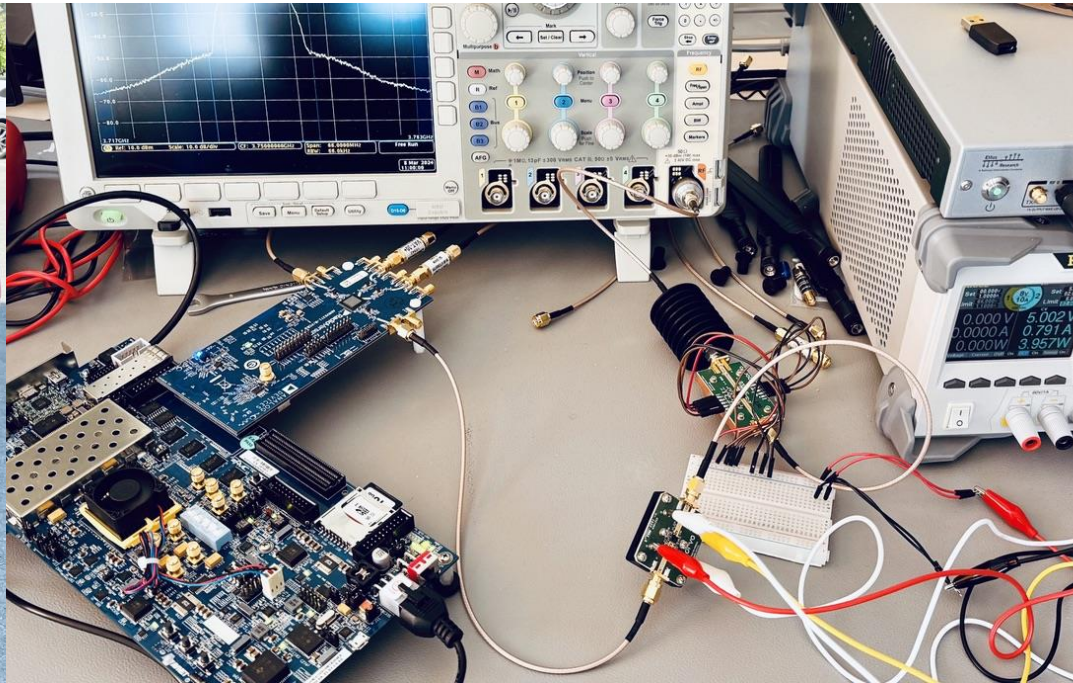


Wird 6G Open Source?

Wie wir Mobilfunktechnologie wieder selbst gestalten



Prof. Dr. Stefan Valentin
6GLab, Hochschule Darmstadt
20.11.2025

Einleitung

- Mobilfunk hat unser Leben verändert:
 - Seit 2016: Hat jeder Mensch (rechnerisch) mindestens 1 Handy*
 - 2023/24: In DE ca. 1,4 aktive Endgeräte pro Einwohner**
- Mobilfunknetze in DE:
 - Seit 90ern Massentechnologie (2G/GSM)
 - Ca. 222.500 Basisstationen (5G: 56.500)**
 - Derzeit: 5G Ausbau, Vorbereitung auf 6G
- Diese Infrastruktur hängt stark von chinesischen Netzausrüstern ab!

*Cisco, "Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016-2021", White Paper, Feb. 2017.

**BNetzA, Stand: Ende 2023/Anfang 2024



Wie verringern wir diese technologische **Abhängigkeit**?

(Ohne neue strategische Abhängigkeiten einzugehen)

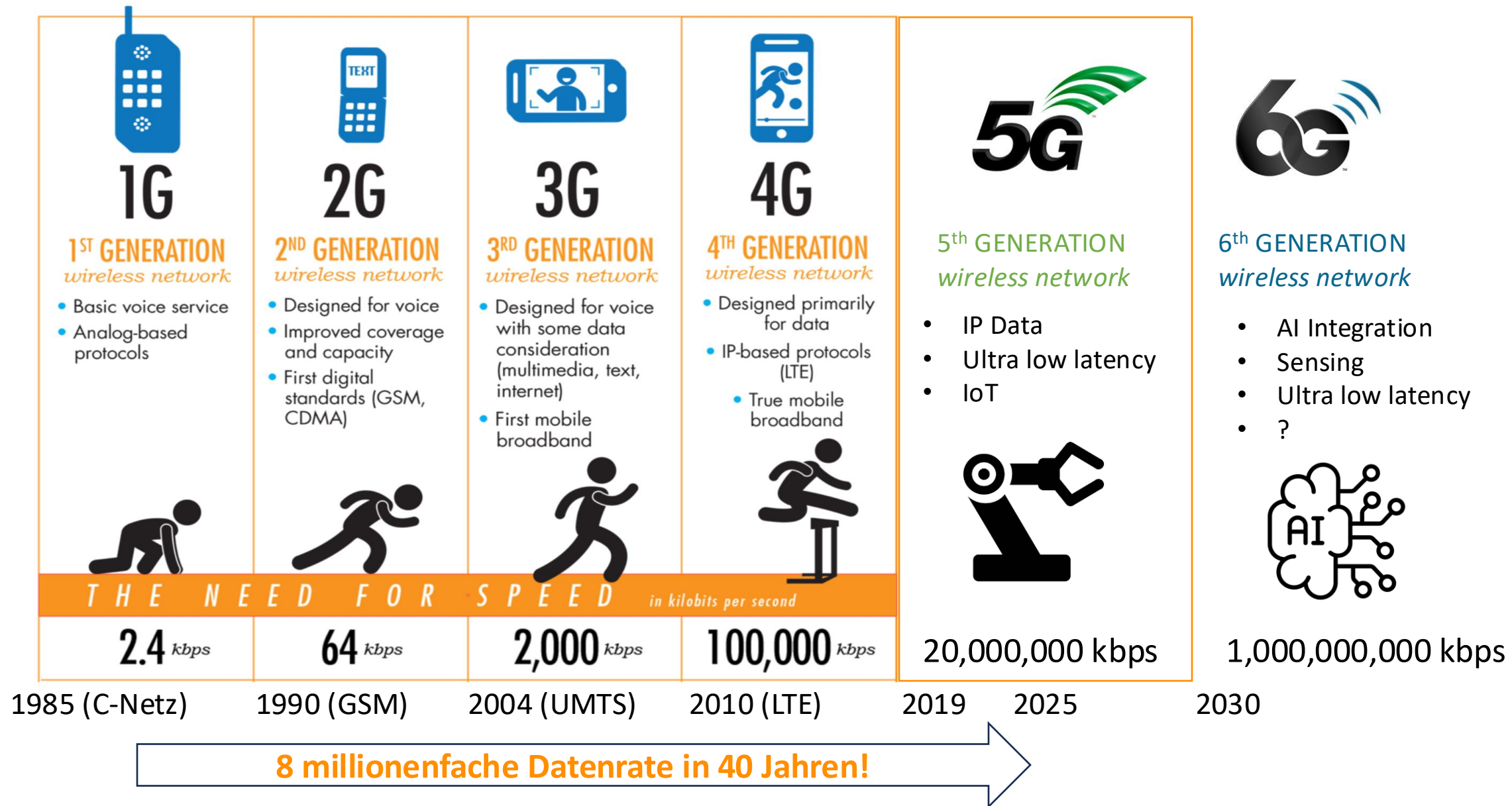
Welche neuen **Technologien** können wir dafür nutzen?

Was bedeutet dies für die **Sicherheit** unserer Netze?

