

Fakten und Hypothesen zum Endausbau 5G – Quellen & Berechnungen

von Rebekka Meier, Mai 2019

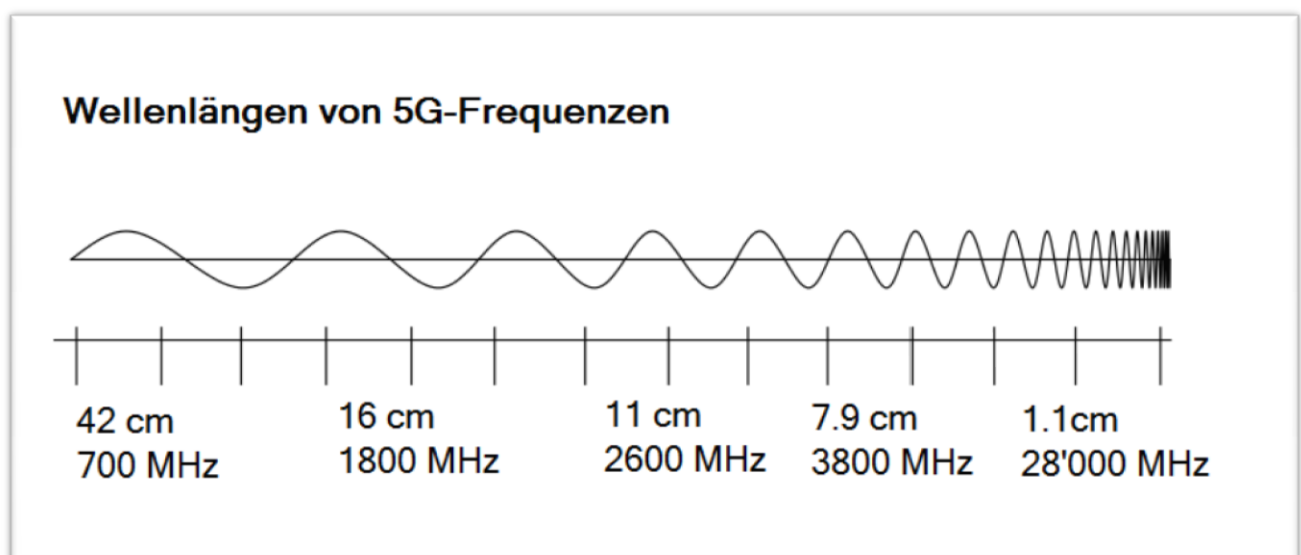
1 Netz *Das 5G-Netz verbindet bestehende Antennen, das Glasfasernetz und neue Mobilfunkanlagen zu einem einzigen Netz.*

Quelle: <http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/technik/funktionsweise/5g>

700 – 28'000 MHz *Bereich von 5G-Frequenzbändern*

Die Frequenzen von 700 - 3'800 MHz werden bereits heute für 5G genutzt. Die Frequenzen bis 28'000 MHz werden für einen flächendeckenden, hohen Ausbaustandard benötigt.

Quellen: - Bundesamt für Kommunikation
- <https://www.heise.de/newsticker/meldung/US-Versteigerung-von-Millimeter-Frequenzen-fuer-5G-enttaeuscht-4435464.html>
- www.5g-anbieter.info

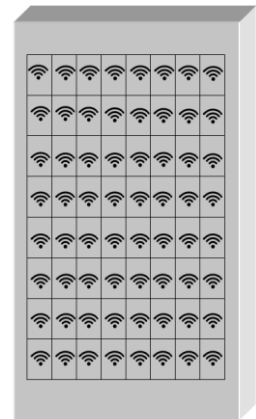


Grafik: Rebekka Meier

64 Sende-Antennen mindestens pro Mobilfunkanlage ab 3'400 MHz

Diese Antennen befinden sich im weissen Kunststoffkasten und decken maximal 120° um den Sendemast ab. Eine Anlage, welche 360° abdeckt, sendet also mit mindestens 192 Sende-Antennen. Jede einzelne Sendeantenne deckt nur einige wenige Grad ab. Damit konzentriert sich die gesamte Energie auf eine kleine Fläche.

