



Quantifizierung des Energieverbrauchs von Software

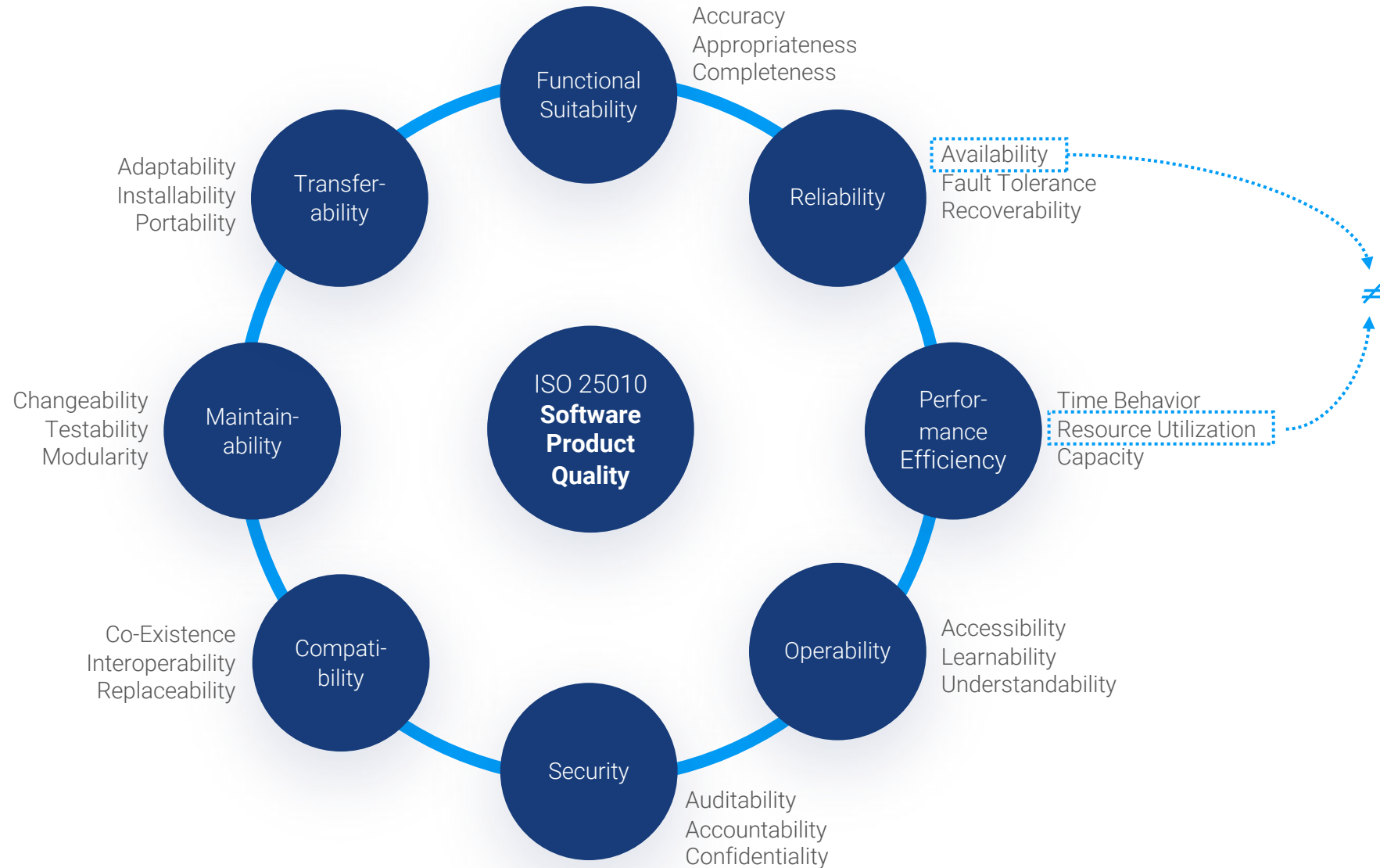
Stefan Rotsch



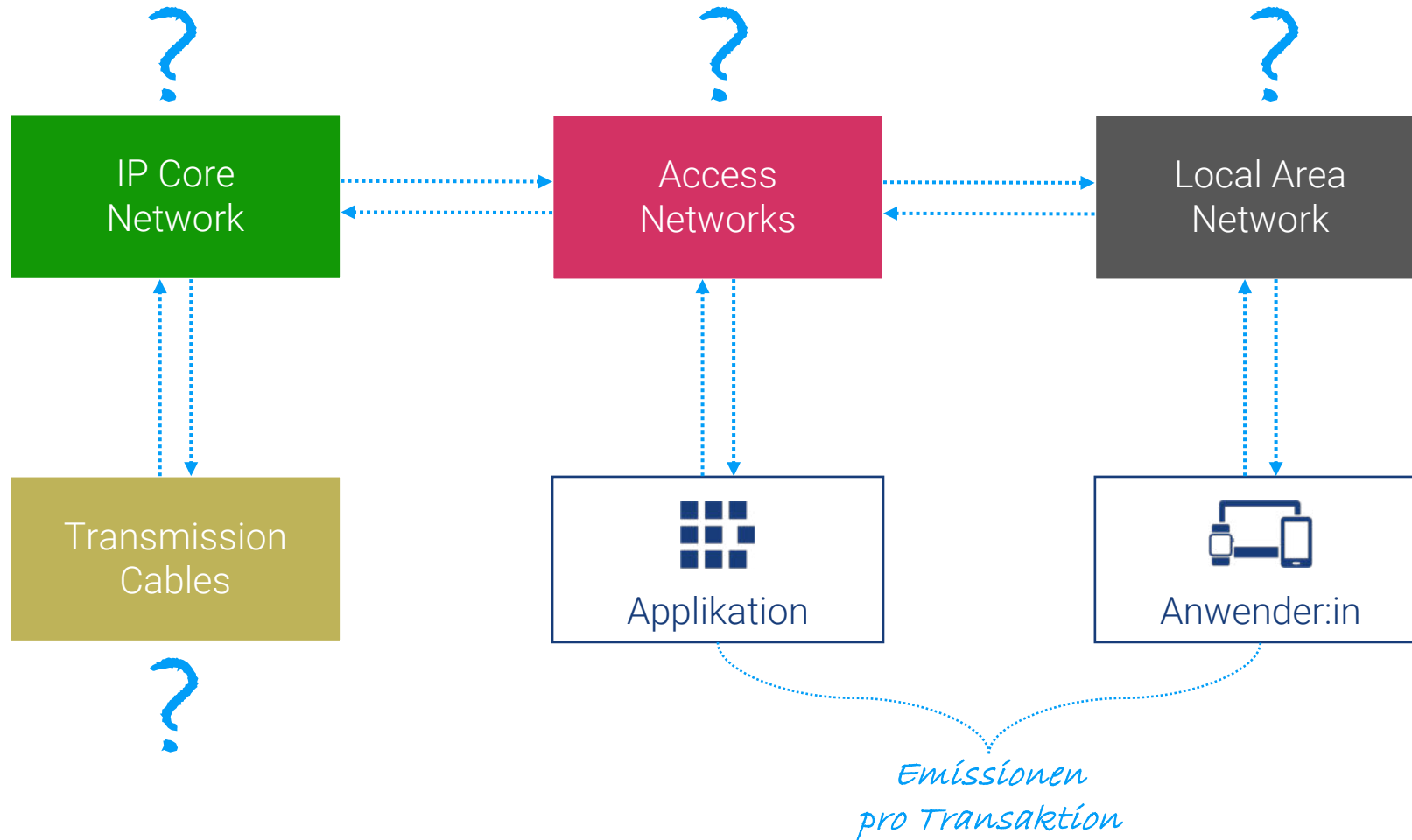
AOE – Talents. Enabling. Tech.