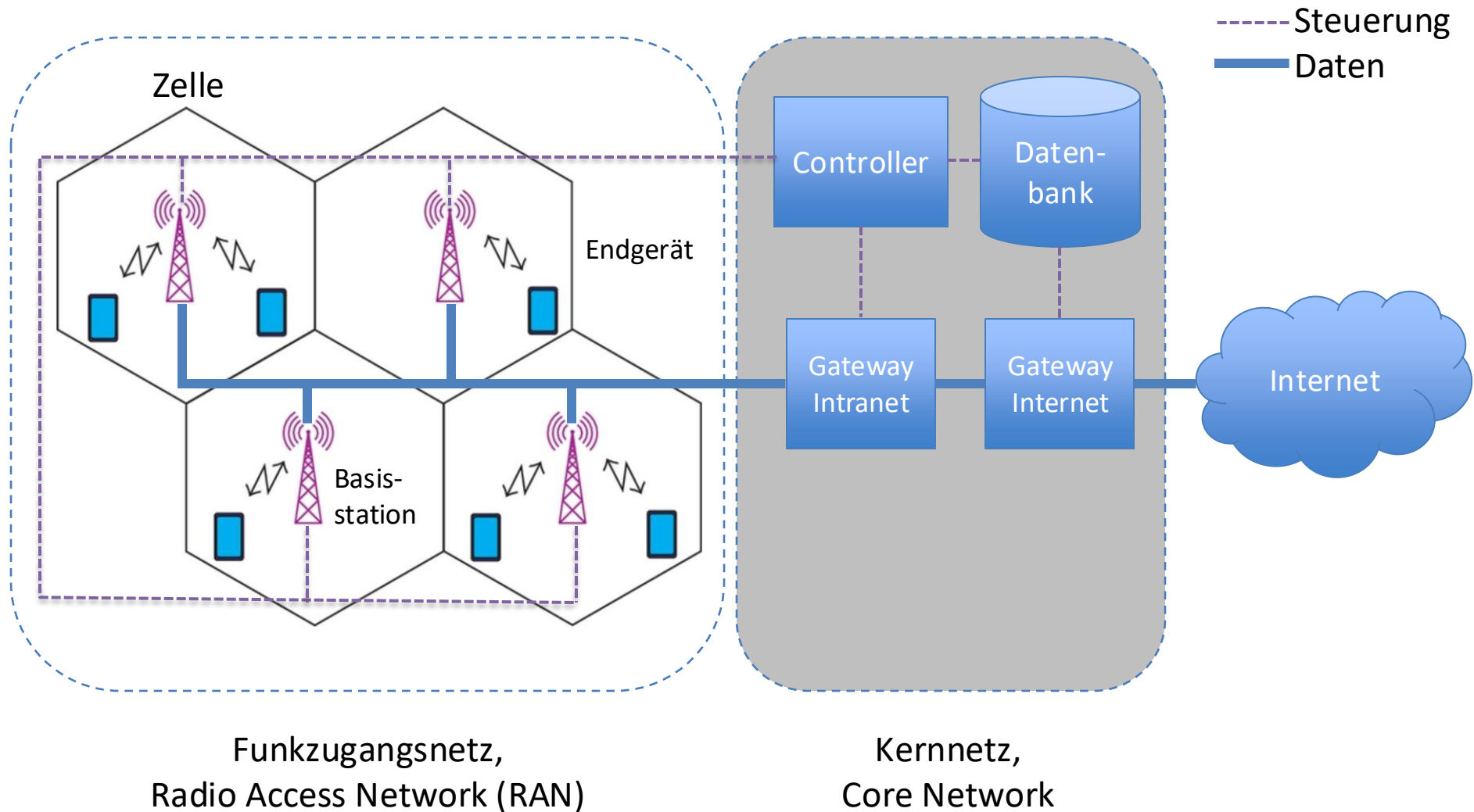
Gliederung

- **Was ist ein Mobilfunknetz?**
- Huawei, ZTE & Co. – Die Abhängigkeitsfalle
- Virtuelle Netze – Eine technologische Revolution
- Quelloffene Netze – Ein Ausweg für 6G?
- Fazit & Ausblick

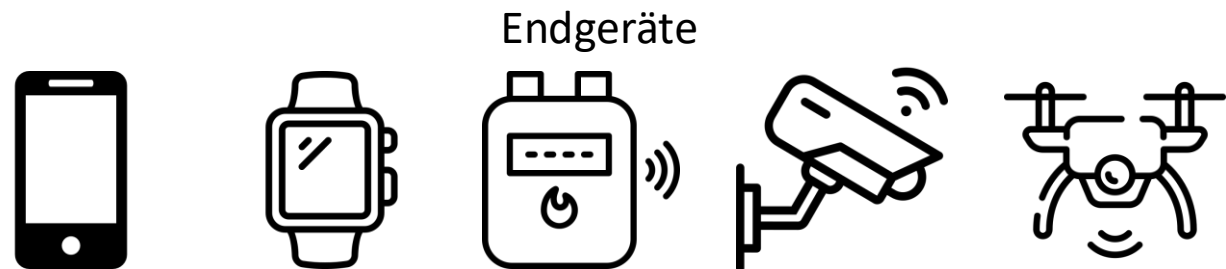
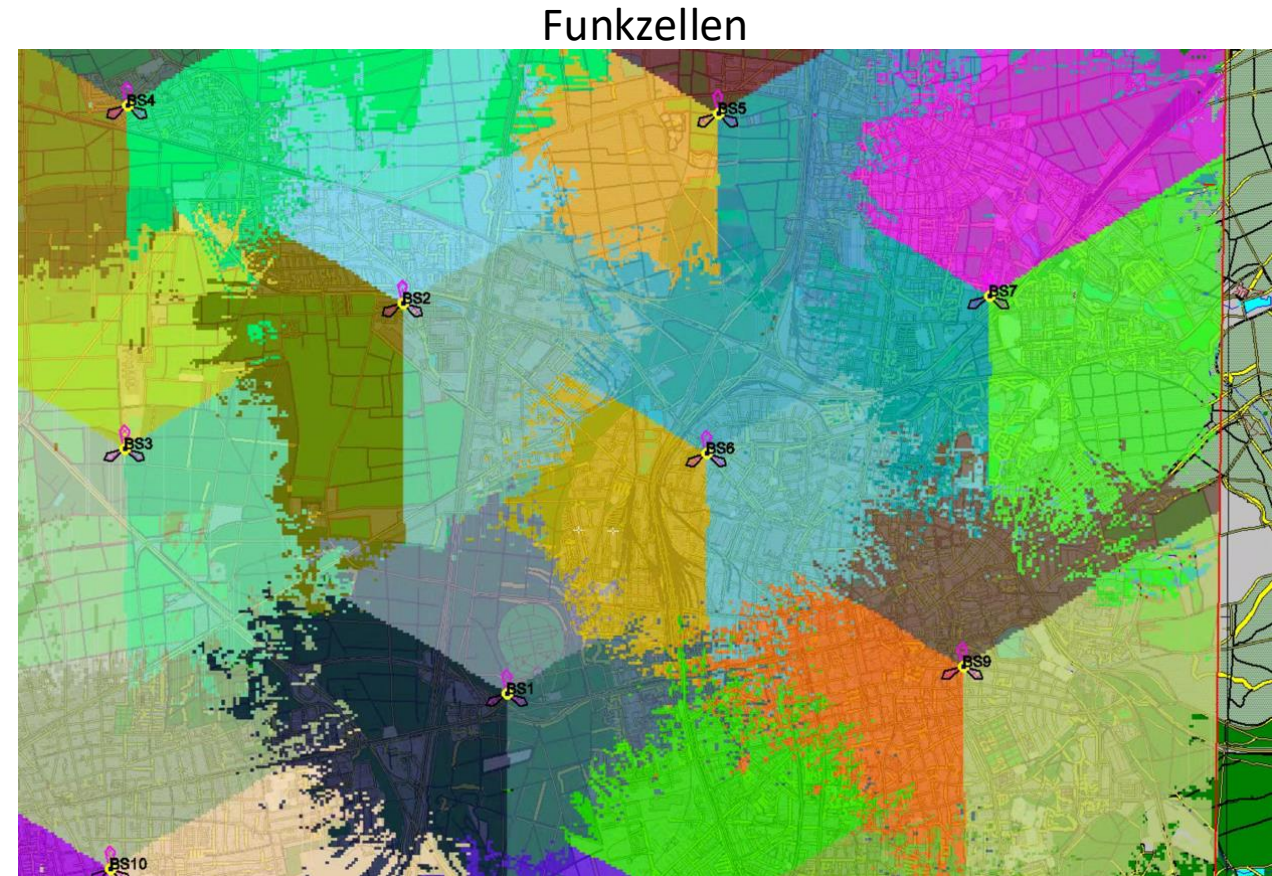
Mobilfunktechnologie: 40 Jahre Evolution



Was ist ein Mobilfunknetz?



Wie sieht ein Funkzugangsnetz aus?



Gliederung

- Was ist ein Mobilfunknetz?
- **Huawei, ZTE & Co. – Die Abhängigkeitsfalle**
- Virtuelle Netze – Eine technologische Revolution
- Quelloffene Netze – Ein Ausweg für 6G?
- Fazit & Ausblick

Wie abhängig sind die Netzbetreiber von chinesischen Ausrüstern?

- Europäische Ausrüster (Nokia, Ericsson) wurden seit 2010 von chinesischen Ausrüstern (Huawei, ZTE) verdrängt
 - Betrifft 4G und 5G
- Expertenschätzung*:

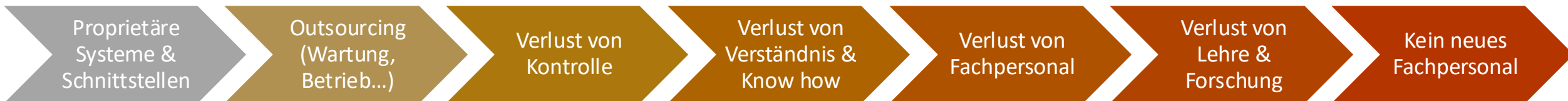
Netzbetreiber	Funkzugangsnetz (RAN)	Kernnetz (Core)
Deutsche Telekom	55-65% (Huawei)	<10% (Rest: Ericsson, Cisco)
Vodafone	50-60% (Huawei, ZTE)	<5% (Rest: Ericsson)
Telefónica O2	60-70% (Huawei, ZTE)	0% (Nur Ericsson, Nokia)

*Stand 2024/25, exakte Zahlen sind Geschäftsgeheimnisse

Wie problematisch ist diese Abhängigkeit?

