

Umweltbelastung von Moderner Mobilkommunikation

Spezielle Themen Mobiler Kommunikationssysteme

Andreas Nicklaus

andreasnicklaus.github.io/mobcom-energy



Worum geht's heute?

1. Was ist Umweltbelastung?
2. Wie stark ist der Einfluss von Mobilkommunikation auf den nat. Stromverbrauch?
3. Wo kommt der Energieverbrauch her?
4. Wie kann eingespart werden?



1. Was ist Umweltbelastung?



Anwendbar: 10 von 27 Umweltindikatoren

| Klima und Energie | Umwelt und Gesundheit | Ressourcen und Effizienz |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Kohlendioxidemissionen | Luftqualität | Verwertungsquote |
| Energieverbrauch | Lärmbelastung | Ressourcenproduktivität |
| Erneuerbare Energien | | Siedlungs- und Verkehrsfläche |
| | | Flächenverbrauch |
| | | Altlasten |

Vernachlässigbare Umweltindikatoren

- Kohlendioxidemissionen
- Luftqualität
- Lärmbelastung
- Siedlungs- und Verkehrsfläche
- Flächenverbrauch
- Altlasten





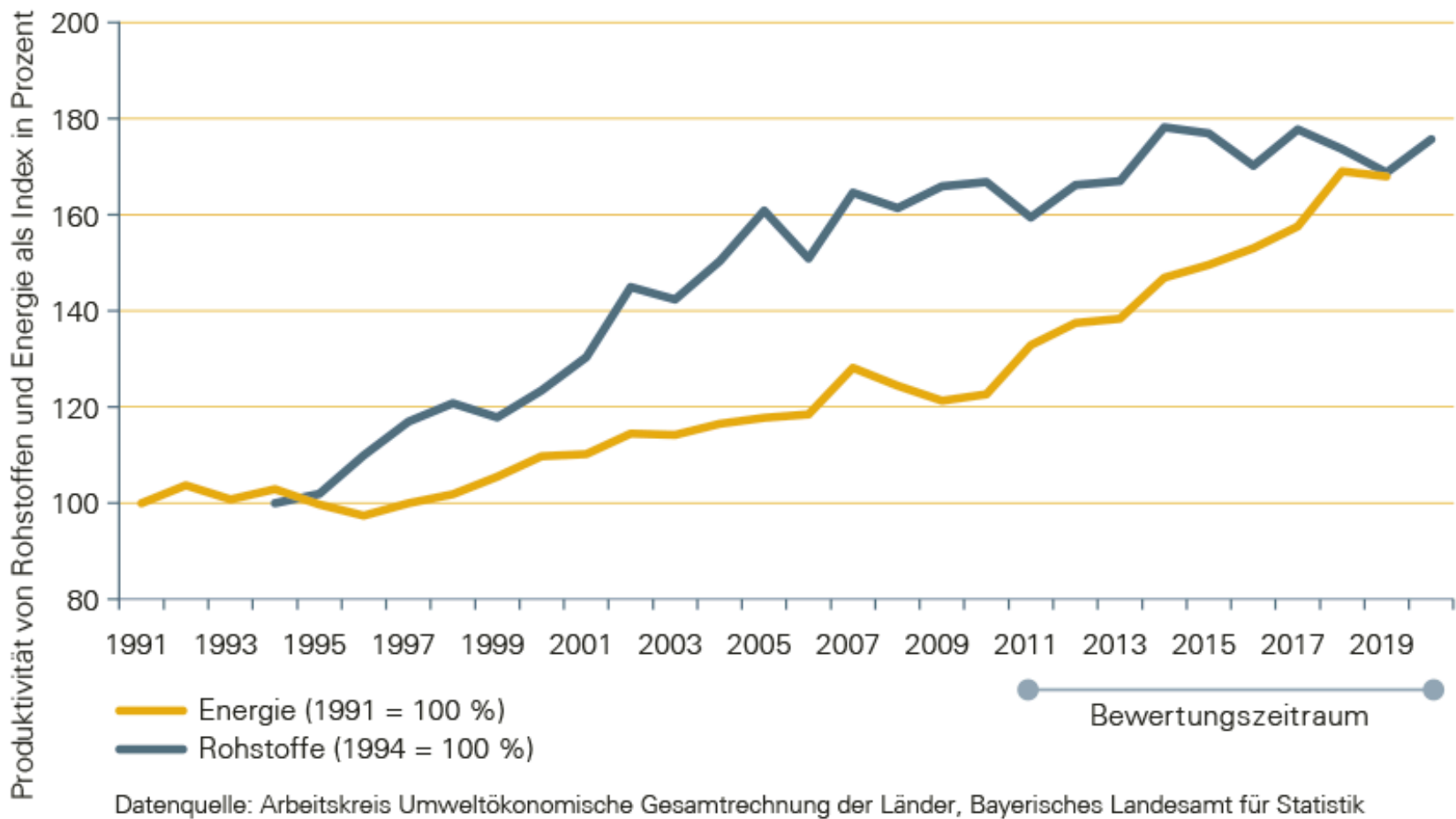
Für den Betrieb einer
Funkstation auf dem Dach
werden etwa **10 m²**
Technikstellfläche, für einen
Mast ungefähr **150 m²**
Grundfläche bzw.
Technikstellfläche benötigt.