Nachhaltige Webapplikationen

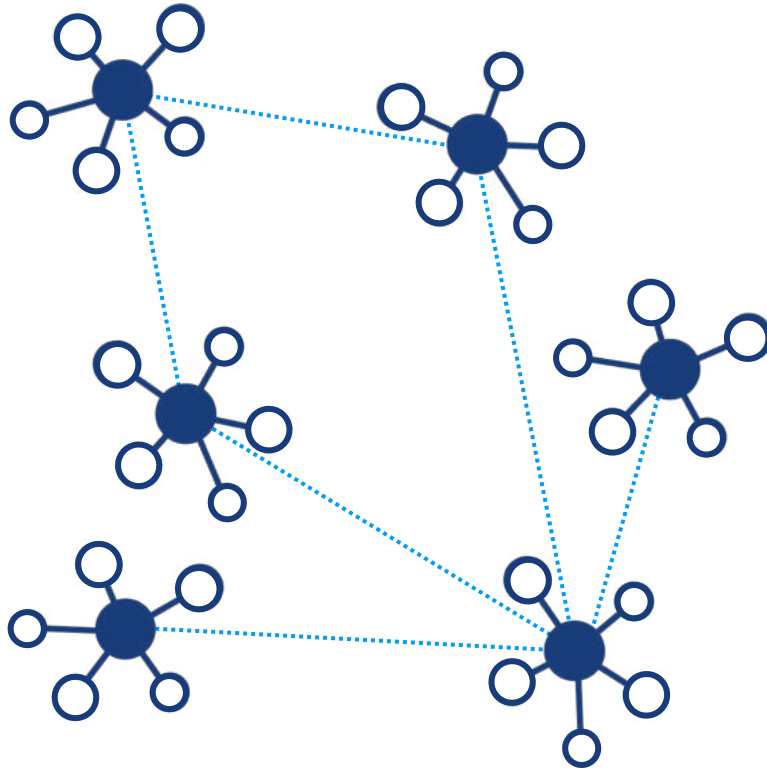
Qualitätskriterien für Software



Traumziel Ende-zu-Ende-Analyse

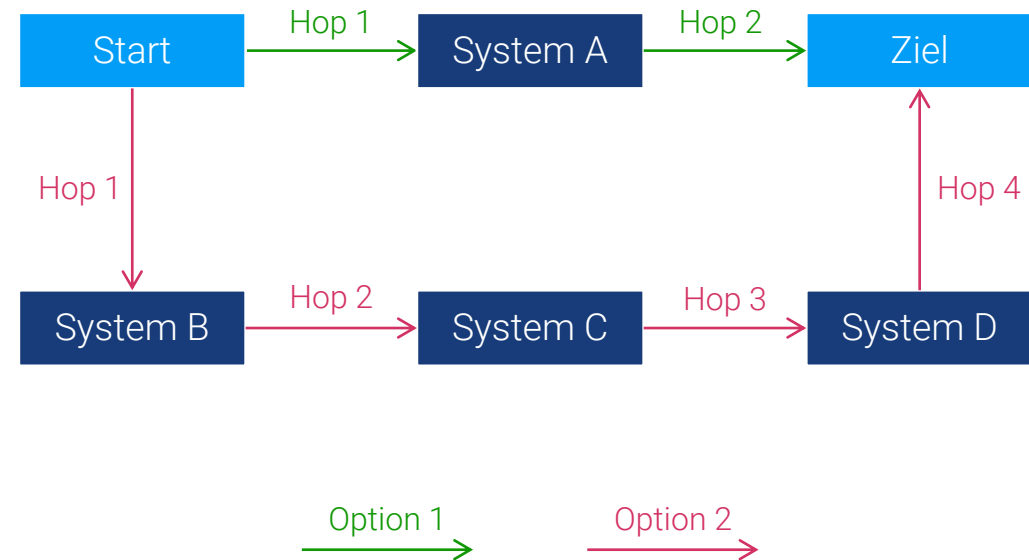


Exkurs: Border Gateway Protocol (BGP)