- Es gibt kein „smoking gun“: Keinen öffentlichen Beweis für Hintertüren
- Chinesischer Geheimdienst hat (gesetzlich garantierten) Zugriff auf Hintertüren und legale Überwachungsschnittstellen (lawful interception)
- Monopolistische Methoden (z.B. Dumping, Herstellerbindung) erhöhen die Abhängigkeit

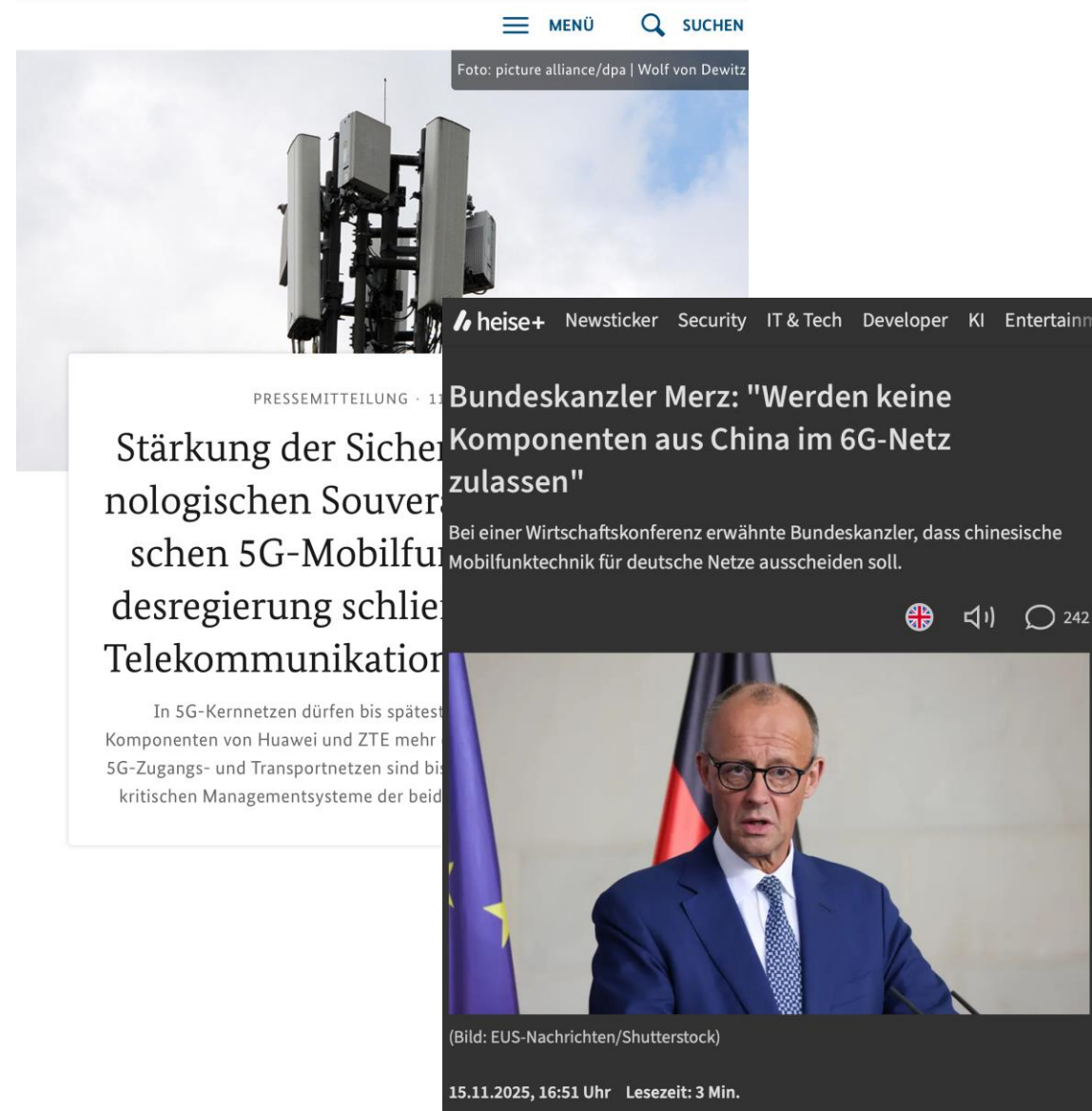
• Die Abhängigkeitsfalle:



Technologische Abhängigkeit ist eine Einbahnstraße!

Maßnahmen

- Einschätzung der Bundesbehörden:
Das Risiko ist zu hoch!
 - 4G ist essentiell und 5G ist kritische Infrastruktur
- Regulatorische Maßnahmen:
 - 2021: [IT-Sicherheitsgesetz 2.0](#) verlangt Zertifizierung von Netzkomponenten durch BSI
 - Jul. 2024: [BfTI einigt sich mit Netzbetreibern](#) auf Zeitplan
 - Okt. 2025: BNetzA verschärft [Sicherheitskatalog](#) (Entwurf), insb. für 5G-Netze
- Technische Maßnahmen:
 - Netzbetreiber: Entfernung von Huawei-Komponenten aus dem Kernnetz
 - **Funkzugangsnetz bleibt problematisch!**



heise+ Newsticker Security IT & Tech Developer KI Entertainment

Foto: picture alliance/dpa | Wolf von Dewitz

PRESEMITTEILUNG · 15.11.2025

Stärkung der Sicherheits- und technologischen Souveränität durch die Bundesregierung

Stärkung der Sicherheits- und technologischen Souveränität durch die Bundesregierung

Bei einer Wirtschaftskonferenz erwähnte Bundeskanzler, dass chinesische Mobilfunktechnik für deutsche Netze ausscheiden soll.

In 5G-Kernnetzen dürfen bis spätestens Ende 2025 Komponenten von Huawei und ZTE mehrheitlich aus dem Netz entfernt werden. In 5G-Zugangs- und Transportnetzen sind bis Ende 2025 kritischen Managementsysteme der beiden Hersteller zu entfernen.

(Bild: EUS-Nachrichten/Shutterstock)

15.11.2025, 16:51 Uhr Lesezeit: 3 Min.

<https://www.heise.de/news/Bundeskanzler-Merz-Werden-keine-Komponenten-aus-China-im-6G-Netz-zulassen-11079939.html>

Gliederung

- Was ist ein Mobilfunknetz?
- Huawei, ZTE & Co. – Die Abhängigkeitsfalle
- **Virtuelle Netze – Eine technologische Revolution**
- Quelloffene Netze – Ein Ausweg für 6G?
- Fazit & Ausblick

Wie verringern wir diese technologische **Abhängigkeit**?

(Ohne neue strategische Abhängigkeiten einzugehen)

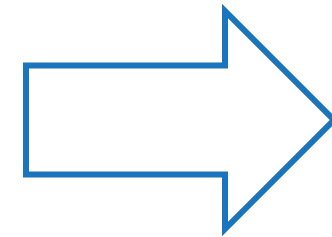
Welche neuen **Technologien** können wir dafür nutzen?

Ausweg: Technologie ändern! (die Karten neu mischen)



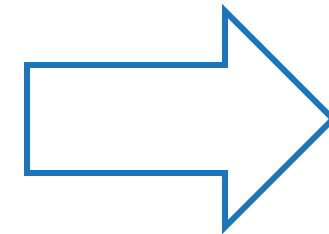
1. Schritt: *Softwarisiere* die Basisstation

- Implementiere so viele Funktionen wie möglich in Software auf einem generischen Computer, möglich für alles Digitale
- Minimiere Anteil spezifischer Chips (ASICs), nötig für alles Analoge



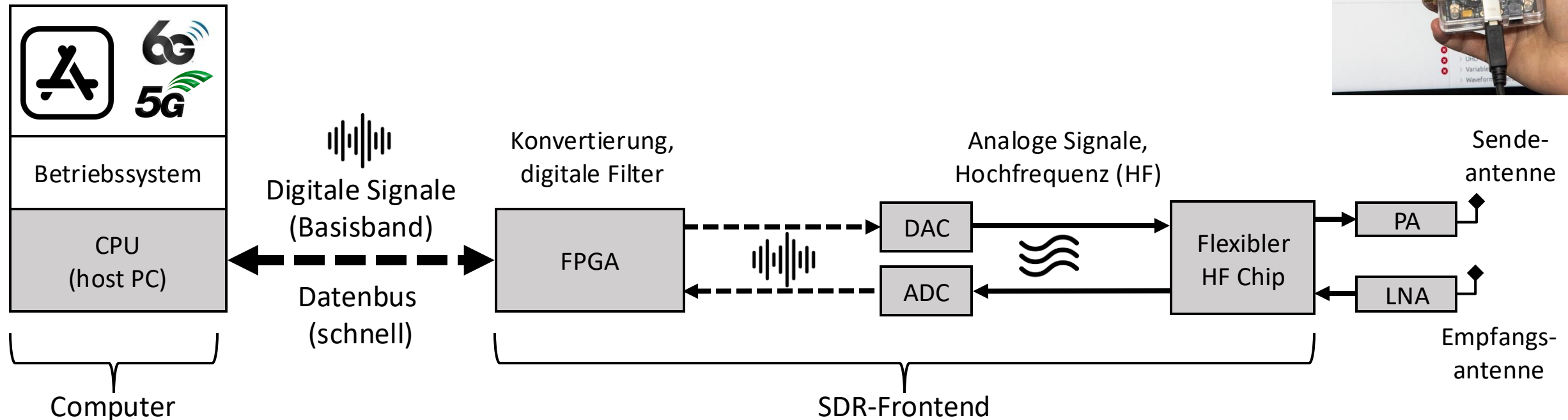
2. Schritt: Mache aus der Basisstations-Software ein Open-Source Projekt

- Code offen, frei nutzbar, Beiträge von jedem, begutachtet von Experten
- Erfolgsmodell bei IT-Infrastruktur: Linux, Apache, MySQL, ...
- Zu verrückt für Mobilfunk? Gibt es schon! 😊



Ein Computer als Basisstation? Wie geht das?

