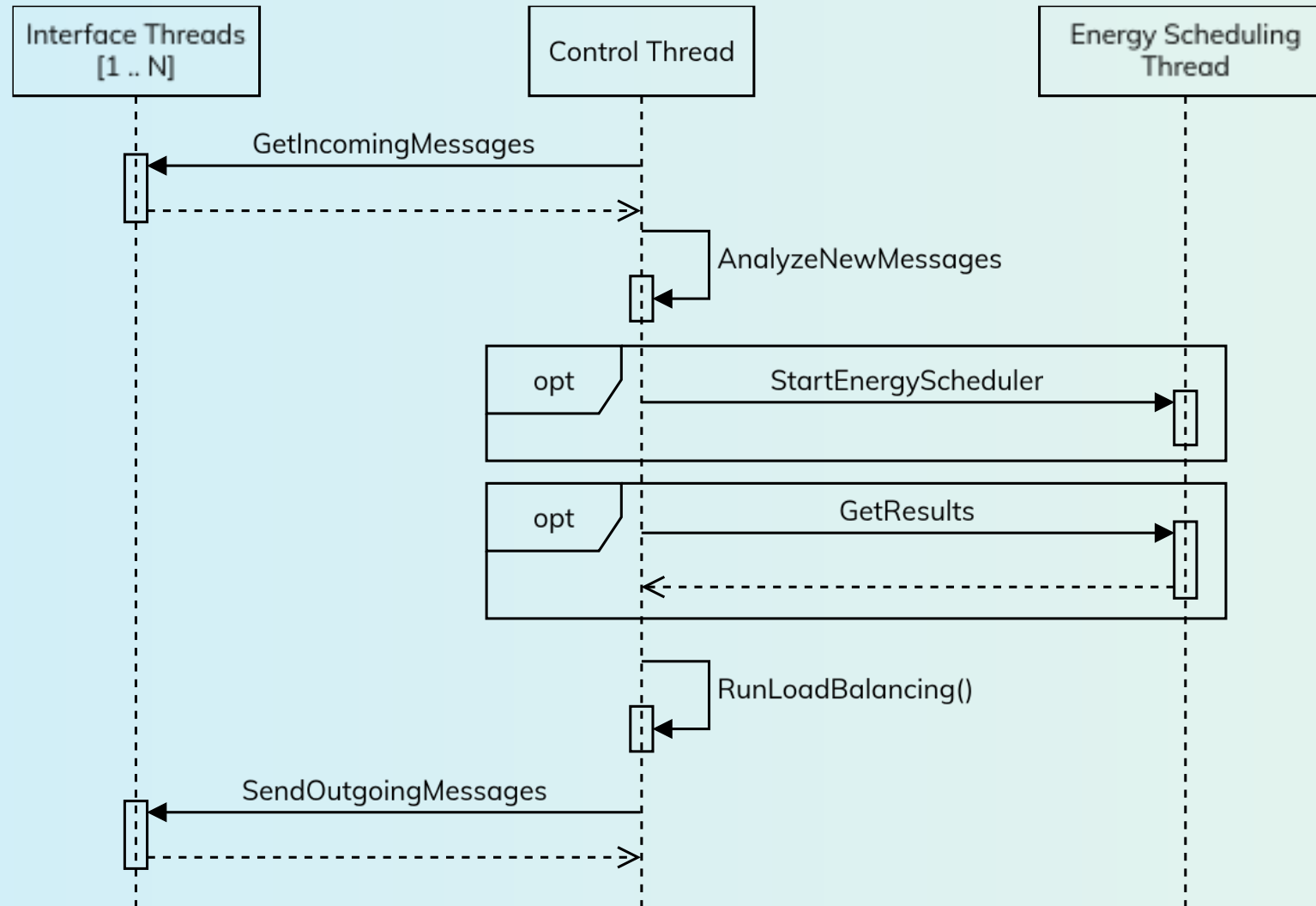
Metriken

- Prozessor-Leerlaufzeit
- Laufzeit
- Speicherbedarf

Testbench



Thread Model



Energieprognose

- 24h Prognose in 15-min Intervallen
- Photovoltaic System Dataset (161 Tage) [1]
 - Leistungswerte in 10-min Intervallen
 - Wetter Daten in 1h Intervallen
- Algorithmen
 1. Mittelwertbildung
 2. k-Means Clustering [2]
 3. Neural Network [3]

[1] UK Power Networks. (2025) Photovoltaic (pv) solar panel energy generation data. (Last Access: 26.01.2026) URL: <https://data.london.gov.uk/dataset/photovoltaic--pv--solar-panel-energy-generation-data>

[2] X. Dong, S. Deng, and D. Wang, "A short-term power load forecasting method based on k-means and svm," Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, vol. 13, no. 11, pp. 5253–5267, 2022

[3] L. Wulfert, J. Kühnel, L. Krupp, J. Viga, C. Wiede, P. Gembaczka, and A. Grabmaier, "Aifes: A next-generation edge ai framework," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 46, no. 6, pp. 4519–4533, 2024.