Dezentrale Strukturen

»Netzwerke von Netzwerken«



Dynamisches Routing

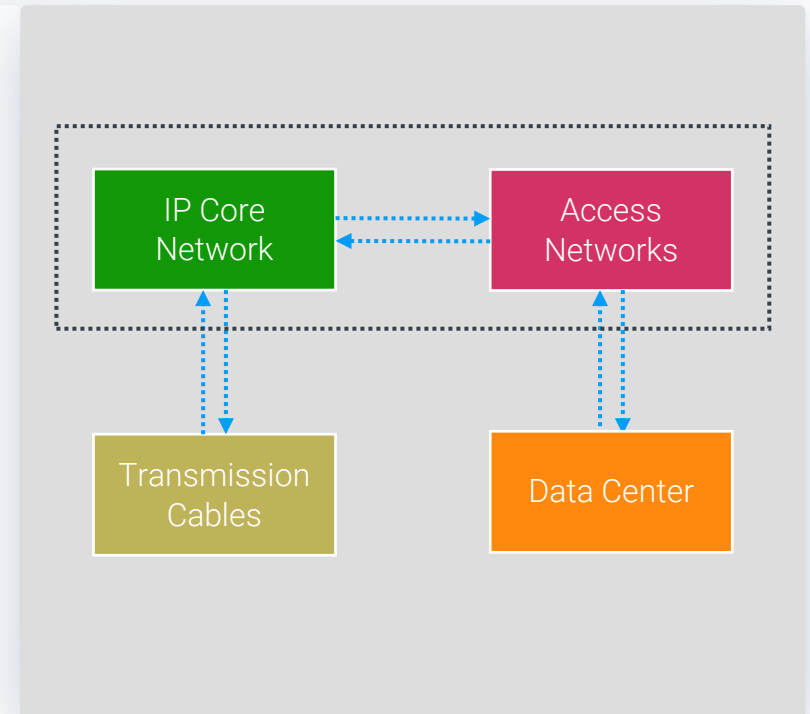
»viele Wege führen zum Ziel«

Energiebedarf der Übertragungsnetze



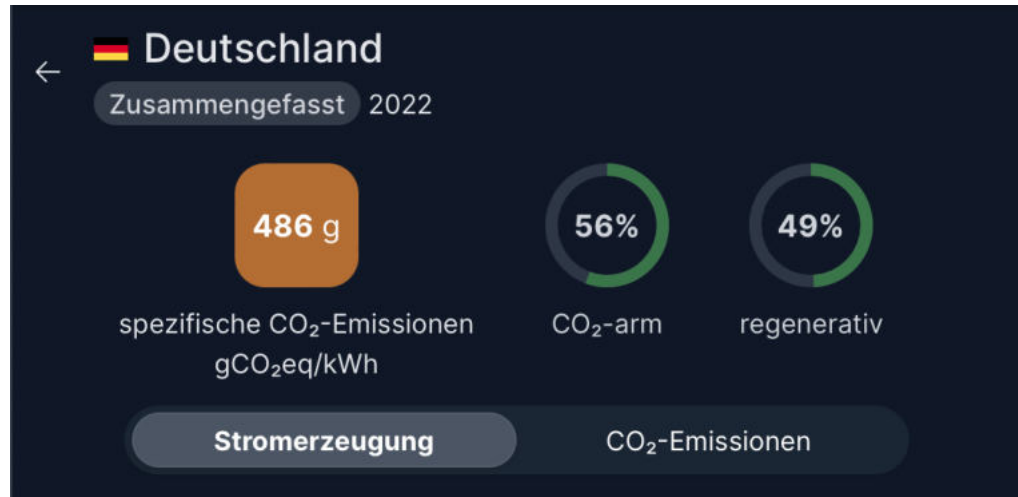
This article [...] provides a new estimate of **0,06 kWh/GB for 2015**. By retroactively applying our criteria to existing studies, we were able to determine that the electricity intensity of data transmission (core and fixed-line access networks) has **decreased by half approximately every 2 years since 2000** [...].

Joshua Aslan et al. 2017: Electricity Intensity of Internet Data Transmission: Untangling the Estimates

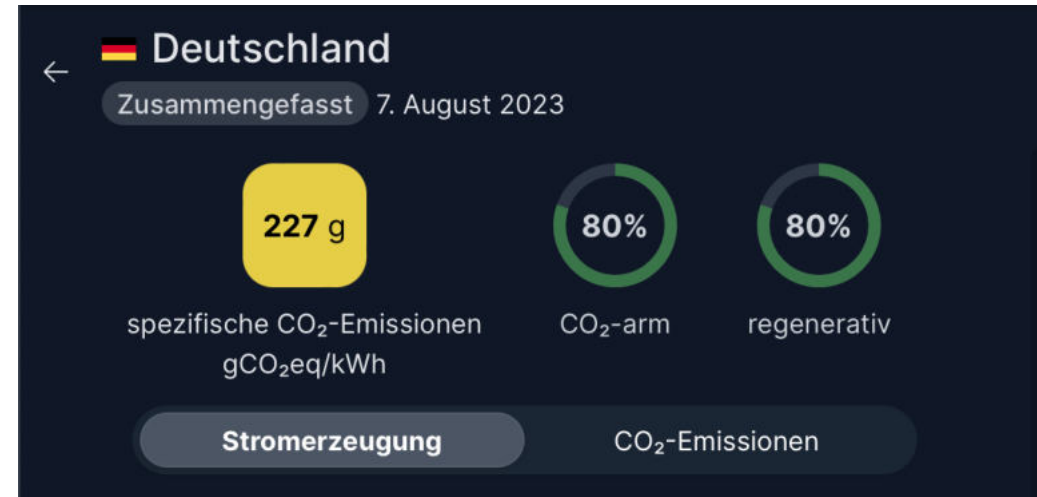


Beispiel Netflix-Streaming (Ultra-HD) pro Stunde: 7 GB x 0,06 kWh/GB = 0,42 kWh

Stromerzeugung & CO₂-Emissionen



Jahresdurchschnitt 2022



Tagesdurchschnitt 07.08.2023

Beispiel Netflix-Streaming (Ultra-HD) pro Stunde:

$$0,42 \text{ kWh} \times 486 \text{ gCO}_2\text{eq/kWh} = 204 \text{ gCO}_2\text{eq}$$

$$0,42 \text{ kWh} \times 227 \text{ gCO}_2\text{eq/kWh} = 95 \text{ gCO}_2\text{eq}$$