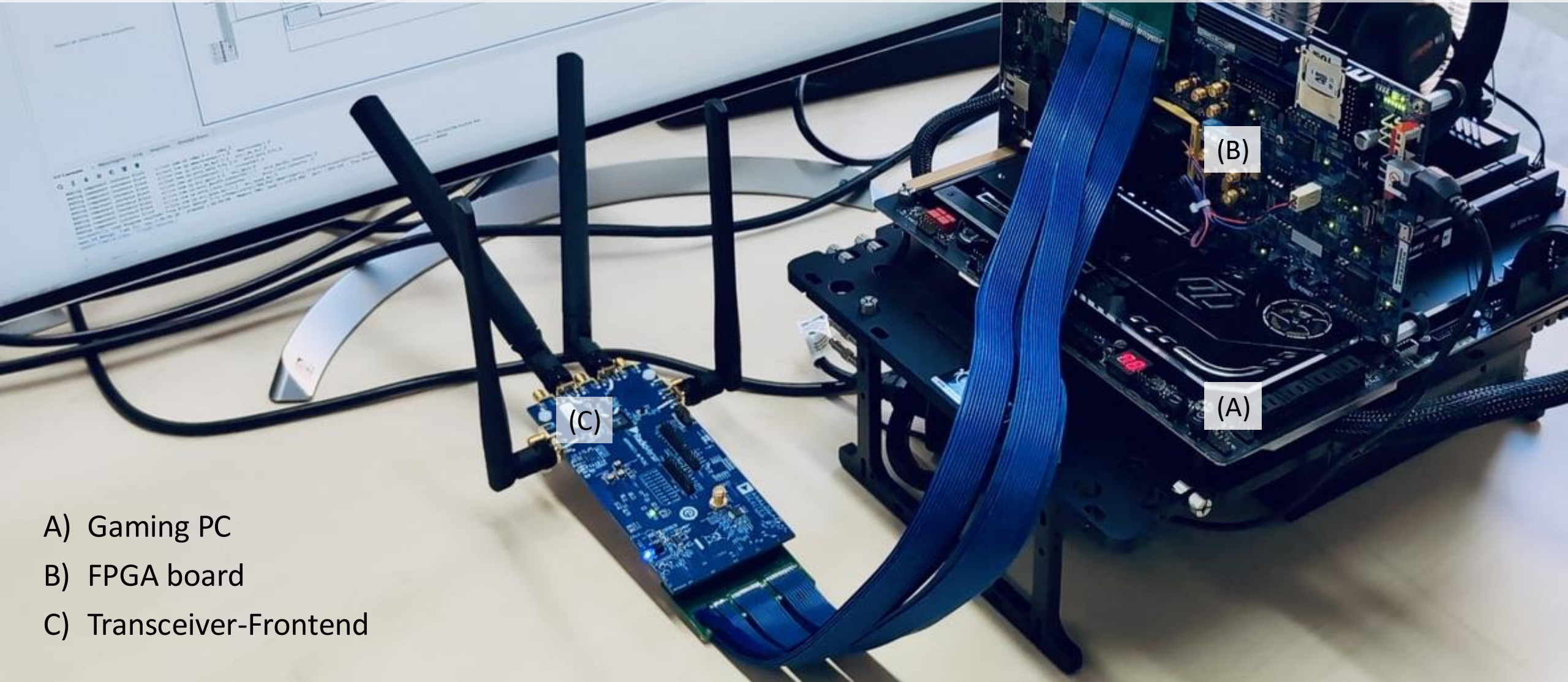
- Software-defined radio (SDR)*: Bekannt seit den 90er Jahren
 - Funksignale werden auf einem Computer generiert/verarbeitet
 - Beliebt bei Amateurfunk, Forschung und dem Militär
 - Inzwischen reif für breite Anwendung im Mobilfunk



*J. Mitola, "Software radios-survey, critical evaluation and future directions," in Proc. National TeleSystems Conference (NTC), 1992, pp. 13/15-13/23, doi: 10.1109/NTC.1992.267870.

Prototyp einer 5G Basisstation

Distributed Unit(DU)/Radio Unit (RU) für 5G Release 17 (standalone, TDD) im ORAN Split 8, 100 MHz bandwidth, 2x2 MIMO



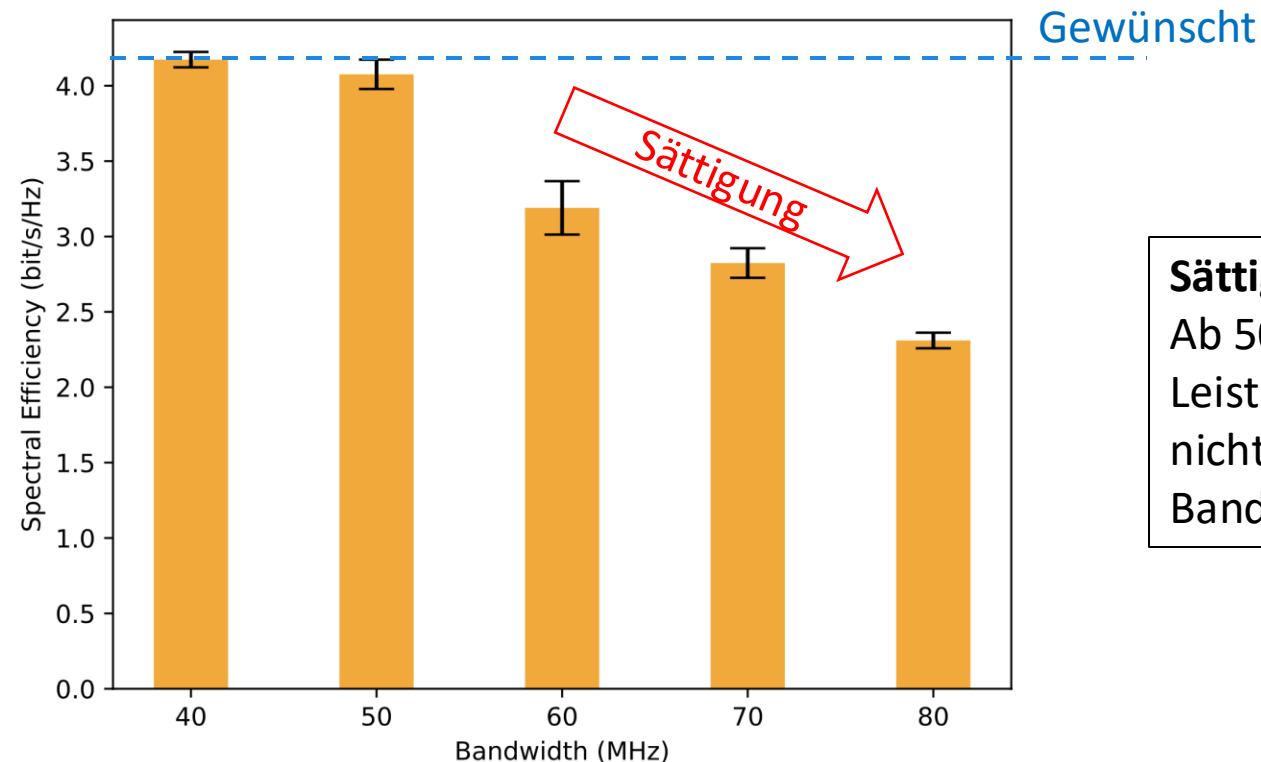
- A) Gaming PC
- B) FPGA board
- C) Transceiver-Frontend

Welche Grenzen haben SDRs im Mobilfunk?