Quelle: Datenblatt des Antennenherstellers Ericsson „Antenna integrated radio unit description“ Seite 3.



Grafik: Rebekka Meier

Fakten zu Antennen ab 3'400 MHz**15 fache Sendeleistung verglichen mit 4G-Antennen**

Quelle: - Standortdatenblätter von 4G-Anlagen weisen eine Sendeleistung von ungefähr 2000 Watt ERP aus.
- Präsentation von Antennenhersteller Ericsson „5G och EMF“ Seite 7. Diese Antenne weist eine Sendeleistung von 31'650 W ERP aus.

Im Folgenden die Berechnung der Sendeleistung der Antenne AIR 6488 von Ericsson (durch die Swisscom verwendeter Antennentyp).

Formel für die Sendeleistung ERP:

$$P_T \times G_T = ERP$$

P_T = aufgenommene Leistung [W]

G_T = Gewinn [Faktor]

ERP = effektive radiated power

Vergleich

Sendeleistung	Technologie
2'000 Watt	4G
31'650 Watt	5G

Gegeben:

$$P_T = 212W$$

$$G_T = 23.9 \text{ dBi} = 21.75 \text{ dB} = \text{Faktor } 149.62$$

Lösungsweg:

$$212W \times 149.62 = 31715 \text{ W ERP}$$

Aufgrund geringer Verluste ist mit 31'650 W ERP zu rechnen.

31'650 Watt ERP *maximale Sendeleistung bei Datenübertragung in eine Richtung*

Quelle siehe oben

31'650 Watt ERP *entspricht einer Sendeleistung von rund 40 Mikrowellen-Öfen*

Sendeleistung eines durchschnittlichen Mikrowellen-Ofens: 800 W ERP

$$\frac{31650W}{800W} = 39.6$$

7'840 Watt ERP *aktuelle Sendeleistung, Datenübertragung in mehrere Richtungen*

Quelle: Präsentation von Ericsson „5G och EMF“

Seite 8

Sendet die Antenne in mehrere Richtungen, ist mit der Grafik rechts zu rechnen. Die Sendeleistung beträgt ein Viertel gegenüber der maximalen Sendeleistung.

Formel für die Sendeleistung ERP:

$$P_T \times G_T = ERP$$

P_T = aufgenommene Leistung [W]

G_T = Gewinn [Faktor]

ERP = effektive radiated power

Gegeben:

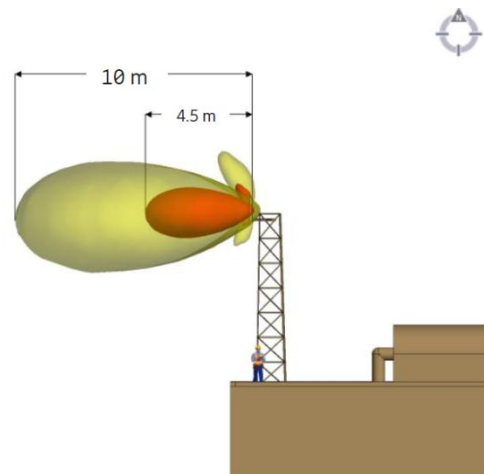
$$P_T = 0.75 \times 50W \times 1.4 = 52.5 W$$

$$G_T = 23.9 \text{ dBi} = 21.75 \text{ dB} = \text{Faktor } 149.62$$

Lösungsweg:

$$52.2W \times 149.62 = 7855W \text{ ERP}$$

Aufgrund geringer Verluste ist mit 7'840 W ERP zu rechnen.