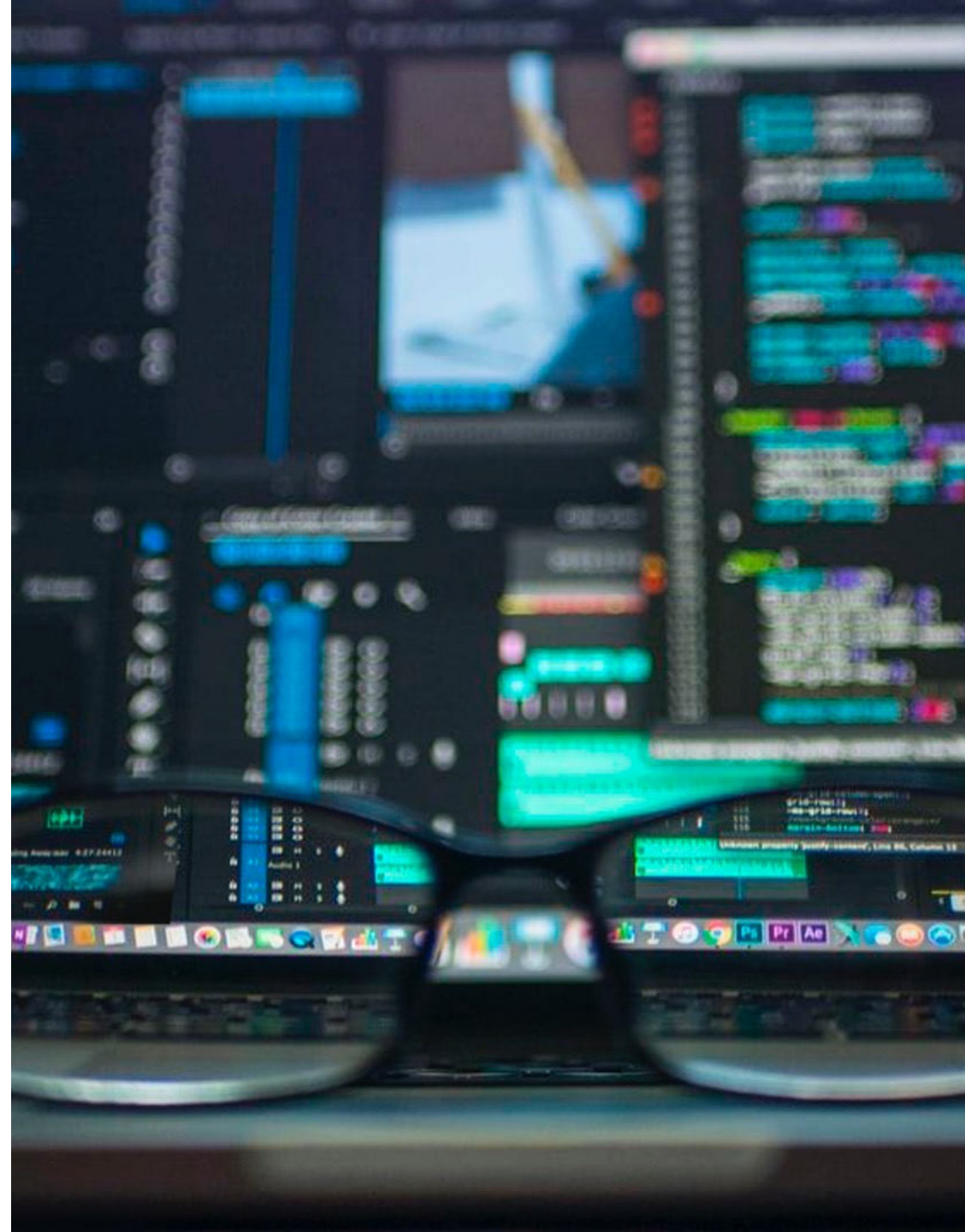
Erkenntnisse und weiteres Vorgehen

1. Fokus auf Applikationen

Ende-zu-Ende-Analyse ist eine Gleichung mit (zu) vielen Unbekannten

2. Fokus auf Energieverbrauch

CO2-Emissionen stark abhängig vom Energiemix





















Energieeffiziente Websites

Digitale Nachhaltigkeit in der Fußball-Bundesliga

<https://www.acb.studio/de/insights/digitale-nachhaltigkeit-in-der-bundesliga>

Darmstadt wird als Aufsteiger Deutscher Meister

acb.studio hat die Startseiten aller 18 Vereine der 1. Fußball-Bundesliga unter anderem auf ihren Energieverbrauch analysiert und diese in der Tabelle nach dem geringsten CO₂-Ausstoß pro einmaligem Aufruf geordnet. Um diesen anfassbar zu gestalten, haben wir den Energieaufwand in mögliche Elektroauto-Kilometer umgerechnet*.

| Verein | CO ₂ / Aufruf | Green Hosting | Energie p.a. in km * |
|---|--------------------------|---------------|----------------------|
| 1  Darmstadt 98 | 0.46g | Nein | 11.227 km |
| 2  RB Leipzig | 0.48 g | Nein | 42.008 km |
| 3  Eintracht Frankfurt | 0.54 g | Ja | 161.591km |
| 4  FC Augsburg | 0.86 g | Ja | 34.559 km |
| 5  Bayer 04 Leverkusen | 0.94 g | Ja | 47.492 km |
| 6  FC Bayern München | 0.99 g | Ja | 11.090.075km |
| 7  Borussia Dortmund | 1.03 g | Nein | 403.563 km |
| 8  FC Union Berlin | 1.37 g | Nein | 66.867 km |
| 9  SV Werder Bremen | 1.48 g | Nein | 127.332 km |
| 10  1. FC Köln | 1.57 g | Nein | 155.257 km |
| 11  1. FSV Mainz | 1.81 g | Ja | 65.504 km |
| 12  VfB Stuttgart | 1.93 g | Ja | 327.296 km |
| 14  VfL Bochum | 2.01 g | Ja | 59.764 km |
| 13  1. FC Heidenheim | 2.07 g | Ja | 37.324 km |
| 15  Borussia Mönchengladbach | 2.37 g | Ja | 345.113 km |
| 16  VfL Wolfsburg | 2.62 g | Ja | 135.276 km |
| 17  SC Freiburg | 3.26 g | Ja | 277.390 km |
| 18  TSG Hoffenheim | 4.31 g | Nein | 149.608 km |

Analysemethodik & Tools



Website Carbon Calculator








CO₂-Emissionen & Stromverbrauch pro Aufruf

Similarweb

Durchschnittliche Anzahl der Aufrufe pro Monat

Anzahl der Aufrufe x Stromverbrauch pro Aufruf = Gesamtstromverbrauch

Ergebnisse im Detail

| | Verein | CO ₂ eq/Aufruf | Aufrufe/Monat | Energie/Jahr |
|-----|---|---------------------------|---------------|---------------|
| 1 |  Darmstadt 98 | 0,46 g | 127.700 | 1.600 kWh |
| 2 |  RB Leipzig | 0,48 g | 269.600 | 3.539 kWh |
| 3 |  Eintracht Frankfurt | 0,57 g | 1.600.000 | 28.618 kWh |
| ... | | | | |
| 6 |  FC Bayern München | 0,99 g | 4.600.000 | 142.348 kWh ! |
| ... | | | | |
| 16 |  VFL Wolfsburg | 2,62 g | 159.200 | 12.907 kWh |
| 17 |  SC Freiburg | 3,26 g | 366.900 | 37.505 kWh |
| 18 |  TSG Hoffenheim | 4,31 g | 238.700 | 27.900 kWh |