Relevante Umweltindikatoren

- Energieverbrauch
- Erneuerbare Energien
- Verwertungsquote
- Ressourcenproduktivität



Ressourcenproduktivität seit 1991



Batterien in gNB Base Stations

Verwertungsquote und Ressourcenproduktivität

- Lithium-Ionen Batterien
- Lebenszeit:
 - von 2-3 Jahren (max. 10) oder
 - 500-1000 Ladungen (max. 6000)
- Wiederverwendung:
 - Nach 20-30% Kapazitätsverlust
 - Wiederaufbereitung oder Repurposing
 - 40% der Produktionskosten bei Wiederaufbereitung

Beispiel: [PYLONTECH LiFePO4 Speicher 48V - 3,5kWh - US3000 C](#)



Leistungsdichte aktueller Batterien

| | Lithium-Eisenphosphat-Batterien | Lithium-Schwefel-Batterien | Natrium-Ionen-Batterien |
|-------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Wh/kg | 200-300 | 300 | 140-160 |
| Wh/l | 600-750 | 450 | 250-300 |

Stromverbrauch von gNB Base Stations

Energieverbrauch und Erneuerbare Energien

- 240/400-Volt-Stromanschluss (3 kW)
- 14 200 Standorte mit > 43 000 Antennen **NICHT RICHTIG! 41945 Standorte (2022)**
- >50% der Mobilfunkstationen haben 5G-Technologien

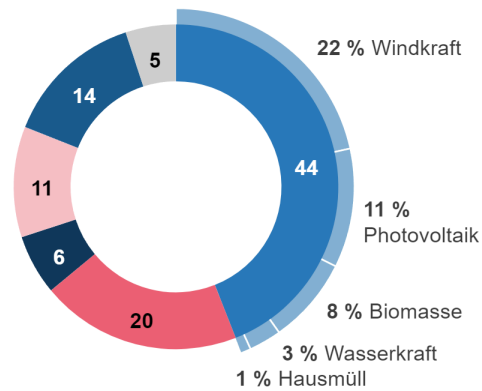
$$\rightarrow 50\% * 14200 \text{ Standorte} * 3 \frac{\text{kW}}{\text{Standort}} = 21,3 \text{ MW}$$

$$\rightarrow 650 \frac{\text{Wh}}{\text{l}} / 3 \text{ kW} = 13 \frac{\text{min}}{\text{l}}; \quad 250 \frac{\text{Wh}}{\text{k}} / 3 \text{ kW} = 5 \frac{\text{min}}{\text{kg}}$$

Erneuerbare Stromerzeugung in Deutschland

Bruttostromerzeugung 2022

in %, insgesamt 571 Mrd. kWh



Erneuerbare Energien Braunkohle Kernenergie Steinkohle Erdgas
Sonstige

Vorläufige Angaben
Quelle: AGEE-Stat und AGEB

© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2023

Veraltet! Bruttostromerzeugung im 3. Quartal 2023

2. Wie stark ist der Einfluss von Mobilkommunikation auf den nat. Stromverbrauch?

- Mobilfunkabdeckung von 89% im Juli 2023
- 14200 Standorte mit mehr als 43000 Antennen
- Jeder Standort á 3kW -> 42,6 MW -> ca. 373 GWh pro Jahr
- von zwischen ca. 500 und 552 TWh Stromverbrauch in DE in 2022
- rund 510 TWh inländisch erzeugt in Deutschland
- bis 2030 sollen 80% erneuerbare Energie sein, insb. Windkraft

Stromverbrauch zusammengefasst

- bei Betrieb dauerhaft 42,6 MW in Deutschland
- 13 Minuten / Liter verkraftbarer Stromausfall
- ca. **0,071% des Gesamtverbrauchs** in Deutschland gehen auf Basis Stationen zurück



Was heißt das für uns?



