

## Einsatz von WLAN in Schulen: Wie sieht es mit der "Strahlung" aus?

Prof. Dr.-Ing. M. Wuschek  
Technische Hochschule Deggendorf



Dieter-Görlitz-Platz 1, D-94469 Deggendorf  
Prof. Dr.-Ing. M. Wuschek

matthias.wuschek@th-deg.de

0

### Persönliche Tätigkeitsschwerpunkte

- Professor für Nachrichtenübertragung und Mobilfunktechnologie an der Technischen Hochschule Deggendorf.
- Leiter des Labors für Elektromagnetische Verträglichkeit.
- Messung bzw. Berechnung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von Feldquellen. Gutachter- und Beratertätigkeit.
- Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für "Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU)".
- Mitarbeit in nationalen Gremien, die sich mit dem Themenbereich "Elektromagnetische Felder und Umwelt" beschäftigen.
- Mitglied im Ausschuss "Nichtionisierende Strahlen" der Strahlenschutzkommission (SSK).

- Einführung
- WLAN-Systeme und deren Immissionen: Grundsätzliches
- Grenzwerte für hochfrequente Immissionen
- Schützen die Grenzwerte ausreichend?
- Messungen von WLAN-Immission: Beispiele
- Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte
- Vergleich der WLAN-Immissionen mit denen anderer Hochfrequenzquellen
- Zusammenfassung

- Tablet- und Notebook-Computer, die über WLAN vernetzt sind, werden inzwischen in immer mehr Schulen im Unterricht eingesetzt.
- Manche Umweltschutzorganisationen oder "Experten" unterschiedlichster Art sehen den Einsatz von WLAN in Schulen (mehr oder weniger) kritisch.
- Die Bandbreite der Meinungen geht hierbei von völliger Ablehnung dieser Technologie einerseits bis hin zum "vernünftigen, immissionsminimierten" Einsatz auf der anderen Seite.
- Daher wird der Einsatz der drahtlosen Datenkommunikation in Schulen auch nicht von allen Eltern (und Lehrern) positiv gesehen.
- Für eine objektive Beurteilung des Risikos einer negativen gesundheitlichen Beeinflussung durch WLAN ist es zunächst unbedingt notwendig, über verlässliche Informationen bezüglich der Größe der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von WLAN-Systemen und den aktuellen Stand der Risikobewertung von Hochfrequenzfeldern zu verfügen.
- Nur unter dieser Voraussetzung ist eine emotionsfreie, sachliche Risikoeinordnung der WLAN-Technologie möglich.
- In diesem Vortrag sollen diese Informationen - in Kurzform - zur Verfügung gestellt werden.

## Agenda

- Einführung
- **WLAN-Systeme und deren Immissionen: Grundsätzliches**
- Grenzwerte für hochfrequente Immissionen
- Schützen die Grenzwerte ausreichend?
- Messungen von WLAN-Immission: Beispiele
- Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte
- Vergleich der WLAN-Immissionen mit denen anderer Hochfrequenzquellen
- Zusammenfassung

## WLAN-Technologien

- Die in Deutschland verwendeten WLAN-Systeme (Accesspoints, Endgeräte) arbeiten nach dem international weit verbreiteten Standard IEEE 802.11.
- Die Module nutzen Frequenzen in Bereich zwischen 2,4 und 2,5 bzw. im Bereich zwischen etwa 5,1 und 5,7 GHz.
- Der IEEE-Standard wurde in den vergangenen Jahren stetig weiterentwickelt mit dem Ziel, einer immer größeren Leistungsfähigkeit, d.h. die maximal übertragbare Datenrate wurde immer weiter gesteigert (Bruttodatenraten von anfangs ca. 10 Mbit/s auf inzwischen über 1 Gbit/s).
- Spezielle Varianten des Standards wurden z.B. für den Einsatz im Kfz optimiert.
- Die Hauptanwendung von WLAN liegt in der Datenvernetzung über kurze Strecken sowohl im privaten als auch im gewerblichen und industriellen Umfeld, sowie im öffentlichen Bereich.