10x (CO₂eq/Aufruf: 0,46 g vs 4,31 g)
35x (Aufrufe/Monat: 127.700 vs 4.600.000)

Demo



Beispiel: Analyse svww.de

Emissionen/Aufruf

2,93 gCO₂eq








Aufrufe/Monat

50.900

Energie/Jahr

4.669 kWh

Einordnung SV Wehen Wiesbaden

| | Verein | CO ₂ eq/Aufruf | Aufrufe/Monat | Energie/Jahr |
|-----|---|---------------------------|---------------|------------------|
| 1 |  Darmstadt 98 | 0,46 g | 127.700 | 1.600 kWh |
| 2 |  RB Leipzig | 0,48 g | 269.600 | 3.539 kWh |
| 3 |  Eintracht Frankfurt | 0,57 g | 1.600.000 | 28.618 kWh |
| ... | | | | |
| 6 |  FC Bayern München | 0,99 g | 4.600.000 | 142.348 kWh |
| ... | | | | |
| 16 |  VFL Wolfsburg | 2,62 g | 159.200 | 12.907 kWh |
| 17 |  SV Wehen Wiesbaden | 2,93 g | 50.900 | 4.699 kWh |
| 18 |  SC Freiburg | 3,26 g | 366.900 | 37.505 kWh |

Pro/Contra Website Carbon Calculator

Pro

Anwenderfreundlich

Ohne Vorkenntnisse nutzbar

Vergleichsgrößen aus dem »normalen Leben«

Contra

Statische Analyse

Beschränkt auf die Startseite

Durchschnittswerte und Schätzungen


*Empfehlung für relative Vergleiche
und (persönliche) Rankings*


Amazon.de vs. Otto.de


Website Carbon Calculator How does it work? FAQ Get the badge! API Consultancy

Carbon results for
amazon.de Share f t in s e

This page was last tested on 29 Aug, 2023. [Test Again](#)

 **Hurrah! This web page is cleaner than 51% of web pages tested**


 Only **0.46g of CO2** is produced every time someone visits this web page.


 This web page appears to be running on **sustainable energy**


Website Carbon Calculator How does it work? FAQ Get the badge! API Consultancy

Carbon results for
otto.de Share f t in s e

This page was last tested on 15 Jan, 2023. [Test Again](#)

 **Uh oh! This web page is dirtier than 50% of web pages tested**

 Oh my, **0.48g of CO2** is produced every time someone visits this web page.

 This web page appears to be running on **sustainable energy**

Differenz: 0,02 g/Aufruf

Energieeffiziente Applikationen



Messung des Energieverbrauchs von Cloud-Native Applikationen

Exkurs: (Cloud) Computing



Server



Virtual Machine



Container



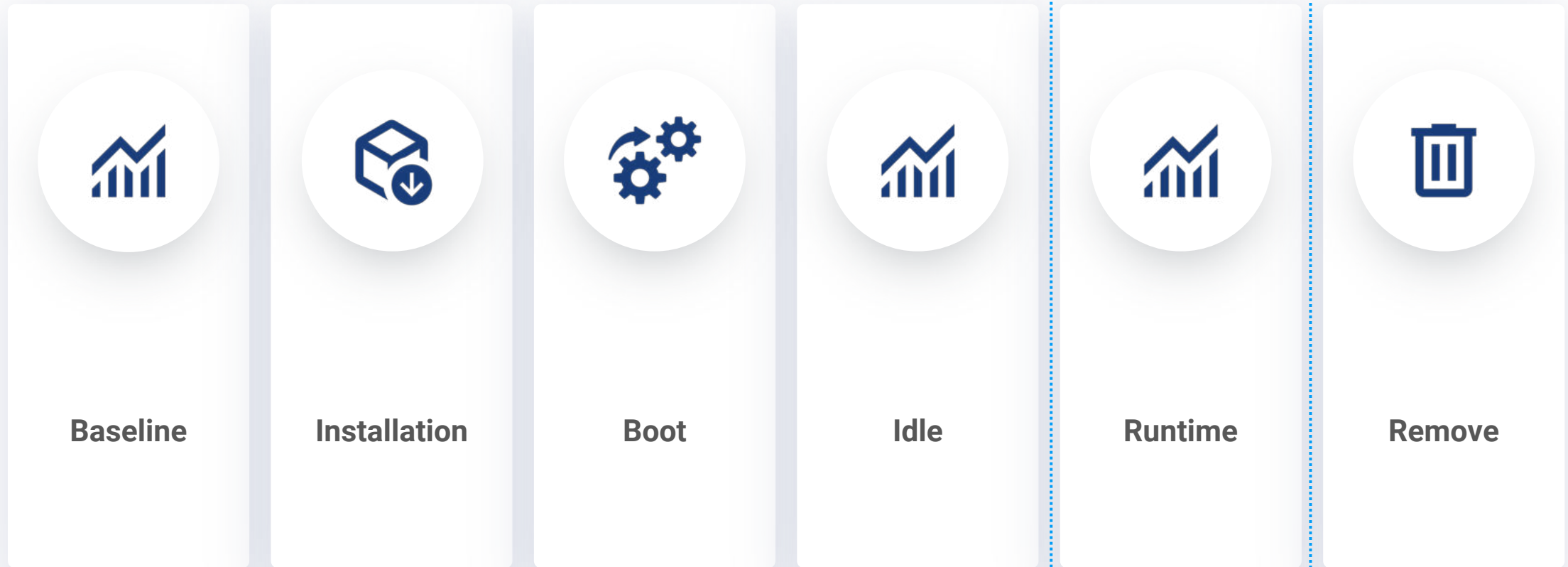
FaaS

Abstraktion

Einführung Green Metrics Tool

- ✓ Messung von Energieverbrauchs / CO₂-Emissionen
- ✓ Container-Basiert
- ✓ Provisionierung über Infrastructure-as-Code
- ✓ Web-basierte Benutzeroberfläche
- ✓ Metriken auf Container- und Betriebssystemebene

