



researchXchange

Herzlich Willkommen

5G, Auswirkungen der drahtlosen Telekommunikation auf die Gesundheit -
Klarheit schaffen, Prof. Dr. Rolf Vogt

Warum dieses Referat?



Bis vor kurzem führende Rolle der Schweiz in Bezug auf die Einführung von 5G

⇒ Widerstand von national od. regional operierenden Parteien, Organisationen und Privatpersonen

⇒ Medienecho

Ziele dieses Referats

- Aufzeigen der technischen Fakten
- Erläutern der Gesetzeslage
- Auswirkungen auf menschlichen Körper
- *Häufig gehörte Bedenken*



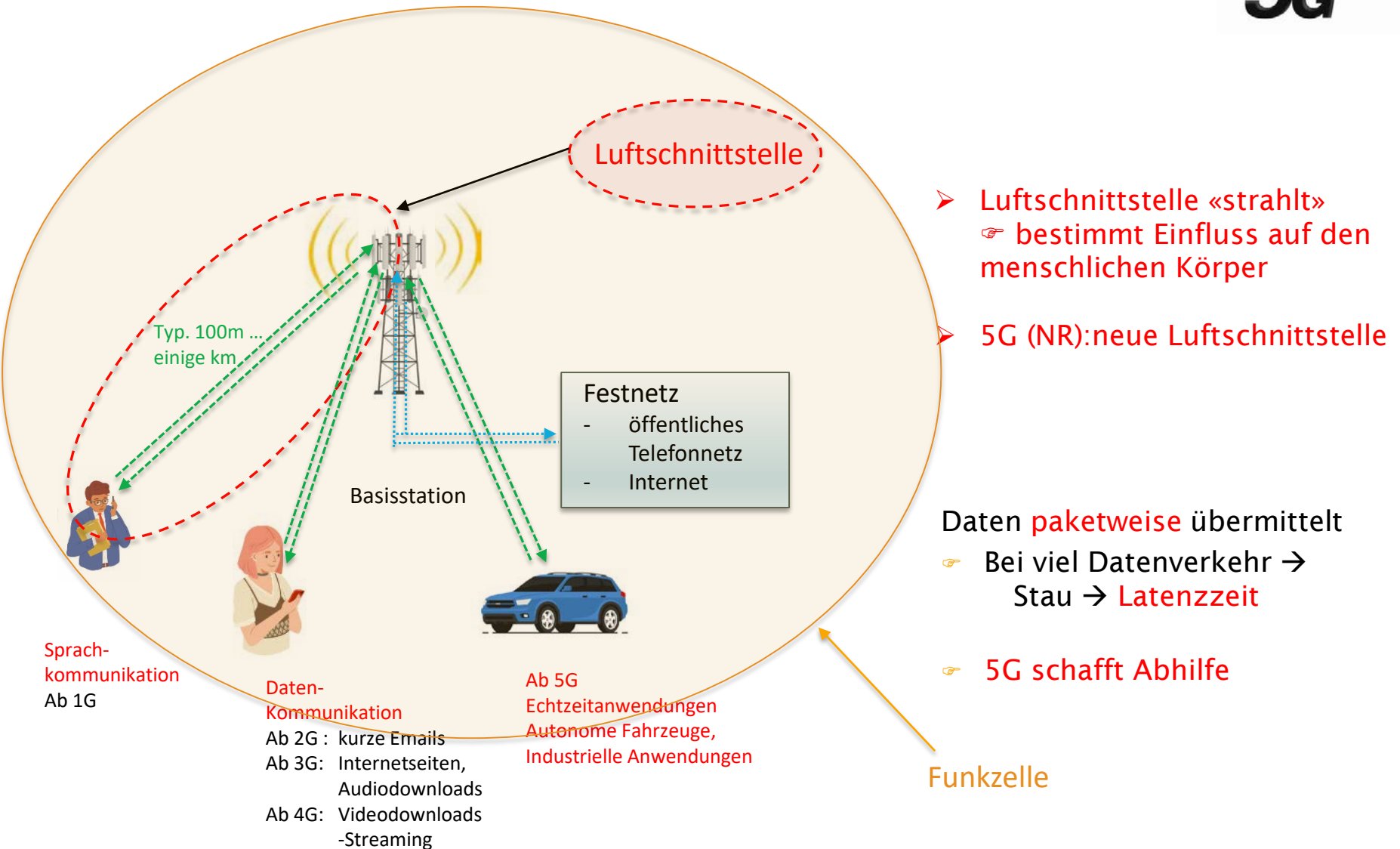
5G Basisstation in Zürich

Was ist «5G» (NR) ?