Hier fehlen verlässliche Zahlen der Branche, Energieverbrauch des User Equipments und

Effizienzrechnung $\frac{\text{Transmit Power}}{\text{Power Consumption}}$

3. Wo kommt der Energieverbrauch her?

Teile einer Base Station (4G):

1. Antennensystem
2. RRU (Remote Radio Unit)
3. BBU (Baseband Unit)
4. Physical support (Stromversorgungssystem, Backup-Batterien, Transmittion Equipment, Air Conditioning)

In 5G: RRU und Antennensysteme sind Active Antenna Units (AAU) und BBUs sind Centralized Units (CU) und Distributed (DU).

Energieverbrauch pro Bauteil (circa)

| | volle Leistung | Idle | Deep Sleep |
|----------------------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| Active Antenna Units (AAU) | 1130-1180W | 635-665W | 150-200W |
| Baseband Units (BBU) | 295-325W | 295-320W | 295-320W |
| Air Conditioning | 1740W | 1740W | 1740W |

| Table 2 Actual Energy Consumption of Main 5G Equipment statistic in 2020 | | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Traffic Load | Vendor A | | Vendor B | |
| | Average Power Consumption of AAU (W) | Average Power Consumption of BBU (W) | Average Power Consumption of AAU (W) | Average Power Consumption of BBU (W) |
| 100% | 1130 | 295 | 1180 | 325 |
| 50% | 895 | 295 | 960 | 325 |
| 30% | 765 | 295 | 860 | 320 |
| 20% | 735 | 295 | 800 | 320 |
| 10% | 700 | 295 | 740 | 320 |
| Idle | 635 | 295 | 665 | 320 |
| Deep sleep | 150 | 295 | 200 | 320 |

4. Wie kann eingespart werden?

1. Giga-MIMO
2. NR-Light
3. Lower Transmit Power for IoT devices (Reduced Capability NR)
4. Sidelink enhancements
5. Sleep Modes



Giga MIMO

- Vergrößerte Kapazität
 - Verbesselter Throughput
 - Längere Batterielebenszeit
-

pot. weitere Verbesserungen in 6G



NR-Light

- Geringere Kapazität
- Geringere Komplexität (150Mbps DL / 50 Mbps UL, 13-30ms latency)
- Geringerer Stromverbrauch