Ablauf des Messvorgangs



Ausführen der Applikation

Konfiguration einer Beispielapplikation

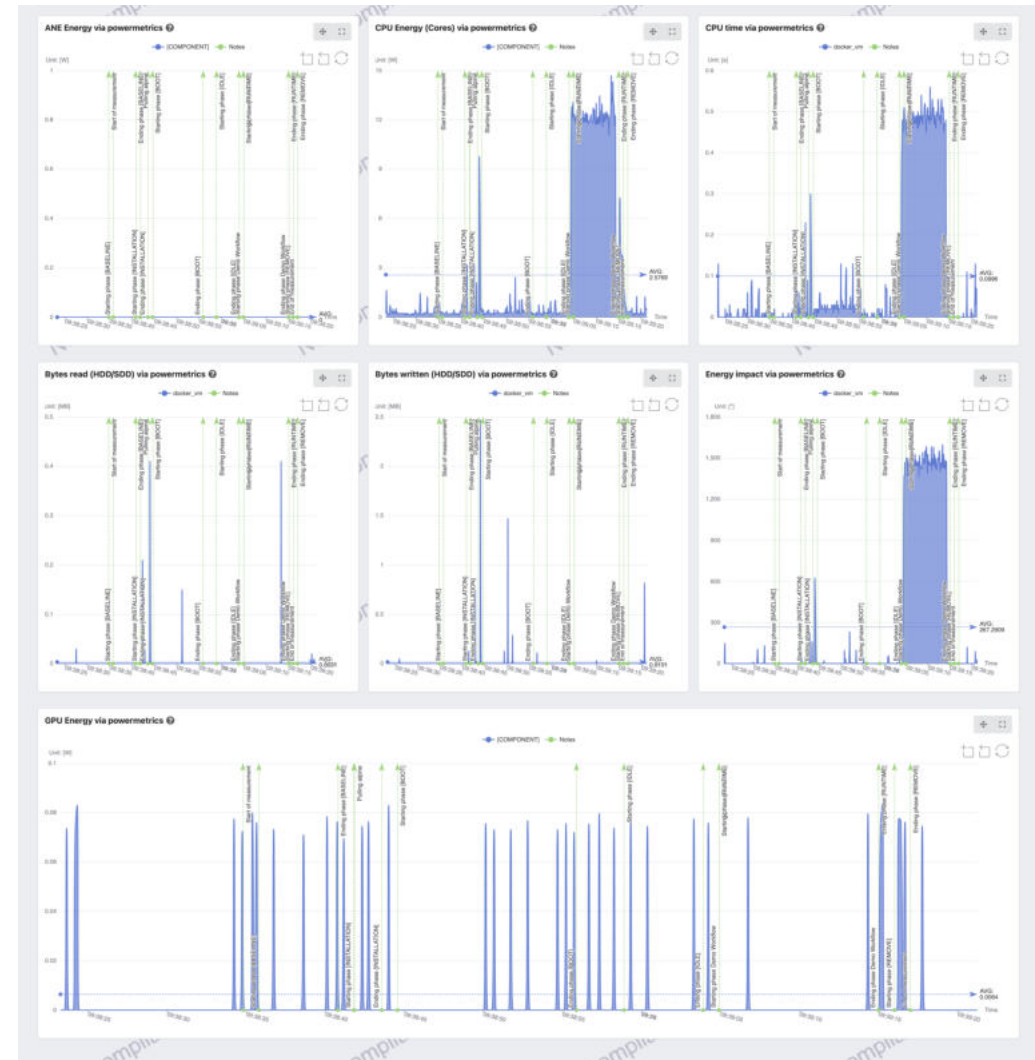
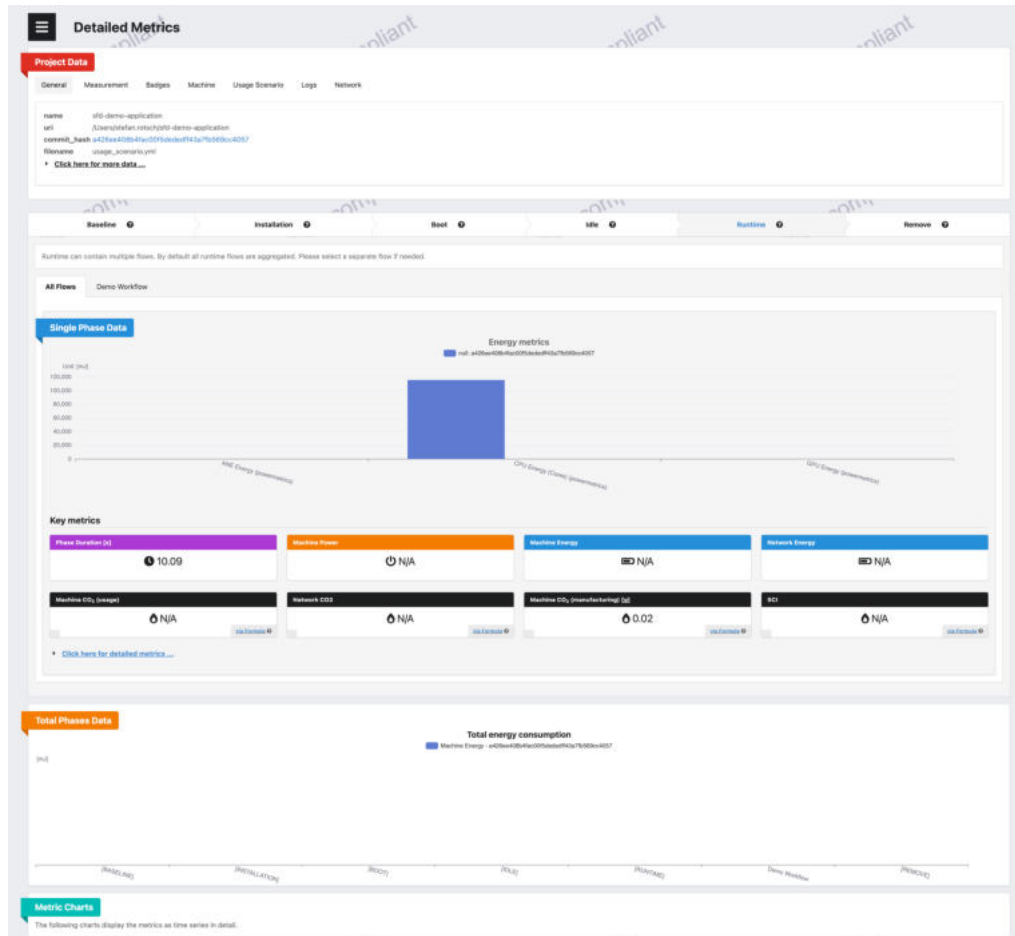
```
name: SFD Demo Application
author: Stefan Rotsch <stefan.rotsch@aoe.com>
description: Generic container performing a workload simulation

services:
  sfd-demo-container:
    image: alpine
    setup-commands:
      - apk add stress-ng

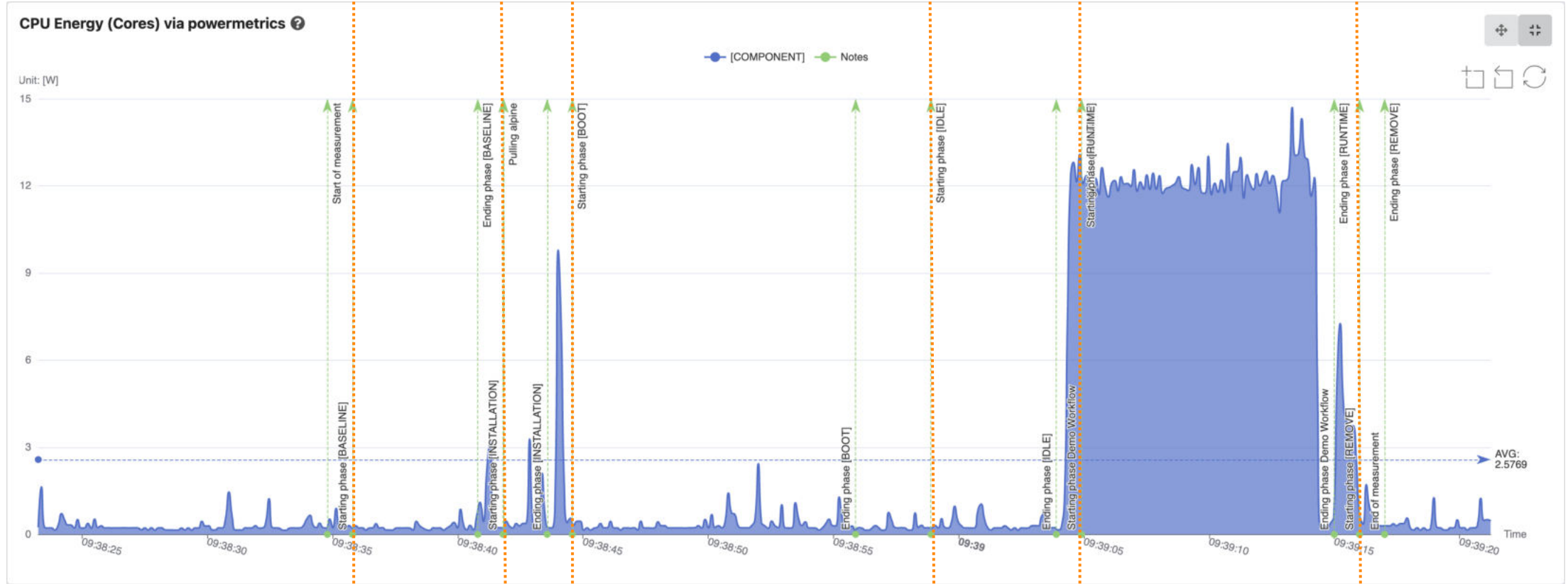
flow:
  - name: Demo Workflow
    container: sfd-demo-container
    commands:
      - type: console
        command: stress-ng --cpu 4 --timeout 10 --quiet
```