- Benötigte **Rechenleistung** steigt linear mit dem Produkt aus
 - Bandbreite des Funksignals und
 - Anzahl der Sende-Empfangs-Antennenpaare

Experiment: Spektrale Effizienz einer 5G SDR Basisstation

- CPU: AMD Ryzen 9
- 5G NR, SA, Rel. 17
- n78 3.7-3.8 GHz
- 2x2 MIMO
- Variierte Bandbreite
- TCP Vollast



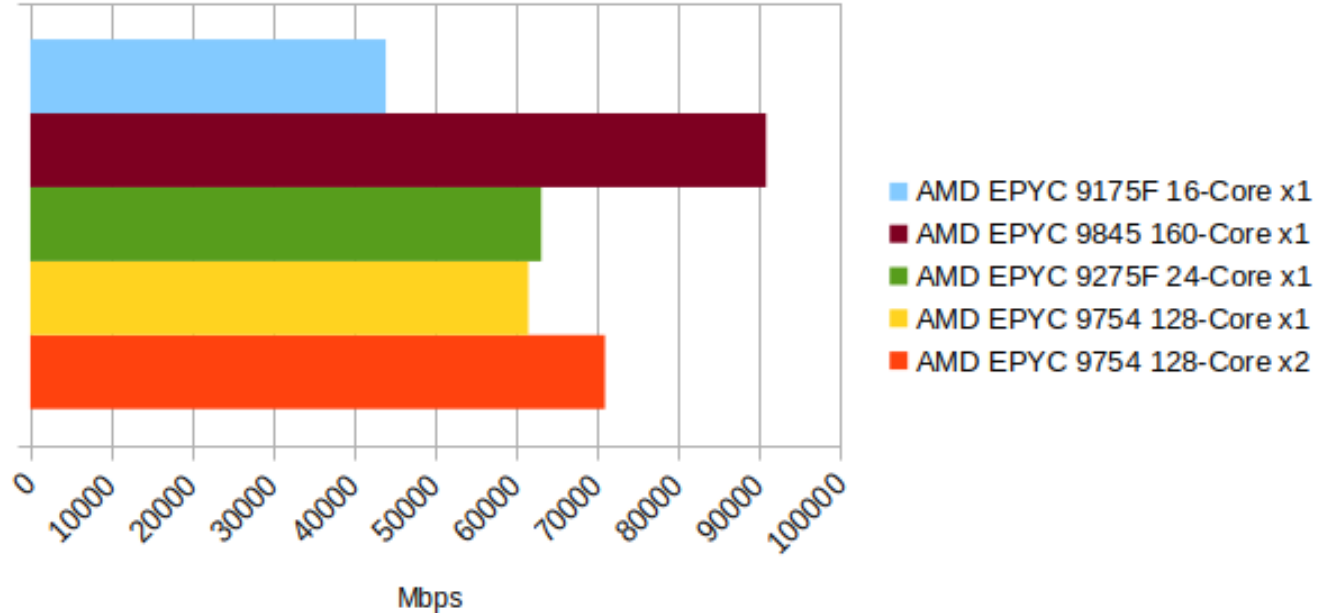
Sättigung:

Ab 50 MHz genügt die Leistung dieser CPU nicht mehr, um die volle Bandbreite zu nutzen.

Das war ja nur ein Gaming-PC! 😊

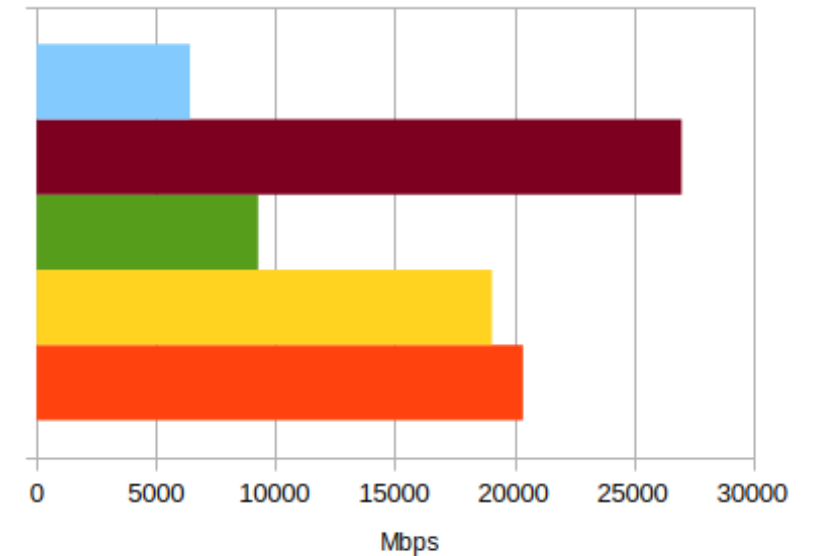
Welchen Durchsatz schaffen **große** Server?