**Von welchen Parametern ist die Größe der Exposition von Personen gegenüber WLAN-Hochfrequenzfeldern hauptsächlich abhängig?**

- **Abgestrahlte Leistung der WLAN-Module**

- Die maximal zulässige Leistung für WLAN-Sendemodule wird in Deutschland durch die Bundesnetzagentur festgelegt. An diese Werte haben sich die Hersteller der WLAN-Komponenten zu halten. (Siehe dazu: Verfügung 7/2010 und 10/2013 der BNetzA).
- Im Frequenzbereich zwischen 2,4 und 2,5 GHz dürfen WLAN-Module (egal ob Router oder Endgerät) maximal eine Leistung von **100 Milliwatt** abstrahlen ("Equivalent isotrope Strahlungsleistung" EIRP).
- Im Frequenzbereich zwischen 5,15 und 5,35 GHz sind es maximal **200 Milliwatt**.
- Im Frequenzbereich zwischen 5,47 und 5,725 GHz sind es maximal **1.000 Milliwatt**.
- Zum Vergleich: Ein Mobiltelefon besitzt eine maximale EIRP von etwa **200 Milliwatt**, eine Mobilfunkbasisstation typisch mehrere **1.000 Watt**.

**Von welchen Parametern ist die Größe der Exposition von Personen gegenüber WLAN-Hochfrequenzfeldern hauptsächlich abhängig?**

- **Entfernung zur Feldquelle**

- Betrieb mit **Körperkontakt** (Tablet auf dem Schoß, Smartphone, Uhr.....).
- **Körpernaher** Betrieb (Notebook auf dem Tisch).
- **Körperferner** Betrieb (Accesspoint an der Wand oder im Flur).
- Starke Abnahme der Exposition mit dem Abstand; Übergang von Teilkörper- zur Ganzkörperexposition.

## Agenda

- Einführung
- WLAN-Systeme und deren Immissionen: Grundsätzliches
- Grenzwerte für hochfrequente Immissionen
- Schützen die Grenzwerte ausreichend?
- Messungen von WLAN-Immission: Beispiele
- Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte
- Vergleich der WLAN-Immissionen mit denen anderer Hochfrequenzquellen
- Zusammenfassung

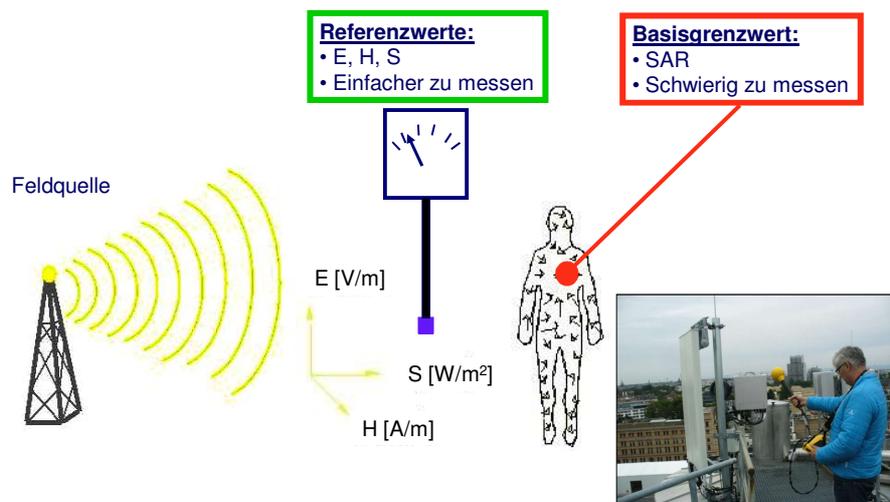
## Grenzwerte für hochfrequente Immissionen: Grundlagen 1

- Grenzwerte werden festgelegt, um die Menschen vor wissenschaftlich nachgewiesenen Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder zu schützen.
- Wesentliche Wirkung im Hochfrequenzbereich: Erwärmung des Körpergewebes (und damit verbundene negative Auswirkungen), verursacht durch die Absorption von hochfrequenter Feldenergie durch das menschliche Gewebe.