Demo

Messergebnisse Beispielapplikation



CPU-Energieverbrauch im Detail



Baseline

Installation

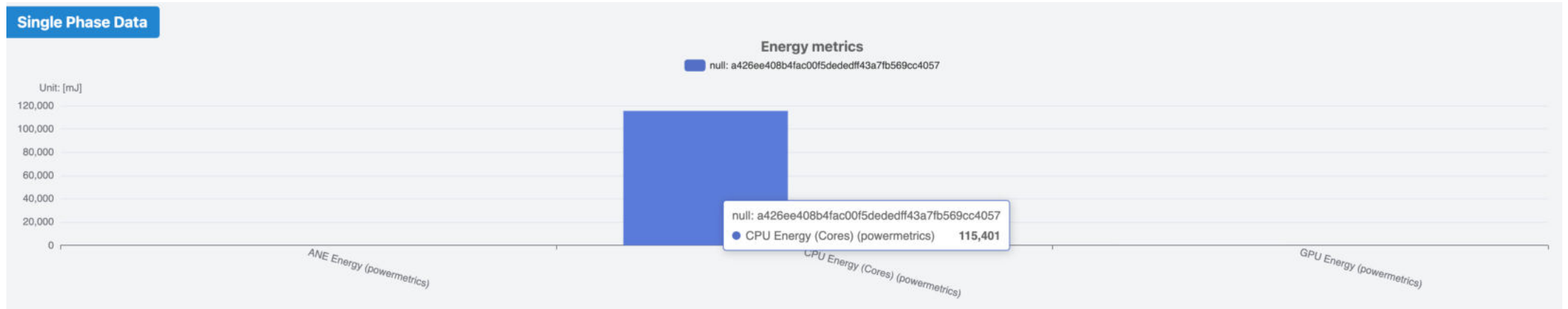
Boot

Idle

Runtime

Remove

Energiebedarf des Containers



CPU Energy (Cores)

115,401 J

1 Joule = 1 Ws

$$115,401 \text{ J} / 3.600 = 0,032 \text{ Wh}$$

*1 Ws / (60*60) = 0,0003 Wh*

Pro/Contra Green Metrics Tool

Pro

Container-basiert

Out-of-the-Box nutzbar

Grafische Aufbereitung der Ergebnisse

Contra

Erfordert Host-/Betriebssystemzugriff

Workload muss simuliert werden

Kein Echtzeit-Monitoring

*Ausgangspunkt für weitere
Forschung + Entwicklung*

Zusammenfassung

The original Website Carbon calculator

Estimate your web page carbon footprint:

Your web page address

By using this carbon calculator, you agree to the information that you submit being stored and published in our public database.