Downlink: BS->UE



90 Gbit/s pro 160-Kern CPU
Max. Datenrate pro 5G sector: 2,5 Gbit/s
=> $90/2,5 = 36$ Sektoren/CPU

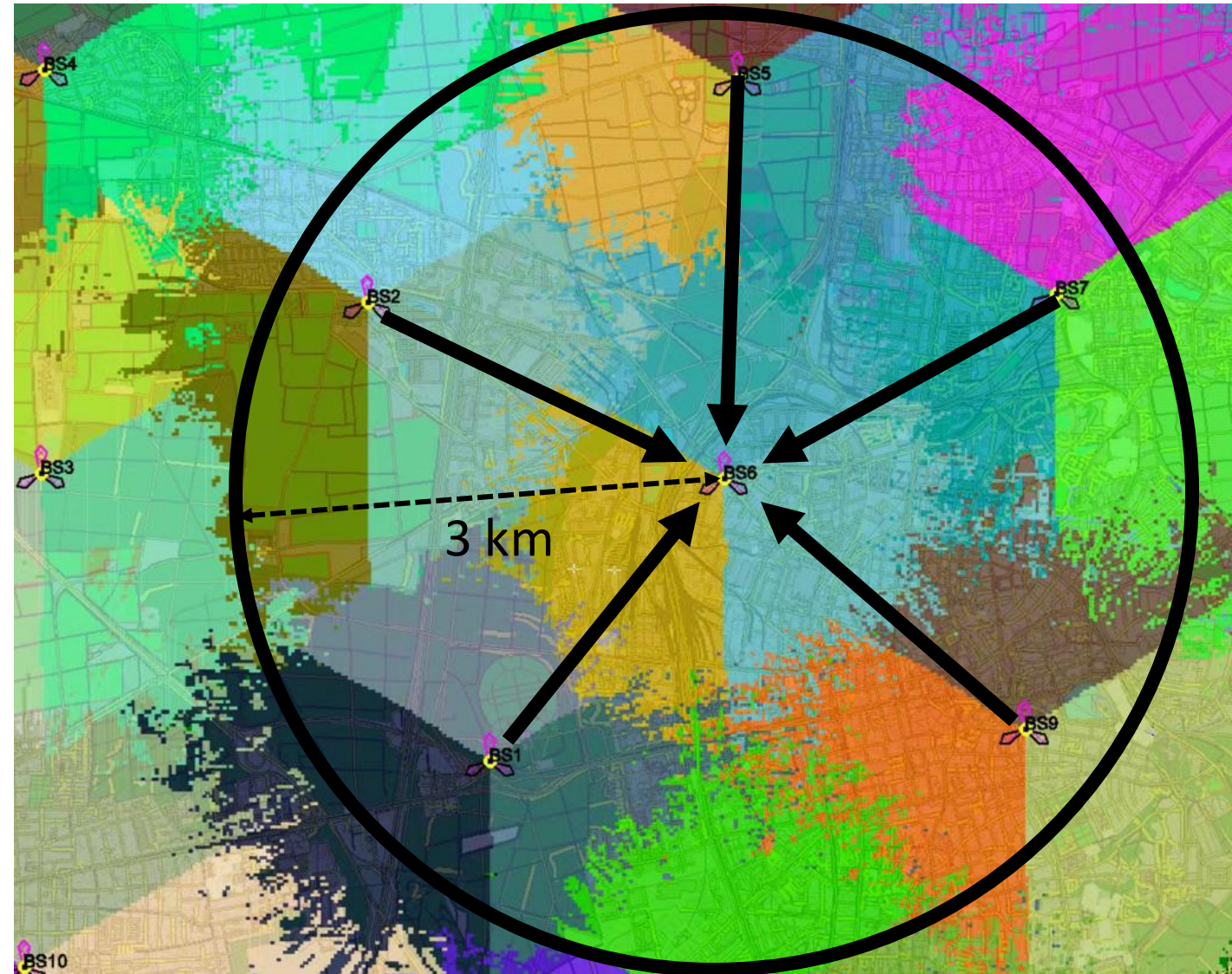
Uplink: UE->BS



26 Gbit/s pro 160-Kern CPU
Max. Datenrate pro 5G sector: 2,5 Gbit/s
=> $26/2,5 = 10,4$ Sektoren/CPU

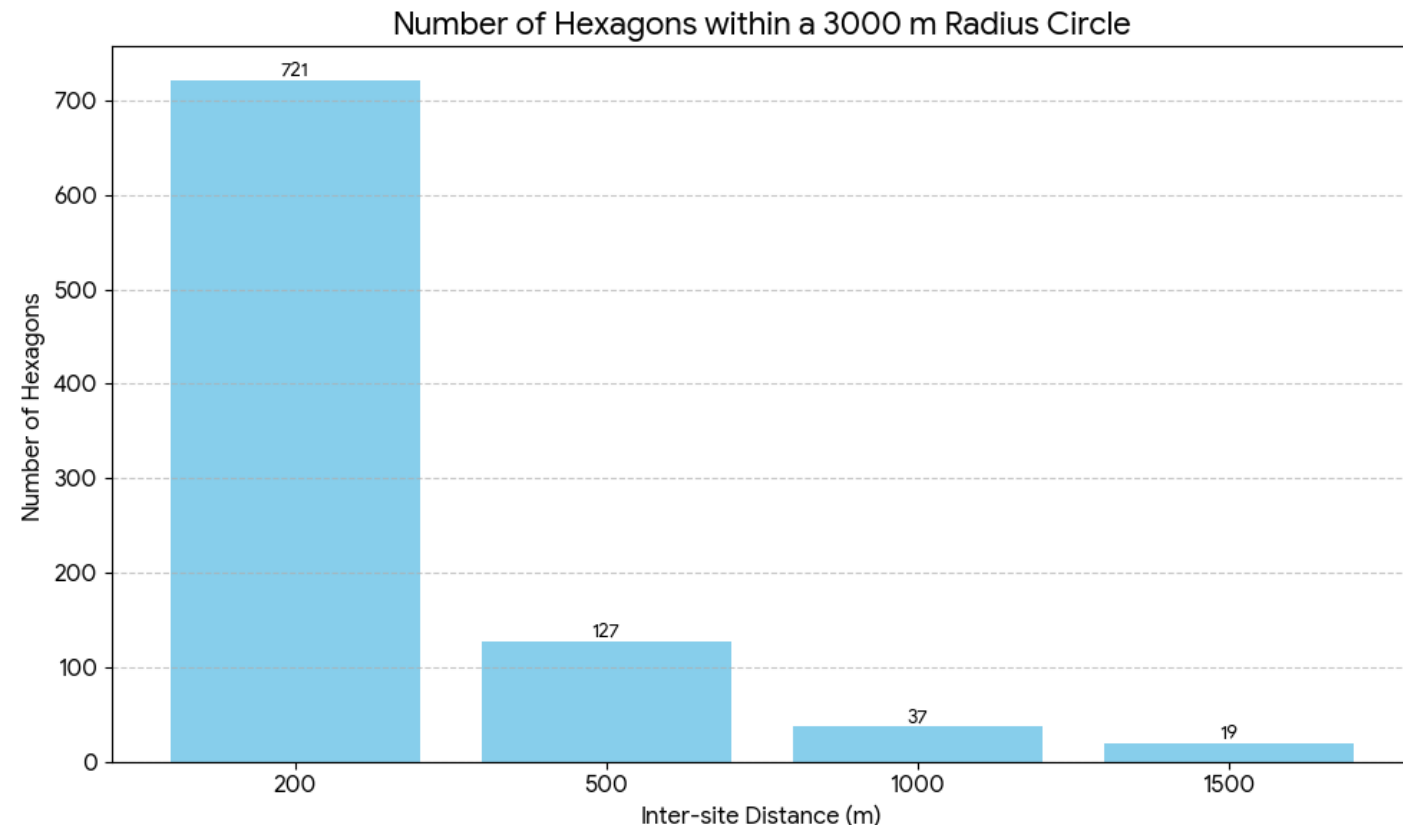
Massiver Vorteil: Zellaggregation

- Damit lässt sich die Hardware für 9 Sektoren in ein gemeinsames Datenzentrum aggregieren
- Dieses *edge data center* muss in der Nähe der Masten liegen
 - z.B. innerhalb eines 3 km Radius (ca. 10 us Signallaufzeit)
- Je nach Zelldichte 19 bis zu 721 Zellen pro Datenzentrum
- **Massive Kosten- und Energieeinsparung!**



Massiver Vorteil: Zellaggregation

- Damit lässt sich die Hardware für 9 Sektoren in ein gemeinsames Datenzentrum aggregieren
- Dieses *edge data center* muss in der Nähe der Masten liegen
 - z.B. innerhalb eines 3 km Radius (ca. 10 us Signallaufzeit)
- Je nach Zelldichte 19 bis zu 721 Zellen pro Datenzentrum
- **Massive Kosten- und Energieeinsparung!**



Welche weiteren Grenzen gibt es?

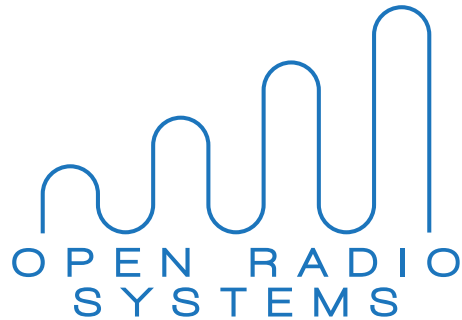
- **Datenbus** zwischen Computer und SDR-Frontend überträgt nun Signale statt Daten
 - => Muss 2 bis 24 mal schneller sein als die Datenrate
- Wie schnell? für 6G:
 - $16 \text{ bit/S} \cdot 2 \cdot 400 \text{ MS/s} = 12,8 \text{ Gbit/s pro Antenne}$
- Damit sind mit aktueller PC-Technologie maximal 16 Antennen möglich
 - Reine Hardware-Lösungen werden mindestens 64-Antennen unterstützen
- Mein Startup arbeitet an einer Lösung für dieses Problem



M	Required fronthaul bus capacity [Gbit/s]	No. of required PCIe lanes			No. of req. Ethernet ports	
		G3	G4	G5	200 [Gbps]	400 [Gbps]
1	12.8	2	1	1	1	1
2	25.6	4	2	1	1	1
4	51.2	7	4	2	1	1
8	102.4	13	7	4	1	1
16	204.8	26	13	7	2	1
32	409.6	52	26	13	3	2
64	819.2	103	52	26	5	3
128	1638.4	205	103	52	9	5
256	3276.8	410	205	103	17	9

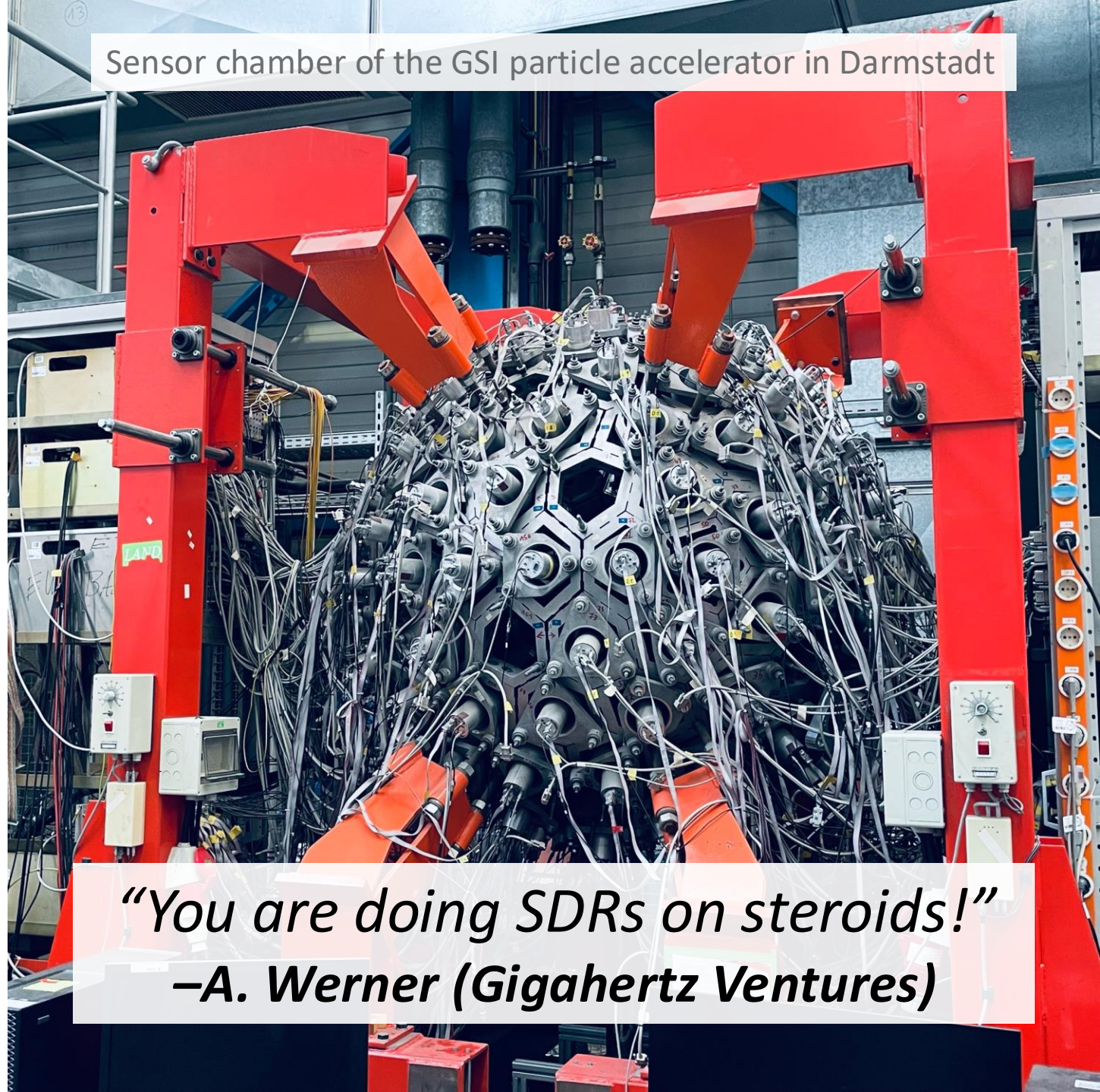
S. Valentin, „SCALES6G: Ein skalierbarer Fronthaul-Bus für Massive MIMO in softwarebasierten 6G-Mobilfunknetzen“, Projektskizze, Jun. 2025.