Energieplanung

- Daten und Implementierung basierend auf PyECOM [1]
- 1 Speicher, 2 PVs, 2 Ladestationen
- 24h Zeithorizont in 1h-Intervallen
- Mixed Integer Linear Programming (MILP) Formulation
- ~1000 Variablen und ~1000 Constraints

[1] Gomes, Eduardo, Lucas Pereira, Augusto Esteves, et al. (2023). "PyECOM: A Python tool for analyzing and simulating Energy Communities". In: SoftwareX 24, p. 101580. issn: 2352-7110.

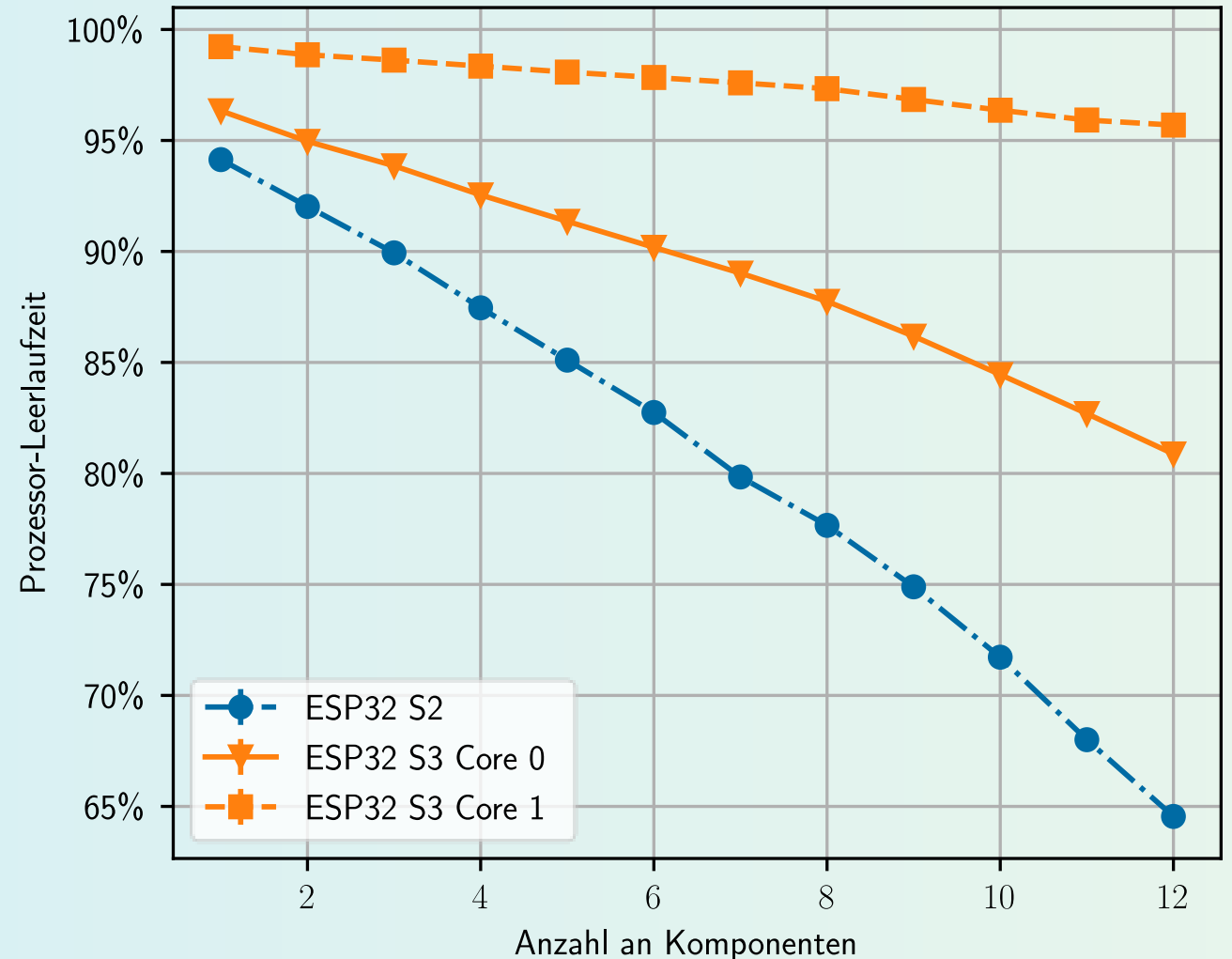
Ergebnisse

Monitoring Szenario