NR = «New Radio»



Infrastruktur einer zellulären Mobilfunknetzes



«5G» (NR) ...



Verglichen mit 4G:

- **Grössere maximale Datenraten**, in späteren Evolutionsstufen bis in zweistelligen Gigabit/s – Bereich
- Effizienter (Bandbreite, Energie)
- **Grösse Anschlussdichte** bis 1 Mio. mobile Geräte/km²
 - **IoT**
- Viel **geringere Latenzzeit** (1 ms)

Bedenken gegen Mobilfunk sind nichts Neues...

Mobilfunk-generation	Jahr der Inbetriebnahme (CH)	Technische Eigenschaften	Bemerkungen
«1G» System NMT «NATEL C»	1987	Analog, Frequenzmodulation, kein Abhörschutz!	Nationale Implementation, inkompatibel zu fast allen ausländischen Systemen, kein Roaming möglich
«2G» GSM «NATEL D»	1993	Digital, verschlüsselt, gepulst (TDMA, 217 Hz)	Widerstand von Umweltschutzgruppen wegen Bedenken durch rel. niederfrequente, infolge TDMA gepulster Signale (217 Hz)
«3G» UMTS	2001	Bandspreiztechnik (CDMA), nicht gepulst (FDD-Modus)	Widerstand von Umweltschutzgruppen wegen Bedenken durch angeblich hohe «Strahlenbelastung» durch viele neue Antennen «Anzahl nahegelegener Antennen = Belastung»
«4G» LTE	2012	Multiträgerverfahren (OFDMA)	?....
«5G» NR/NSA	2019	Multiträgerverfahren (OFDMA), aktuell leicht höheres Frequenzband (3.5GHz statt 2.6GHz), SDMA, MIMO	Massiver Widerstand, diverse Gründe werden angegeben: <ul style="list-style-type: none"> - Höhere Frequenz - Beamforming

Welche physikalische Grössen sind relevant in Bezug auf Wechselwirkung mit menschlichem Körper?

- Verteilung von elektromagnetischer Leistungsdichte (W/m^2)/elektr./magn. Feldstärke **am Ort der Person**
- Frequenzbereich (Mittelfrequenz, Bandbreite)
- Signal**form** (variable oder konstante Amplitude, Pulse: Breite/Höhe/Anstiegszeit)
- Einwirkzeit
- SAR (Spezifische Absorptionsrate, $[\text{W}/\text{kg}]$)
- Eindringtiefe

☞ Die verschiedenen Funkstandards (5G, 4G, etc.) müssen mit Blick auf diese Kriterien untersucht werden

Eindringtiefe von elektromagnetischen Wellen (Skinneffekt)

⇒ Elektrische Feldstärke E nimmt im Körper **exponentiell** mit zunehmender Tiefe **ab**

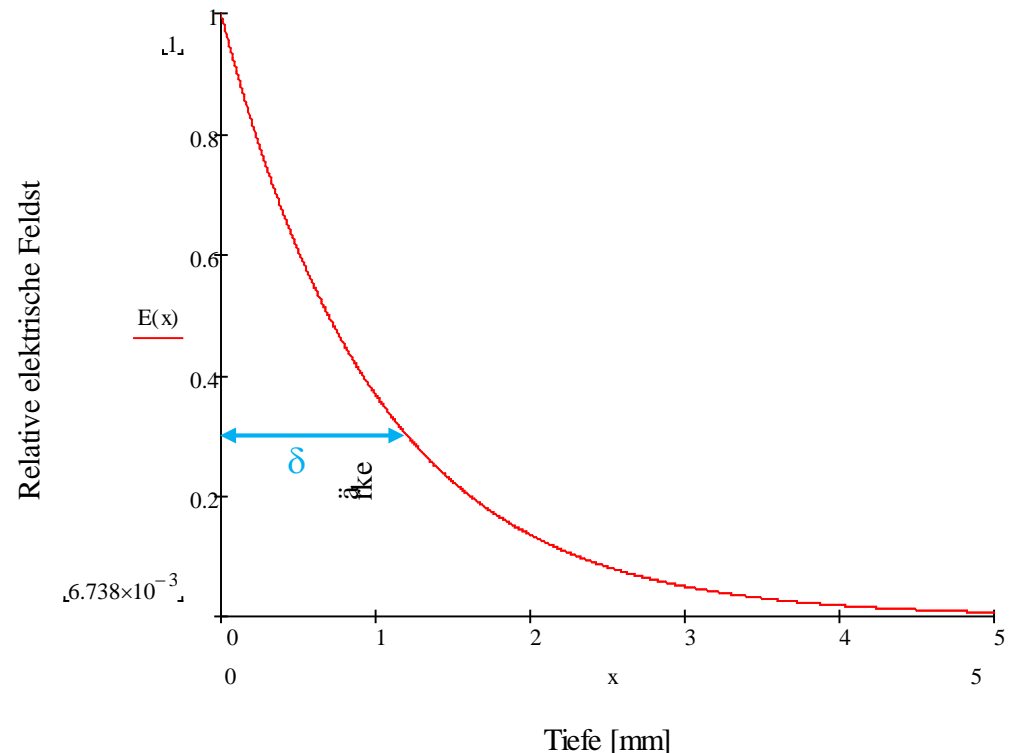
⇒ Eindringtiefe δ : Distanz von Oberfläche, bei welcher Oberflächenwert E_0 auf Faktor $1/e \approx 37\%$ abgesunken ist