Das ist hart!



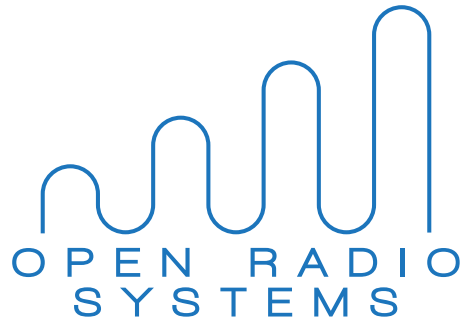
real-time DSP on multi-core CPUs
3.2 Gbit/s bus capacity per signal path
sub-nanosecond sync of antenna paths

Sensor chamber of the GSI particle accelerator in Darmstadt



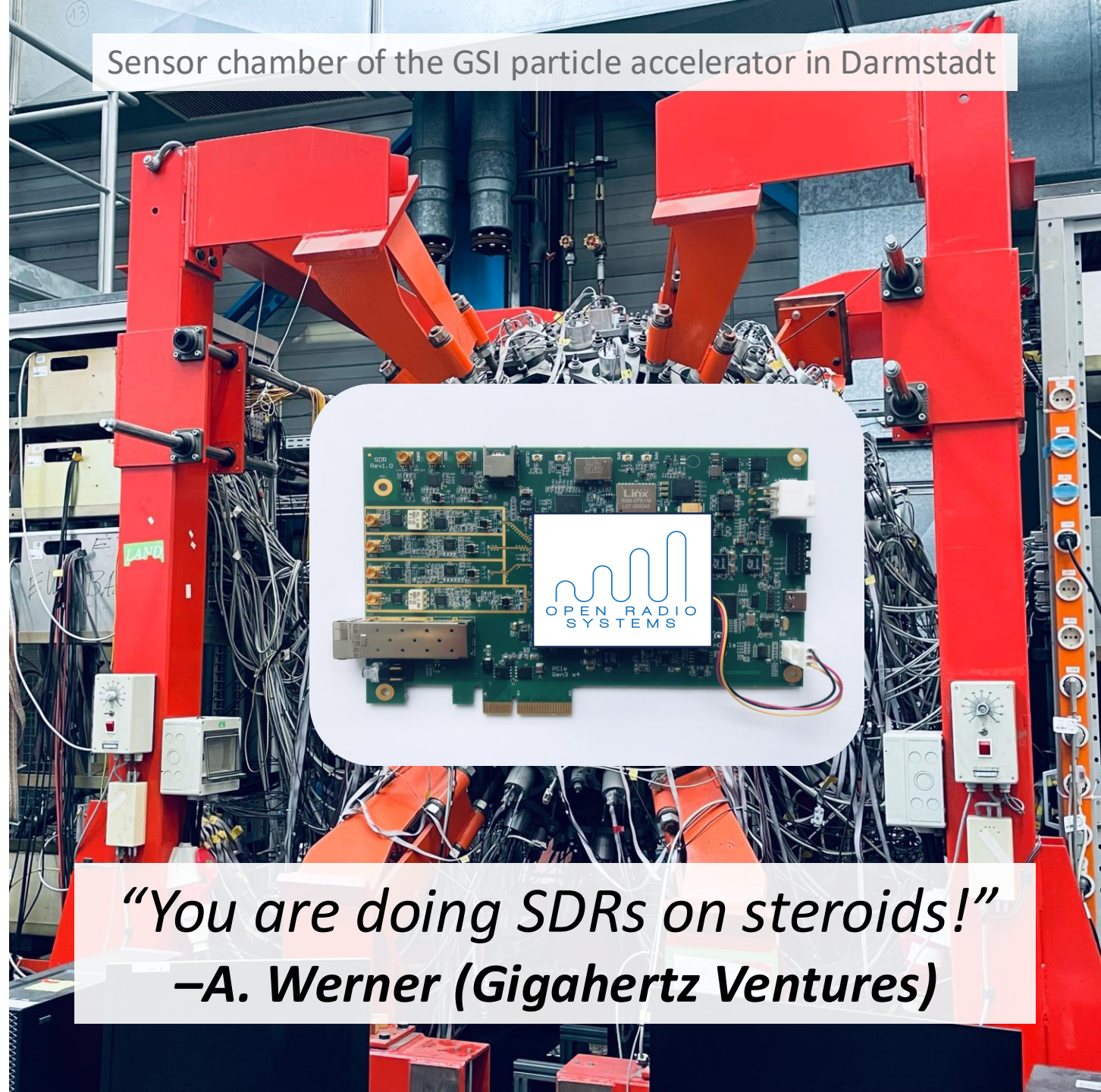
“You are doing SDRs on steroids!”
–A. Werner (Gigahertz Ventures)

Das ist hart!



real-time DSP on multi-core CPUs
3.2 Gbit/s bus capacity per signal path
sub-nanosecond sync of antenna paths

Sensor chamber of the GSI particle accelerator in Darmstadt

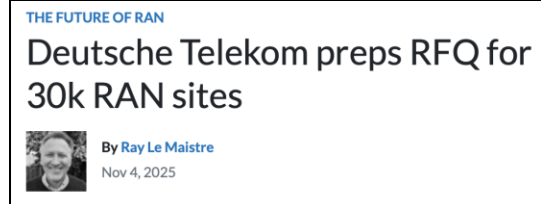
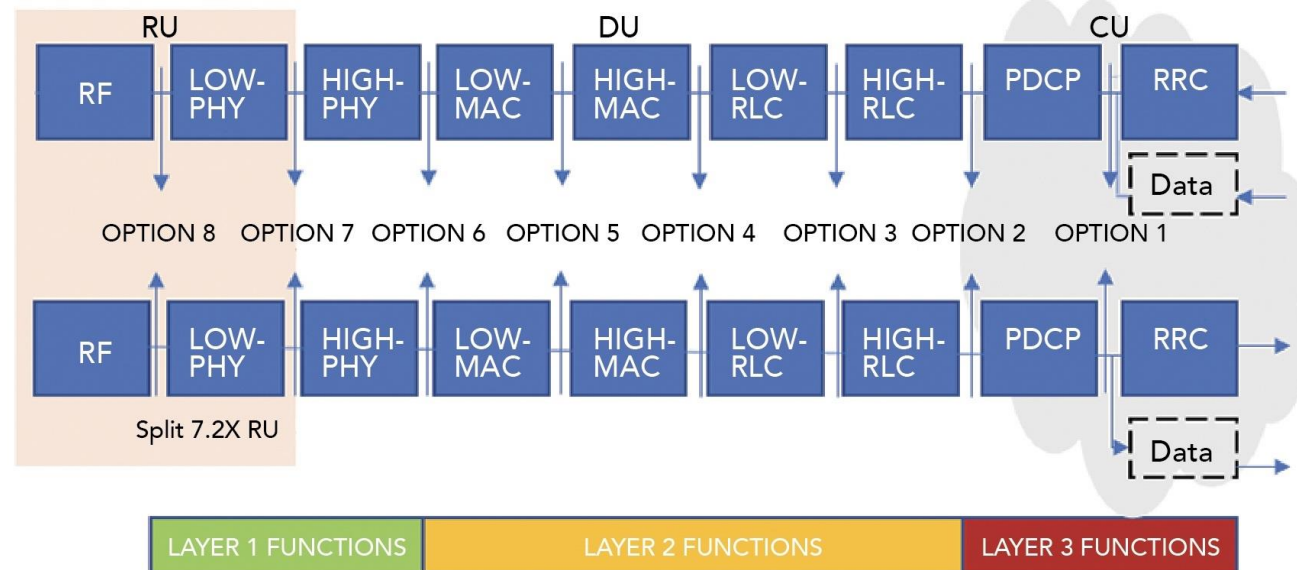


“You are doing SDRs on steroids!”
–A. Werner (Gigahertz Ventures)

Wird die Softwarisierung von der Branche akzeptiert?

Ja! Sie läuft schon!