- 1s Intervall
- Echtzeit Logging am Server/App

Limits

- Anzahl an Sockets
- Speicher



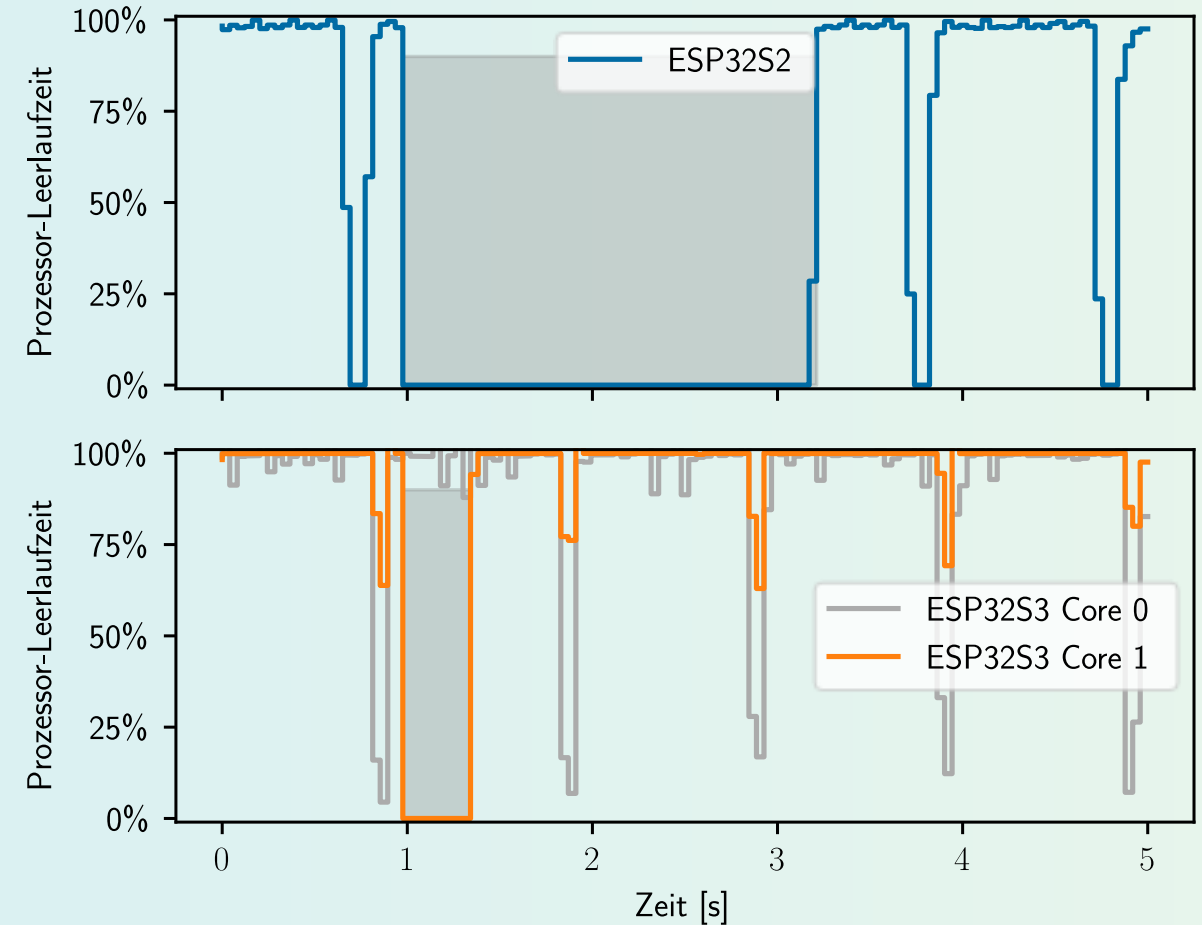
Ergebnisse

Workload Szenario

- Zusätzlich zum Monitoring
- Beispiel k-Means Prognose

Echtzeitverhalten

- Maximale Abweichung im Regelkreis: 36 μ s



Ergebnisse

Energieprognose

Algorithmus	Laufzeit (Dual-Core)		Speicherbedarf	
	Training	Inferenz	Heap	Code
Mittelwertbildung	0 s	0.5 ms	0 kB	≈ 0
k-Means Clustering	0.4 s	0.5 ms	4 kB	≈ 0
Neural Network	190 s	10 ms	317 kB	15 kB