$$\Rightarrow \delta \sim \frac{1}{\sqrt{f}}$$



Bei sehr hohen Frequenzen (→ Millimeterwellen) konzentriert sich der grösste Teil der Energie innerhalb der Zone auf und unmittelbar unter der Hautoberfläche

Numerisches Beispiel des E-Feld-Verlaufs im Körper



δ auch abhängig von elektrischer Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstanten des Gewebes

Wie vergleichen sich die verschiedenen Mobilfunkgenerationen bezüglich relevanter technischer Parameter?

Generation	2G			3G			4G		5G
Technologie	GSM	GPRS	EDGE	UMTS	HSPA	HSPA+	LTE	LTE-A	NR (NSA)
Zugriffsverfahren	FDMA/CDMA			CDMA			OFDMA		
Modulationsverfahren	GMSK		8-PSK	QPSK	QPSK, 16QAM		QPSK, 16-, 64-QAM	QPSK, 16-, 64-QAM, 256-QAM	
Bandbreite [MHz]	0.2	0.2	0.2	5	5	5	1.4-20	20-100	35-400
Max. Datenrate [Mb/s]	0.01	0.1	0.2	0.4	14	42	150	1000	>1000
Latenzzeit [ms]	500	500	300	150	100	50	10	5	1
Frequenzbänder (CH) [MHz]	700/800/900/1400/2100/2600 *Technologieneutralität								*700 *1400 *3500

- ☞ **Verwendete relevante technische Parameter von 5G grösstenteils vergleichbar mit 4G**
- ☞ **Trend: Zugewiesene Frequenzbänder für alle 'xG's nutzbar (Technologieneutralität)**

Wie **vergleichen** sich die neuesten Mobilfunkgenerationen bezüglich relevanter technischer Parameter **mit anderen Funkdiensten**?

Funkdienst	Typ/Anwendung	Zugriffsverfahren/Modulation	Frequenzbereich	Bemerkungen
Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax)	WLAN	OFDMA/ bis 1024QAM	2.4 GHz / 5 GHz	Theor. bis 3466Mb/s 600Mb/s
Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac)	WLAN	OFDMA/BPSK/QPSK/QAM		
Wi-Fi 4 (IEEE 802.11n)	WLAN			
DAB +	Digitalradio, terrestrisch	COFDM	174-240 MHz	
DVB-T DVB-T2	Digitales, terrestrisches Fernsehen (in CH abgeschaltet)	COFDM analoges TV (PAL) früher gepulst	470-690 MHz Analog TV früher: 470-860MHz	
IEEE 802.11ad	WLAN	BPSK...64QAM, single carrier	57-66 GHz (EU) ☞ Millimeterwellen	Datenrate: Einige GB/s Sehr geringe Reichweite
LoRa/LoRaWAN	IoT	CSS (Chirp spread spektrum),	868 MHz, u.a.	

- ☞ Die meisten neueren breitbandigen Funkstandards basieren auf der OFDM/OFDMA-Technologie ☞ gleiche Signalform
- ☞ Im Alltag ist 4G/5G nur eine unter vielen «Strahlungs»quellen, welchen der Mensch ausgesetzt ist

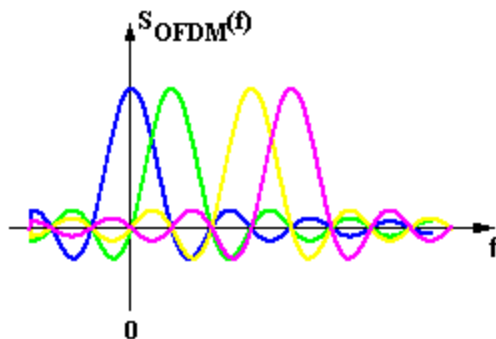
Was ist OFDM/OFDMA?