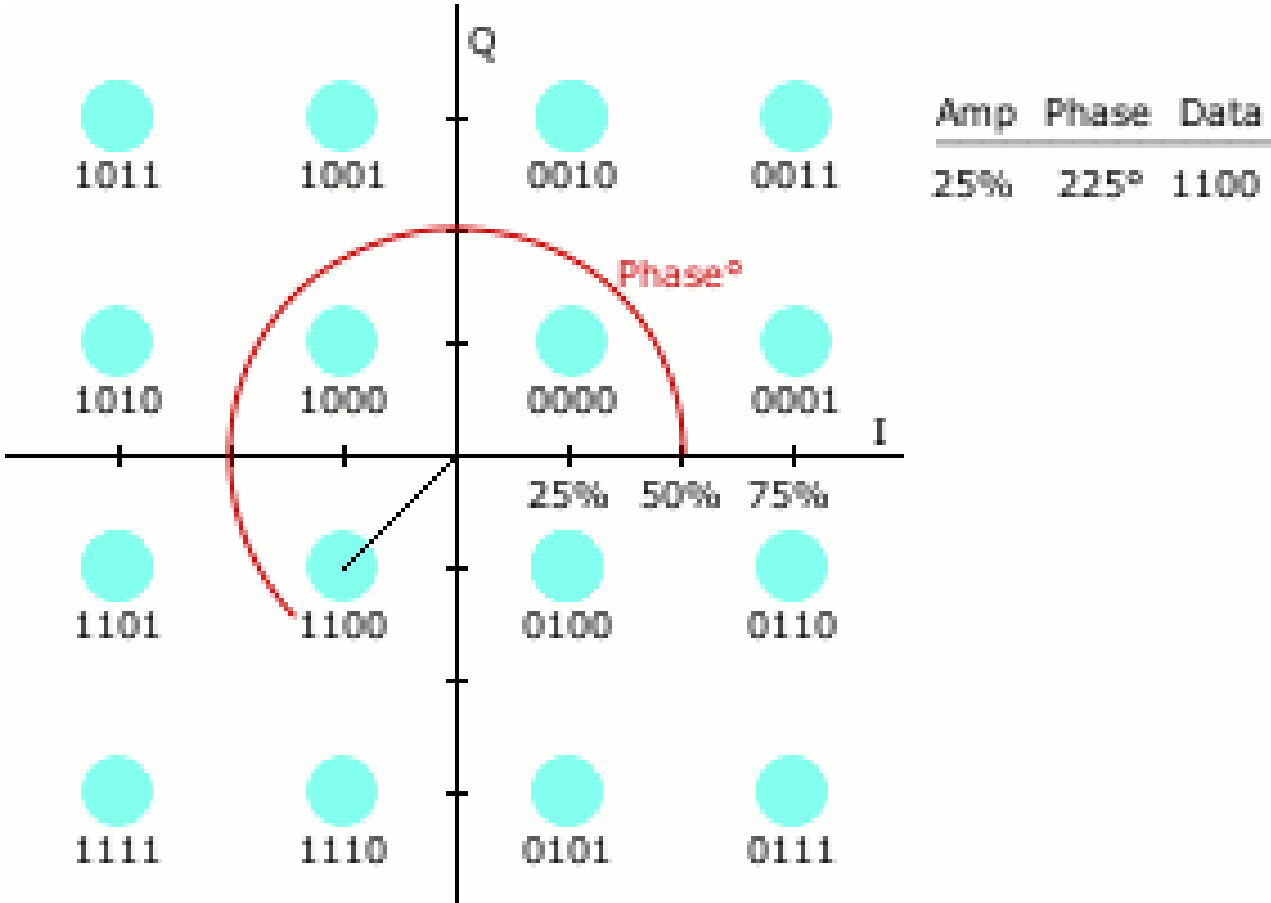
Reduced Capability (RedCap) NR

 center

Reduced Capability (RedCap) NR

 center

Reduced Capability (RedCap) NR



Quadrature amplitude modulation



Reduced Capability (RedCap) NR

- Geringere Bandbreite (20-100 MHz)
- Geringere Anzahl an Receive Antennen
- Kleinere Konstellationsmatrizen für Modulierung
- Optionaler Duplex

NR Sidelink

- basiert auf LTE Sidelink
- Device-to-Device (D2D) Kommunikation
- Distributed Networking - "Distributed Base Stations"



Verbesserungen durch NR Sidelink

- Erhöhte (Sidelink-)Reichweite
- Vergrößerte Kapazität
- Data Offload

Sleep Modes

| Power state | Relative power P [arbitrary units] | Total transition time T [ms] |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Deep sleep | 1 | 50 |
| Light sleep | 25 | 6 |
| Microsleep | 55 | 0 |
| Active DL | 280 | N.A. |
| Active UL | 110 | N.A. |