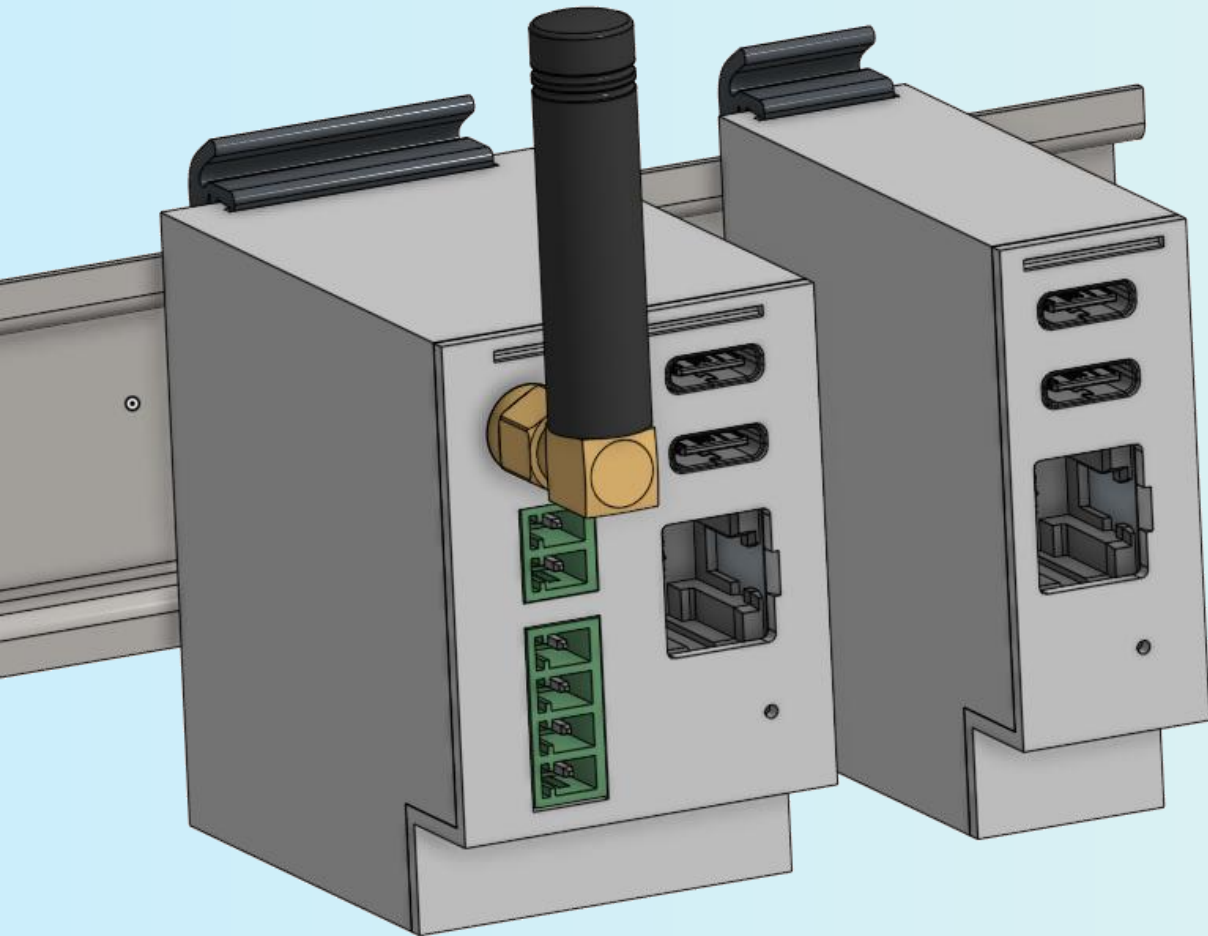
Energieplanung

Library	Laufzeit (Dual-Core)	Speicherbedarf	
		Heap	Code
SoPLEX	4.53 s	800 kB	972 kB
GLPK	4.95 s	933 kB	171 kB

Verfügbarer Speicher: **2MB RAM / 4MB Flash** (S2) **8MB RAM / 16MB Flash** (S3)

Zusammenfassung

- Echtzeitfähiges Energiemonitoring in komplexen Setups
 - 1s Intervalle
 - 12 Komponenten
 - Auslastung nur 35% (ESP32-S2) bzw. 12% (ESP32-S3)
- Energieprognosen und Energiemanagement
 - ESP-S3 um Faktor 3 schneller
 - Größerer Speicher entscheidend
 - Fokus auf simple Methoden



gridoo Brain

- ESP32-S3
- Smart Meter Schnittstelle
 - MBUS, wMBUS, Seriell
- Erweiterbar mit diversen Modulen
 - LTE, Ethernet, Relais, ...