- ▶ Zugriffsverfahren: OFDM

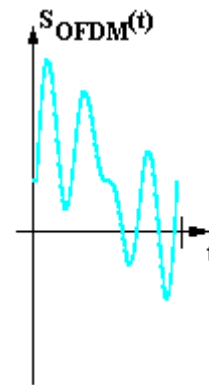
Orthogonal Frequency Division Multiplex

- ▶ OFDMA: Erweiterung von OFDM um FDMA oder TDMA (☞ Zeitschlitze)

Spektrum OFDM

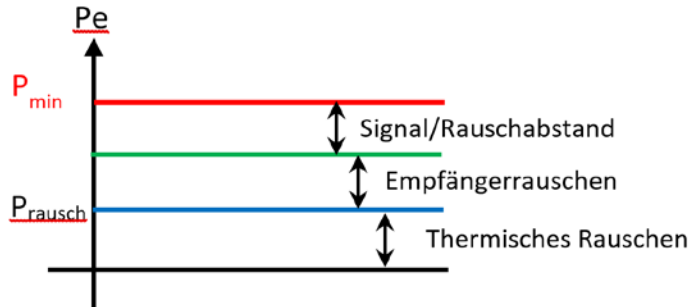


Zeitverlauf OFDM



OFDM(A) Signale können grundsätzlich schnell schwankende Momentanwerte aufweisen und sind u.U. intermittierend

Wieviel «Strahlung» ist nötig?



- Grundsätzlich immer eine minimale Empfangsleistung P_{min} **notwendig**, damit Kommunikation, abhängig u.a. von

- Bandbreite
- Übertragungsverfahren
- Datenrate

☞ **Liegt für viele drahtlose Kommunikationssysteme, ganz (!!)** grob ausgedrückt, in ähnlicher Größenordnung

- Systeme ab 3G verwenden rigorose Leistungsregelungen

➤ **Dieses Beispiel:**

- Empfangsleistung des hauseigenen WLANs $(-39 - (-85))\text{dBm} = 46\text{ dB}$ über dem Wert von 4G/5G
☞ Faktor 40'000 !