7'840 Watt ERP **entspricht einer Sendeleistung von 10 Mikrowellen-Öfen**

Sendeleistung eines durchschnittlichen Mikrowellen-Ofens: 800 W ERP

$$\frac{7840W}{800W} = 9.8$$

500 Meter **Reichweite auf 3'400 MHz für Basisantennen (guter Empfang)**

Diese Zahl ist eine Schätzung und sehr stark abhängig von der Witterung, der Topografie und eventueller Hindernisse (Bäume, Gebäude, Menschen etc.) Sie bezieht sich nur auf den Aussenraum.

Quelle: www.5g-anbieter.info

Mündliche Berichte von Testnutzern und Funktechnikern

800 Meter **maximaler Ideal-Abstand zwischen den Basisantennen**



Faktenblatt zum Endausbau 5G, Quellen und Berechnungen

Quelle: Präsentation von Ericsson-Mitarbeiter Erik Ekkuden „Innovation in the 5G Network Platform“

Das Bild zeigt eine Teststrecke, ausgestattet mit 5G-Antennen. Es ist wichtig, dass sich die blauen Bereiche (Reichweite) überschneiden, damit ein guter Empfang gewährleistet wird.

<100 Meter	Reichweite auf 28'000 MHz für mittlere Antennen (guter Empfang)
----------------------	--

Quellen: Mündliche Berichte von Funktechnikern

150 Meter	maximaler Ideal-Abstand zwischen den mittleren Antennen
------------------	--

Quelle: <https://www.netzwoche.ch/news/2017-03-10/der-steinige-weg-zu-5g> Aussage des Stellvertretenden Generaldirektors des BAKOMS

15'000	neue Mobilfunkanlagen in der Schweiz mindestens nötig
---------------	--

Quelle: <https://nzzas.nzz.ch/wirtschaft/mobilfunk-5g-15000-zusaetzliche-antennen-id.1458592?reduced=true>

4838	Basis-Antennen im Siedlungsgebiet für Endausbau nötig
-------------	--

Berechnung:

Siedlungsfläche der Schweiz:	3096.3 km ²
Theoretisches Quadrat von:	55'644m x 55'644m
Anzahl Basis-Antennen im Abstand von 800m:	69.555 x 69.555 = 4838 Antennen

132'803 **mittlere Antennen mit hohen Frequenzen (z.B. 28'000 MHz) im Schweizer Siedlungsgebiet für Endausbau nötig**

Berechnung:

Siedlungsfläche der Schweiz:	3096.3 km ²
Theoretisches Quadrat von:	55'645m x 55'645m
Anzahl mittlere Antennen, Abstand von 150m:	371 x 371 = 137'641 Antennen
Abzüglich Basis-Antennen	137'641 – 4838 = 132'803

Grenzwerte (auf Antennenhöhe, für 3'400 MHz)

20 Meter **Abstand zur Antenne: 61 V/m, eine Senderichtung →**

Quelle: Präsentation von Ericsson „5G och EMF“ Seite 8

250 Meter **Abstand zur Antenne: 5 V/m, eine Senderichtung →**

Berechnung:

Formel Distanz-Berechnung

$$CD = \sqrt{\frac{P_T \times G_T}{4 \times \pi \times S_L}}$$

P_T = aufgenommene Leistung [W]

G_T = Gewinn [Faktor]

S_L = Leistungsdichte [W/m²]

Gegeben:

P_T = 212 W

G_T = 23.9 dBi = Faktor 245

S_L = 0.066 W/m²

Lösungsweg:

$$CD = \sqrt{\frac{212W \times 245}{4 \times \pi \times 0.066}} = 250.25m$$

10 Meter **Abstand zur Antenne: 61 V/m, mehrere Senderichtungen** ↔

Quelle: Präsentation von Ericsson „5G och EMF“ Seite 8

125 Meter **Abstand zur Antenne: 5 V/m, mehrere Senderichtungen** ↔

Berechnung:

Formel Distanz-Berechnung

$$CD = \sqrt{\frac{P_T \times G_T}{4 \times \pi \times S_L}}$$

P_T = aufgenommene Leistung [W]

G_T = Gewinn [Faktor]

S_L = Leistungsdichte [W/m^2]

Gegeben:

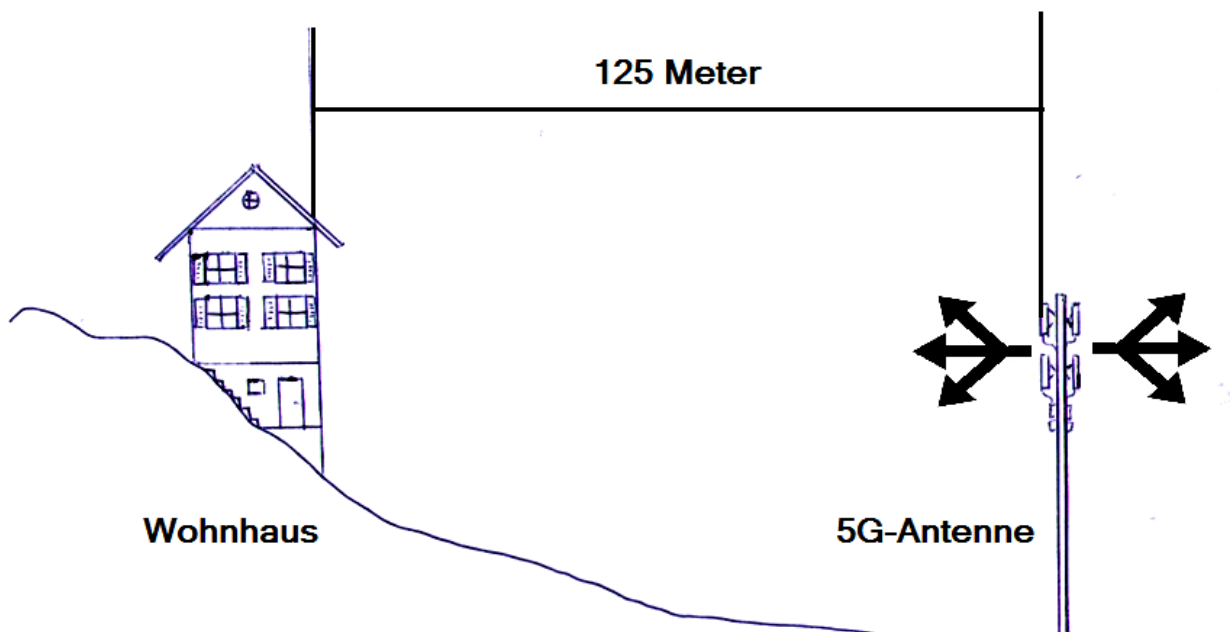
$P_T = 52.5 \text{ W}$

$G_T = 23.9 \text{ dBi} = \text{Faktor } 245$

$S_L = 0.066 \text{ W/m}^2$

Lösungsweg:

$$CD = \sqrt{\frac{52.5W \times 245}{4 \times \pi \times 0.066}} = 124.5m$$



61 V/m	Feldstärke; maximaler Grenzwert für kurzzeitigen Aufenthalt
5 V/m	Feldstärke; Grenzwert für dauerhaften Aufenthalt

Quelle: BAKOM

Auswirkungen für Betrieb in mehrere Senderichtungen
(gerechnet ohne kleine Antennen, Clouds, Verstärkeranlagen, Leitungen, Masten und Endgeräte)

61 V/m	werden auf Autobahnen und verkehrsreichen Strecken erreicht
5 V/m	werden flächendeckend in besiedelten Gebieten erreicht

Quelle: Eigene Schätzung aufgrund der Abstände der Anlagen und der Grenzwerte

0.0146 Watt	absorbiert das Auge bis 1.53 cm Tiefe
--------------------	--

Berechnung:

Formel der Eindringtiefe von Mikrowellen:

$$PD = \frac{\lambda_0}{2\pi} \times \frac{\sqrt{\epsilon'}}{\epsilon''}$$

λ_0 = Wellenlänge im Vakuum [m]

ϵ' = Realteil des komplexen Dielektrizitätskoeffizienten

ϵ'' = Imaginärteil des komplexen Dielektrizitätskoeffizienten

Gegeben (Schätzwerte, da sich das Auge verändern kann)

$$\lambda_0 = 0.088174 \text{ m}$$

$$\epsilon' = 76$$

$$\epsilon'' = 8$$

Lösungsweg:

$$PD = \frac{0.088174}{2\pi} \times \frac{\sqrt{76}}{8} = 0.01529 \text{ m} = 1.53 \text{ cm}$$

Berechnung:

Formel Energieaufnahme

$$P = 2 \times \pi \times f \times \epsilon_0 \times \epsilon'' \times E^2 \times V$$

Rebekka Meier, 5g-moratorium@gmx.ch

aktualisiert am 18.06.2019

Faktenblatt zum Endausbau 5G, Quellen und Berechnungen

P = vom Material absorbierte Leistung [W]

f = Frequenz der Mikrowellenstrahlung [Hz]

ϵ_0 = elektrische Feldkonstante

ϵ'' = Imaginärteil des komplexen Dielektrizitätskoeffizienten

E = Feldstärke [V/m]

V = Volumen [m³]

Gegeben

$f = 3400'000'000$ Hz

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$

$\epsilon'' = 8$

$E = 61$ V/m

$V = 2.601 \text{ cm}^3 = 2.601 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Lösungsweg:

$$P = 2 \times \pi \times 3.4 \times 10^9 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 8 \times 61^2 \times 2.601 \times 10^{-6} = 0.0146 \text{ W}$$

1.34°C

erwärmt sich das Auge bis 1.53 cm Tiefe im Abstand von 10 Meter zur Antenne bei dauerhafter Bestrahlung

Berechnung:

Formel Wärme-Berechnung

$$\Delta T = \frac{P \times t}{V \times \rho_{\text{Wasser}} \times c_{\text{Wasser}}}$$

P = aufgenommene Leistung [W]

ΔT = Temperaturdifferenz [°C]

V = Volumen [m³]

t = Zeit [s]

Gegeben:

$P = 0.0146$ W

$V = 2.601 \text{ cm}^3 = 2.601 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

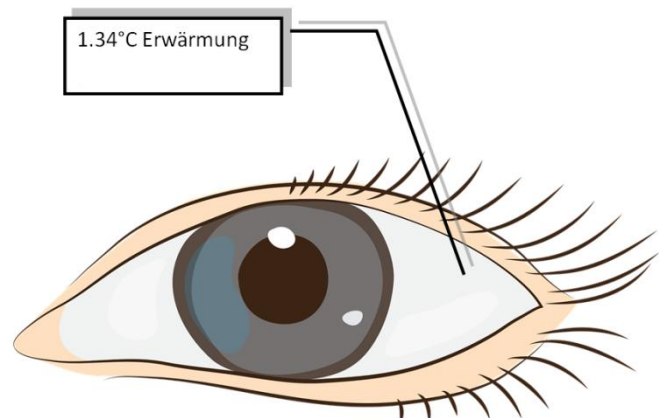
$t = 1$ s

$\rho_{\text{Wasser}} = 1$

$c_{\text{Wasser}} = 4180$

Lösungsweg:

$$\Delta T = \frac{0.0146 \text{ W} \times 1000 \text{ s}}{2.601 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \times 1000 \times 4180} = 1.34^\circ \text{C}$$



60kg**wiegt eine einzelne 5G-Antenne für 3'400 MHz**

Quelle: Datenblatt zur Antenne AIR 6468 von Ericsson, gerundet

25'641Tonnen**Elektroschrott fallen an, nur Basis- & mittlere Antennen gerechnet**

Quellen: - Datenblatt zur Antenne AIR 6468 von Ericsson
 - Standortdatenblätter zu im 2019 geplanten Antennen in Grenchen

Berechnung:

Annahme: Jede Anlage deckt 360° ab und hat damit drei Sektoren.