- Open RAN Allianz:
 - Schlägt seit 2018 offene Schnittstellen für virtuelle Funkzugangsnetze (vRANs) vor
 - Schwerpunkt: Interoperabilität zwischen Herstellern (nicht: Open Source)
 - Schrittweiser Übergang von Hardware-BS (Split 1) zur vollen Software-BS (Split 8)
- Vorschläge fließen derzeit in die 6G Standardisierung des 3GPP ein
- Anfang 2026 will die Deutsche Telekom 30.000 edge data center für Open RAN ausschreiben*

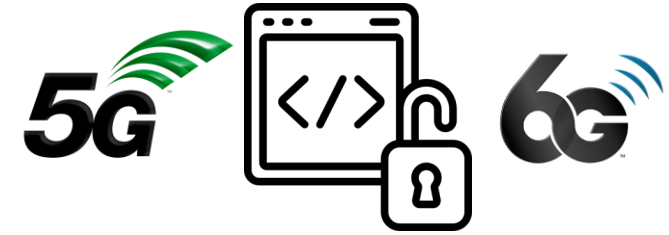


*<https://www.telecomtv.com/content/the-future-of-ran/deutsche-telekom-preps-rfq-for-30k-ran-sites-54211/>

Gliederung

- Was ist ein Mobilfunknetz?
- Huawei, ZTE & Co. – Die Abhängigkeitsfalle
- Virtuelle Netze – Eine technologische Revolution
- **Quelloffene Netze – Ein Ausweg für 6G?**
- Fazit & Ausblick

5G und 6G als Open Source?



- Im 1. Schritt haben wir aus 5G und 6G Apps gemacht
- Im 2. Schritt machen wir aus diesen Apps quelloffenen Code und Open-Source Projekte
 - Kein technisches sondern ökonomisches Problem: Wie damit Geld verdienen?
 - Ideen: Netzbetreiber machen das selbst, maßgeschneiderte Software/Dienste ...
- Einzige Möglichkeit die Abhängigkeit von *einem* Hersteller zu beseitigen
 - Bsp. Vendor lock-in: Intels Open-RAN Software (FlexRAN) läuft nur auf Intel CPUs, Nvidias *Aerial Software* basiert auf CUDA, CUDA läuft nur auf Nvidia Chips
- Es gibt derzeit 2 lauffähige, quelloffene 5G-Implementierungen:

Beide kommen aus Europa!



<https://openairinterface.org>



<https://www.srsran.com>

Neues Projekt: OCUDU

- srsRAN wird unter dem Dach der Linux-Foundation ein neues Software 6G implementieren: „The Linux of RAN“
- Industriefreundliche BSD-Lizenz
- Finanziert vom US-Verteidigungsministerium
- Erste Version: März 2026



September 30, 2025

NSC Announces DoW Awardees DeepSig and SRS to Deliver Open Source Software as a Reference Architecture to Power NextG Network Innovation

WASHINGTON, D.C. (September 30, 2025) — The National Spectrum Consortium

<https://www.nationalspectrumconsortium.org/news-detail/ocudu-awardees-deepsig-srs>

<https://ocudu.org>

Wie verringern wir diese technologische **Abhängigkeit**?

(Ohne neue strategische Abhängigkeiten einzugehen)

Welche neuen **Technologien** können wir dafür nutzen?

Was bedeutet dies für die **Sicherheit** unserer Netze?

Sicherheit quelloffener vRANs

Proprietäre Basisstation (BS):

- **Hardware BS:** Keine Einsicht in Systemverhalten, Netzbetreiber muss Hersteller vertrauen
- **Software BS (geheimer Code):**
 - Hardware und Betriebssystem ist beobachtbar, Softwareverhalten kann nicht nachvollzogen werden
 - Daten aus geheimen Schnittstellen schwer interpretierbar
 - evtl. Zwang zu unsicherer Hardware (vendor lock-in)



Quelloffene BS:

- **Öffentlichkeit:**
 - Geheimhalten von Hintertüren unmöglich, jeder kann Fehler finden und beheben
 - Unterwanderung möglich, jedoch hohe Wahrscheinlichkeit der Entdeckung
- **Prüfbarkeit:** Systemverhalten kann beobachtet und nachvollzogen werden
 - Programmierung ist vollständig bekannt, CPU muss sich entsprechend verhalten, sonst kompromittiert
- Kein Vendor-lock in möglich



Gliederung

- Was ist ein Mobilfunknetz?
- Huawei, ZTE, Nvidia & Co. – Die Abhängigkeitsfalle
- Virtuelle Netze – Eine technologische Revolution
- Quelloffene Netze – Ein Ausweg für 6G?
- **Fazit & Ausblick**

Fazit

- Technologische Abhängigkeiten lassen sich:

- Politisch und regulatorisch einhegen
- aber nur *technologisch* lösen



- Quelloffene Software-Basisstationen revolutionieren Funkzugangsnetze:

- Verschiedene Grade von Softwarisierung in den 6G-Standards
- Offene Schnittstellen ermöglichen freie Herstellerwahl auf Komponentenebene
- Abhängigkeit von chinesischen Netzausrüstern wird vermieden

- Diese Revolution erhöht prinzipiell die Sicherheit der Mobilfunknetze:

- Komponenten von problematischen Herstellern können vermieden werden
- Quelloffene Systeme sind prüfbar: Hintertüren, Fehler können gefunden und behoben werden
- Quelloffene Systeme sind beobachtbar: Verhält sich z.B. der Prozessor anders als die (bekannte Programmierung), ist das System kompromittiert

Ausblick

- 6G wird eine spannende Mobilfunkgeneration! Geprägt von:
 - Vielfältige Softwarisierung: virtuelle RANs, Cloud RANs, SDRs
 - quelloffenem Code, verschiedene Open-Source Stacks mit individuellen Lösungen
 - Technologie so zugänglich und so offen wie noch nie: Ideal für Forschung & Lehre
- Vereinheitlichung der Hard- und Software:
 - Stellt neue Anforderungen an Rechenleistung, Buskapazität und Energieeffizienz
=> Treibt Entwicklung der Server-Technik voran
 - Einhegung des Ausrüster-Oligopols zugunsten von KMUs und Startups
 - Erhöht Effizienz bei Installation, Wartung und Betrieb
- Veränderte Sicherheitslage der Mobilfunknetze:
 - Normale Probleme der IT-Sicherheit nun auch in den Basisstationen
 - Kompensiert durch bessere Prüfbarkeit quelloffener Systeme & offener Schnittstellen

Höhere Souveränität der Netzbetreiber: breitere Lieferkette, kein vendor lock-in, Aufbau von eigenem Know-How
Höhere Souveränität der Gesellschaft: Einbahnstraße der Abhängigkeit wurde verlassen!

Vorsicht vor neuen Abhängigkeiten!

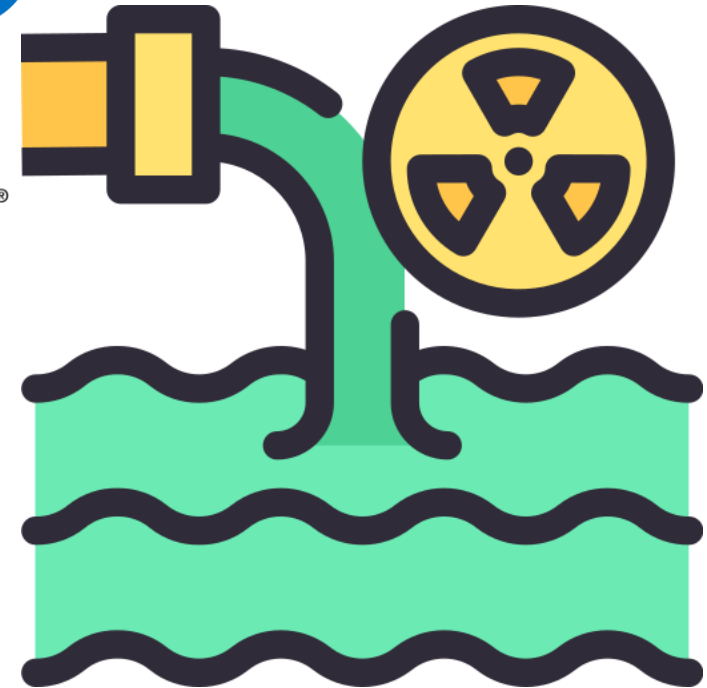


NVIDIA and Nokia to Pioneer the AI Platform for 6G — Powering America's Return to Telecommunications Leadership

NVIDIA to Invest \$1 Billion in Nokia to Accelerate AI-RAN Innovation and Lead Transition from 5G to 6G

October 28, 2025

<https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-nokia-ai-telecommunications?ncid=so-link-246946-vt26&linkId=100000388985369>



Vielen Dank! Fragen? 😊



Prof. Dr. Stefan Valentin

Head of 6GLab

Head of Networking Technologies Group (da/net)

Department of Computer Science

Darmstadt University of Applied Sciences

Germany

stefan.valentin@h-da.de



[https://www.sprind.org/worte/podcasts/
114-stefan-valentin](https://www.sprind.org/worte/podcasts/114-stefan-valentin)



www.openradiosystems.com