Sleep Modes

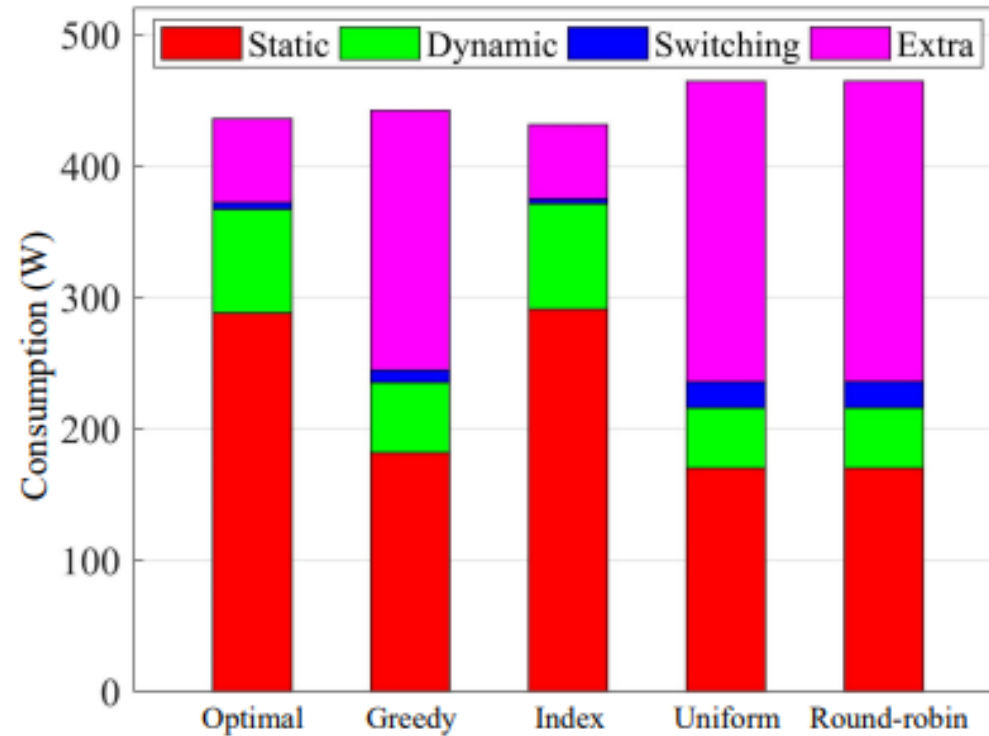


Figure 12: The compositions of the power consumption for different policies, where $M = 4$, $\mathcal{P}_{\text{switch}} = 20\text{W}$, $K = 2$, $\Pr(\Lambda) = \{2/3, 0, 0, 1/3\}$, and $f(x) = x$.