Basis-Antennen: In Jedem Sektor befinden sich zwei frequenzgemischte Antennen und eine Antenne mit Frequenzen um 3400 GHz

Mittlere Antennen: In jedem Sektor befindet sich eine Antenne mit höheren Frequenzen

Gewicht der einzelnen Antennen-Körper: je 60kg

Gewicht der Hochfrequenzantennen-Körper: geschätzt je 30kg

Gesamtgewicht Basis-Antenne: $9 \times 60 \text{ kg} = 540 \text{ kg}$ Gewicht aller 4'838 Basis-Antennen: $540 \text{ kg} \times 4'838 = 2'612'520 \text{ kg}$ Gesamtgewicht Mittlere Antennen: $3 \times 30\text{kg} = 90 \text{ kg}$ Gewicht aller 132'803 mittleren Antennen: $90 \text{ kg} \times 132'803 = 11'952'270 \text{ kg}$ Gesamtgewicht Basis- und mittlere Antennen: $2'612'520 \text{ kg} + 11'952'270 \text{ kg} = 14'564.8 \text{ Tonnen}$

Auch hier werden nur die Antennen im Siedlungsgebiet berücksichtigt!

Stromverbrauch der Antennen im Endausbau im Siedlungsgebiet (Schätzung)

10.8 kWh	Verbrauch einer Basis-Mobilfunkantenne pro Tag
3.6 kWh	Verbrauch einer mittleren Antenne pro Tag
193.5 GWh	Verbrauch aller Basis und mittleren 5G-Mobilfunkanlagen pro Jahr

Annahmen:

- Eine Mobilfunkantenne kann zwar viel mehr Leistung beziehen, wird aber nicht durchgehend genutzt. Eine 5G-Antenne mit Frequenzen um 3'400 MHz braucht theoretisch 200W während der Sendezeit. Ich nehme an, dass sie ein Viertel der Zeit sendet und somit durchschnittlich 50W Eingangsleistung hat. Dies nehme ich auch von den anderen Antennen mit niedrigeren Frequenzen an.
- Jede Anlage deckt 360° ab und hat damit drei Sektoren.
- Basis-Antennen: In Jedem Sektor befinden sich zwei frequenzgemischte Antennen und eine Antenne mit Frequenzen um 3400 GHz d.h. total 3 Antennen pro Sektor
- Mittlere Antennen: In jedem Sektor befindet sich eine Antenne mit höheren Frequenzen

Eingangsleistung gesamthaft Basis-Antenne: $50W \times 9 = 450 W$

Verbrauch einer Basis-Antenne pro Tag: $450 W \times 24 h = 10.8 kWh$

Eingangsleistung gesamthaft mittleren Antenne: $50W \times 3 = 150 W$

Verbrauch einer Basis-Antenne pro Tag: $150 W \times 24 h = 3.6 kWh$

Verbrauch aller Basis-Antennen pro Jahr: $10.8 kWh \times 365 \times 4'838 = 19'071'396 kWh$

Verbrauch aller mittleren Antennen pro Jahr: $3.6 kWh \times 365 \times 132'803 = 174'503'142 kWh$

Gesamtverbrauch aller Basis-

und mittleren Antennen: $19.071 GWh + 174.503 GWh = 193.574 GWh$

193.6 GWh	entsprechen dem Jahres-Verbrauch von 48'394 Schweizer Haushalten
------------------	---

Quelle: Website Kraftwerk Augst <https://www.kwa.ch/> Durchschnittlicher Stromverbrauch Schweizer Haushalte: 4000 kWh pro Jahr