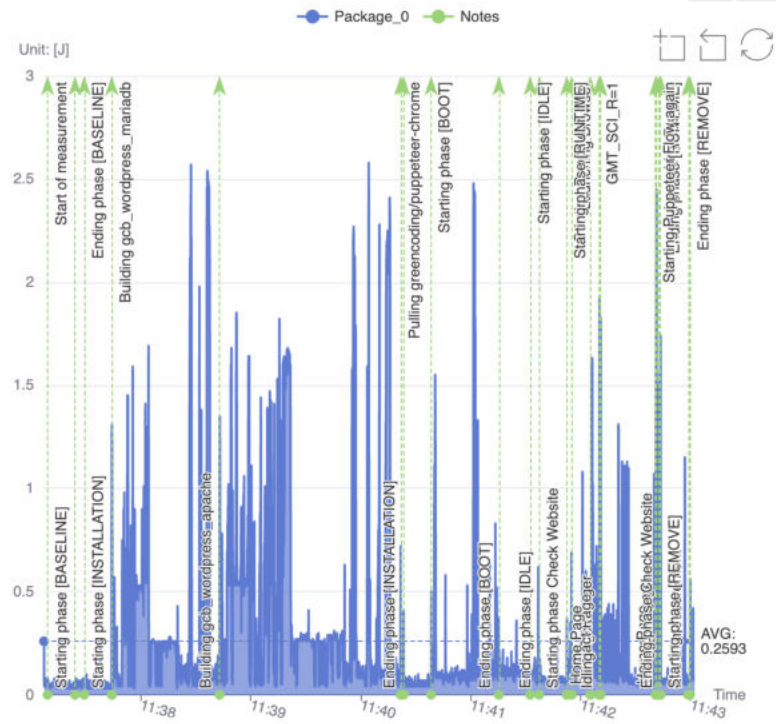
Vergleichbarkeit von Webseiten



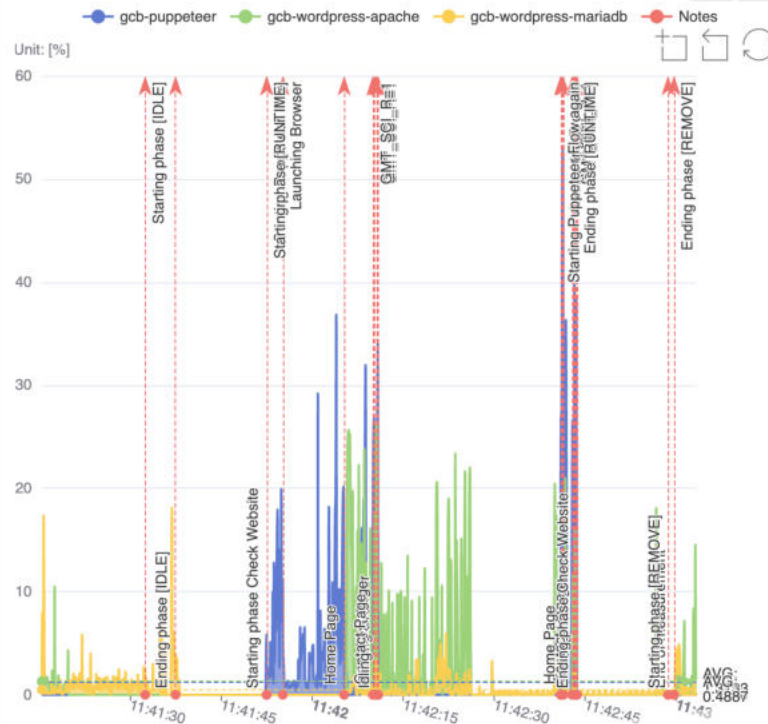
Metric Charts

The following charts display the metrics as time series in detail.

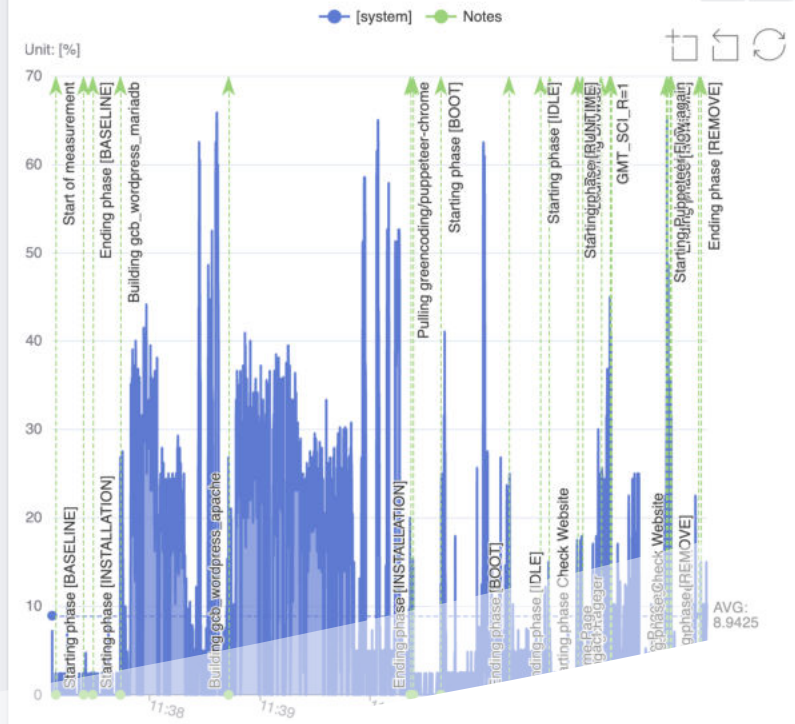
CPU Energy (Package) via RAPL



CPU % via cgroup



CPU % via procs



Energiebedarf von Applikationen



Fragen? Fragen!

Stefan Rotsch, Senior Solution Architect
stefan.rotsch@aoe.com



Externe Bildquellen

- 1 | <https://unsplash.com/photos/qjnAnF0jIGk>
- 9 | <https://unsplash.com/photos/w7ZyuGYNpRQ>
- 20 | <https://wohnen-heimwerken.de/custom/heimwerken/images/energieverbrauch-messen-energiemessgeraet.webp>
- 33 | https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thank_You_-_3768979925.jpg

Weiterführende Links

- 4 | <https://iso25000.com/index.php/en/iso-25000-standards/iso-25010>
- 7 | <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12630>
- 8 | <https://app.electricitymaps.com/zone/DE>
- 11 | <https://www.acb.studio/de/insights/digitale-nachhaltigkeit-in-der-bundesliga>
- 15 | <https://www.websitecarbon.com/website/svww-de>
<https://www.similarweb.com/website/svww.de/#overview>
- 18 | <https://www.websitecarbon.com/website/amazon-de>
<https://www.websitecarbon.com/website/otto-de>
- 22 | <https://docs.green-coding.berlin/docs/prologue/philosophy-methodology>
- 23 | <https://docs.green-coding.berlin/docs/prologue/measurement-process>
- 24 | <https://github.com/green-coding-berlin/example-applications/tree/main/stress>
- 28 | <https://www.green-coding.berlin/co2-formulas>