Täglicher Traffic

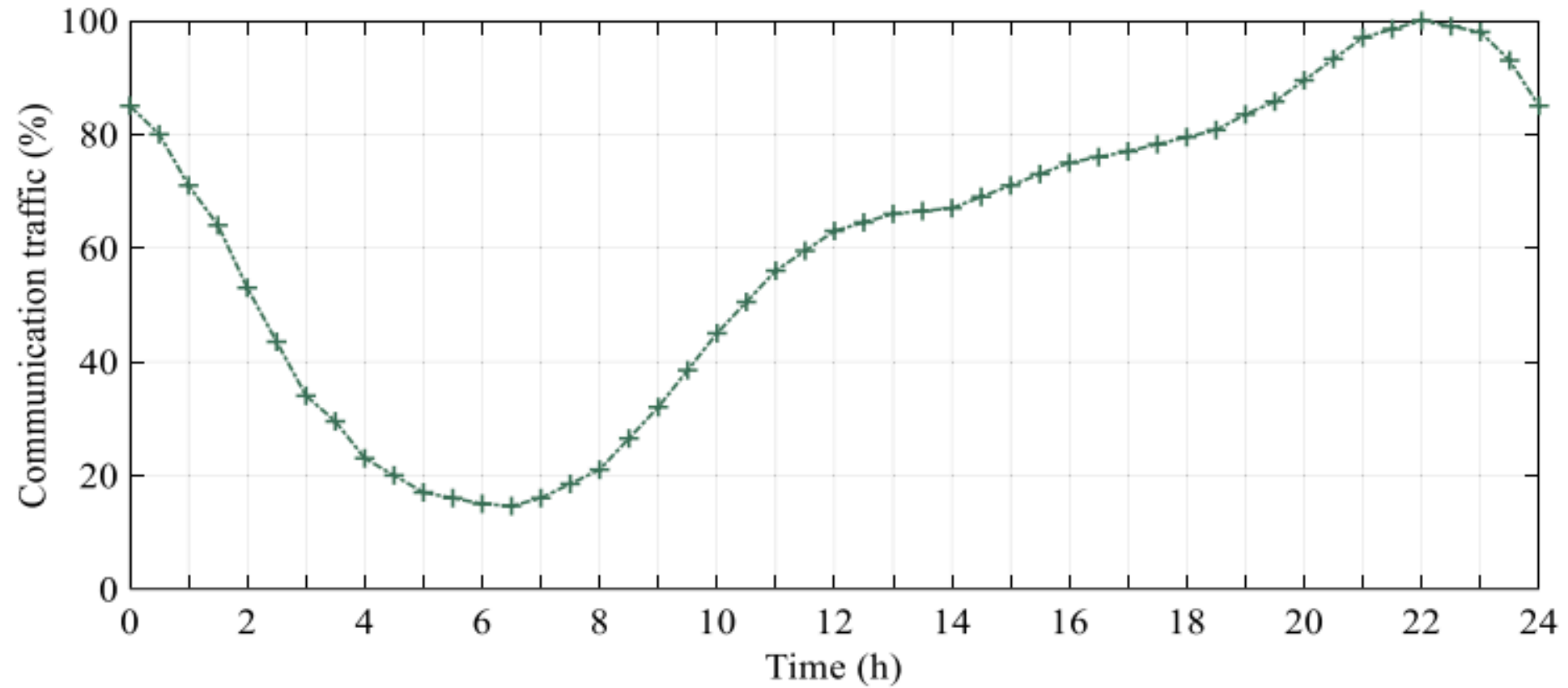


Fig. 1. Communication traffic in a heterogeneous cellular network.

Sleep Modes

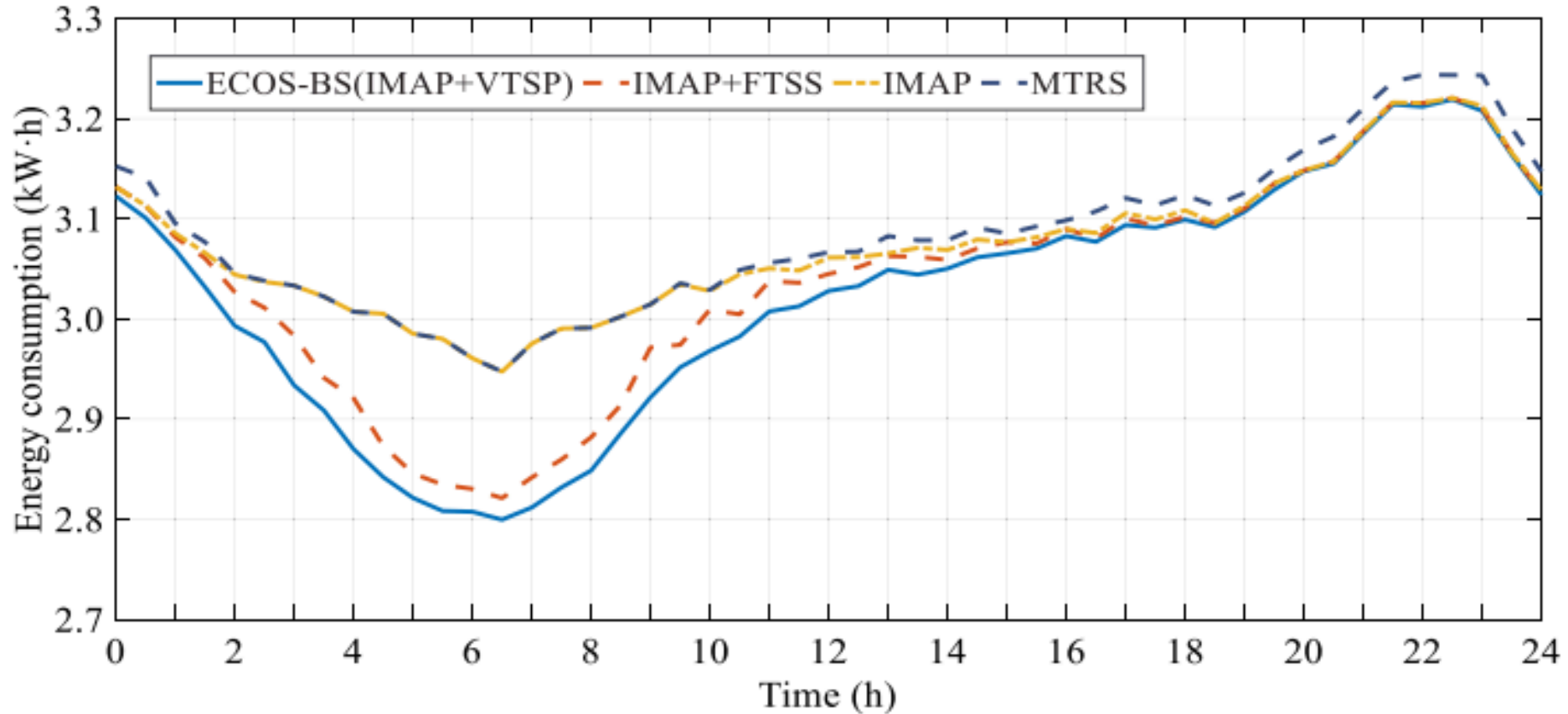


Fig. 5. The energy consumption of the BSs under different strategies in the 5G HCN.