- **Die quantitativen Relationen müssen beachtet werden!**

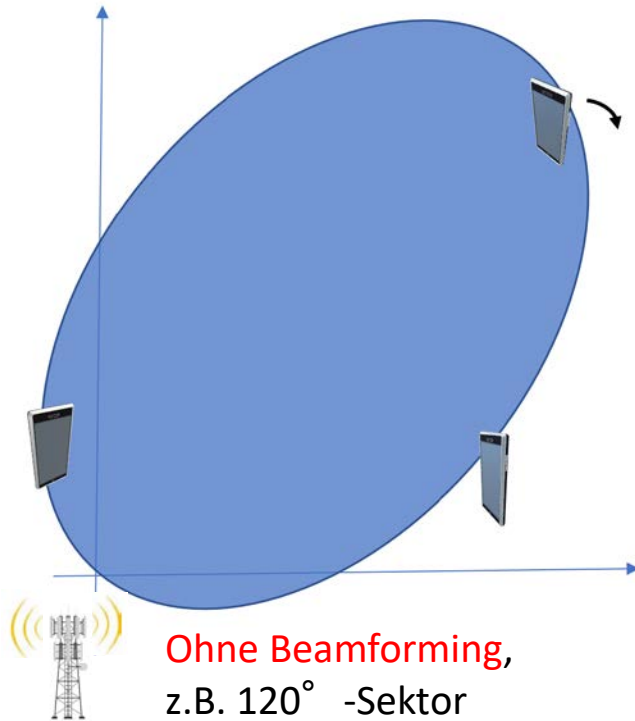


5G-Technologie und Wege zur Kapazitätserhöhung

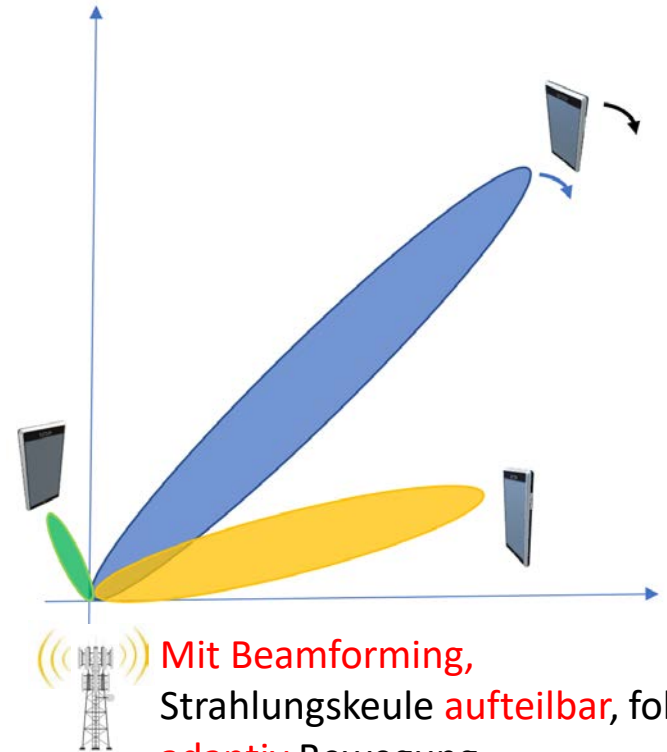
- Verkleinerung der Zellgrößen
 - ☞ tendenziell kleinere benötigte Sendeleistung,
 - ☞ Sparpotential vor allem auch bei Endgerät!
 - ☞ mehr Antennen
- **Später** deutlich **höhere Frequenzbereiche** (z.B. $\approx 10x$) **geplant**
- Beamforming (Smart Antennas)
 - **Strahlung nur in die Richtung** gesendet, **wo benötigt**

Leistung des Senders (TX)
verteilt sich auf mehrere Antennenelemente

Beamforming



Ohne Beamforming,
z.B. 120° -Sektor



Mit Beamforming,
Strahlungskeule aufteilbar, folgt
adaptiv Bewegung

- ☞ Bei korrekter Funktion **nicht mehr Empfangsleistung** ☞ **Exposition** als ohne Beamforming
- ☞ **Reduktion** der erforderlichen **Senderleistung**
- ☞ **Entlang der übrigen azimuthalen Richtungen fast keine Strahlung**

Gesetzeslage Schweiz und International

Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung

International

- International anerkannte Grenzwerte basieren vor allem auf der **thermischen Wirkung** (ICNIRP)
 - Limitierung der maximalen elektrischen und magnetischen Feldstärke auf eine **maximal zulässige Temperaturerhöhung im Gewebe (max. 1°C)**
- Einzuhalten an allen Orten, wo sich Allgemeinbevölkerung aufhalten könnte
- Sog. **Immissionsgrenzwerte**

National (Verordnung für Nichtionisierende Strahlung (0-300 GHz))

- **Zusätzlich** zu den internationalen Grenzwerten **in CH um Faktor 10 (E-Feld) verschärfte Feldstärkegrenzwerte** für «Orte mit empfindlicher Nutzung» (OMEN) (z.B. Wohnungen u.a.)
- Sog. **Anlagegrenzwerte**
- **Vorsorgeprinzip** (seit 1999 !) für mögliche, noch unbekannte Wirkungen

Oft übersehen... !!!

**Mobiltelefone obliegen nicht dieser
Gesetzgebung !**



Mobilfunk und Gesundheit

Was weiss die Forschung?

- Bis jetzt keine gesundheitlich negativen Effekte von Mobilfunkstrahlung unterhalb der Grenzwerte belegbar, betrifft u.a.
 - Mobiltelefonnutzung
 - Elektrosensibilität, unspezifische Gesundheitssymptome
 - Schlafstörungen, Kopfweg etc.
- Physiologische Wirkungen beobachtet
 - Hirnstrommessungen bei Doppelblindstudien
 - Gesundheitliche Komponente unbekannt
 - Typischerweise Exposition von Endgeräten nahe der Grenzwerte
- Keine belastbaren Daten für Expositionen von Basisstationen
 - Epidemiologische Studien von sehr schwachen Expositionen schwierig oder kaum durchführbar
- Forschungsaktivität konzentriert sich gegenwärtig auf oberste Hautschichten (mm-Wellen)

Zum Schluss...

- 6G ist bereits in Vorbereitung....



Danke für Ihre Aufmerksamkeit.