NOCH FRAGEN?



makeameme.org



Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Bedeutung |
|-----------|---|
| NR | New Radio (5G) |
| FDD | Frequency Division Duplex |
| TDD | Time Division Duplex |
| ECOS | Energy Consumption Optimization of 5G BSs |
| IMAP | Initial Matching Association Process |
| FTSS | Fixed threshold sleep strategy |
| MTRS | Maximum transmission rate user association strategy |
| QAM | Quadrature amplitude modulation |

Literaturverzeichnis (1/2)

- [1] "Alle Umweltindikatoren auf einen Blick", Bayerisches Landesamt für Umwelt, https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/liste_indikatoren/index.htm
- [2] "Mobilfunkausbau unterstützen - Antennenstandort anbieten", Deutsche Funkturm, <https://www.dfm.de/de/ihr-standortangebot-an-uns/anmietung-von-flaechen.html>
- [3] "Ressourcenproduktivität", Bayerisches Landesamt für Umwelt, https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/ressourcen_effizienz/ressourcenproduktivitaet/index.htm
- [4] "How Long Do Lithium-Ion Batteries Last?", Li Time, 8.5.2023, <https://www.litime.com/blogs/blogs/how-long-do-lithium-ion-batteries-last>
- [5] Toward Sustainable Reuse of Retired Lithium-ion Batteries from Electric Vehicles, Conservation and Recycling, Volume 168, 2021, Yang et al.
- [6] "Muss es Lithium sein?", c't 2023, Heft 26, Heise Medien, ISSN 0724-8679
- [7] "Ausbau des 5G-Netzes schreitet weiter voran. 5G jetzt für 90% der Bevölkerung", Newsroom Vodafone, 20.08.2023, <https://newsroom.vodafone.de/netz/mobilfunk-netzausbau-5g-netz-fur-90-prozent-der-bevolkerung>
- [8] Statista. Anzahl der 5G-Basisstationen in Deutschland in den Jahren 2019 bis 2022, Januar 2024 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1237437/umfrage/anzahl-der-5g-basisstationen-in-deutschland/>

Literaturverzeichnis (2/2)

- [9] "Bruttostromerzeugung 2022", Statistisches Bundesamt (Destatis), https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/_Grafik/_Interaktiv/bruttostromerzeugung-erneuerbare-energien.html
- [10] "What is Base Station?", IPLOOK, 2023, <https://www.iplook.com/info/what-is-base-station-i00169i1.html>
- [11] "Remake Green 5G, Mobile Innovation for Climate Action", China Telecom and ZTE, https://www.zte.com.cn/content/dam/zte-site/res-www-zte-com-cn/white_paper/Remake_Green_5G.pdf
- [12] "What is reduced capability (RedCap) NR and what will it achieve?", Ericsson, 11.02.2021, <https://www.ericsson.com/en/blog/2021/2/reduced-cap-nr>
- [13] "How will sidelink bring a new level of 5G versatility?", Qualcomm, 08.09.2022, <https://www.qualcomm.com/news/onq/2022/09/how-will-sidelink-bring-a-new-level-of-5g-versatility>
- [14] Dynamic gNodeB Sleep Control for Energy-Conserving 5G Radio Access Network; Pengfei Shen et al., 13.07.2022
- [15] Energy consumption optimization of 5G base stations considering variable threshold sleep mechanism; August 2023; Xiaoyan Ma et al.; Science Direct, Volume 9, Supplement 6
- [16] 3GPP Release 17: Completing the first phase of the 5G evolution. Technical report, Qualcomm, March 2022

Presenter



Andreas Nicklaus



@andreasnicklaus



andreasnicklaus



andreasnicklaus.de