- International üblich ist bei Personen der Allgemeinbevölkerung für Ganzkörperexposition ein so genannter "Basisgrenzwert" von **0,08 Watt/kg** ("Spezifische Absorptionsrate", SAR). Dieser liegt etwa um den Faktor 50 unterhalb der Schwelle für nachgewiesene negative gesundheitliche Auswirkungen.

- Für Teilkörperexposition sind deutlich höhere SAR-Werte zulässig, da u.a. der Blutkreislauf des Körpers die lokal absorbierte Wärme im Körper verteilt.
  - Kopf / Oberkörper: **2 Watt/kg**
  - Extremitäten: **4 Watt/kg**
- SAR-Werte beziehen sich auf die im Mittel vom Körper absorbierte Leistung (Mittelungsintervall: 6 Minuten)
- Zur einfacheren messtechnischen Bestimmung werden aus den Basisgrenzwerten so genannte "Referenzwerte" abgeleitet. Bei deren Einhaltung ist sichergestellt, dass auf jeden Fall auch der dazugehörige Basisgrenzwert eingehalten ist.
- Folgende Referenzwerte sind für hochfrequente Felder (ab 10 MHz) definiert:
  - Elektrische Feldstärke in Volt / Meter (V/m)
  - Magnetische Feldstärke in Ampere / Meter (A/m)
  - Leistungsdichte S in Watt / Quadratmeter ( $W/m^2$ )



- Grenzwerte nach 26. BImSchV für den Frequenzbereich des WLAN (> 2 GHz):
  - **61 V/m** für das elektrische Feld
  - **0,16 A/m** für das magnetische Feld
  - **10 W/m<sup>2</sup>** für die Leistungsdichte
- Einzuhalten an Orten die zum *dauerhaften oder vorübergehenden Aufenthalt* von Personen bestimmt sind bei *höchster betrieblicher Anlagenauslastung*.
- Die Vorgaben der 26. BImSchV sind allerdings nur bei Anlagen mit mehr als 10 Watt EIRP anzuwenden. Daher ist die Verordnung weder für WLAN-Accesspoint noch für die Endgeräte relevant.
- Derartige Kleinleistungssender fallen jedoch unter das Funkanlagengesetz, das auf die Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung 99/519 EU referenziert. Die dort angegebenen Grenzwerte sind im Hochfrequenzbereich identisch mit denen der 26. BImSchV. Somit sind letztlich für WLAN-Komponenten die *gleichen Grenzwertvorgaben* anzuwenden, wie für leistungsstarke Sender (Mobilfunkbasisstationen, Rundfunksender) gemäß 26. BImSchV.

- Einführung
- WLAN-Systeme und deren Immissionen: Grundsätzliches
- Grenzwerte für hochfrequente Immissionen
- **Schützen die Grenzwerte ausreichend?**
- Messungen von WLAN-Immission: Beispiele
- Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte
- Vergleich der WLAN-Immissionen mit denen anderer Hochfrequenzquellen
- Zusammenfassung

## Schützen die Grenzwerte ausreichend? Deutsches Mobilfunkforschungsprogramm (DMF)

- Situation im Jahr 2000: Grenzwerte für Hochfrequenz basieren auf dem thermischen Wirkungsmodell.
- Einzelne Studien zeigten jedoch auch Effekte, die nicht auf der thermischen Wirkung beruhen können, z.B.
  - Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke
  - Effekte auf neurophysiologische und kognitive Prozesse
  - Potenzielle Langzeiteffekte auf Blut, Immunsystem, Reproduktion und Entwicklung
  - Krebsentstehung oder Krebspromotion
  - Gehirntumorrisiko bei Handy-Langzeitnutzung
  - Elektrosensibilität
- Aus diesem Grund empfahl die SSK die Intensivierung der Forschung im Bereich Mobilfunk und Gesundheit, damit die noch offenen Fragen besser beantwortet werden können.
- Den Fragestellungen wurde hauptsächlich im Rahmen des "Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms" näher nachgegangen, das vom Bundesamt für Strahlenschutz in den Jahren 2002 bis 2008 mit einem Budget von ca. 17 Millionen € durchgeführt wurde. (Link: [www.emf-forschungsprogramm.de](http://www.emf-forschungsprogramm.de))

## Ergebnisse des DMF

- Ursprüngliche Befürchtungen über bisher unerkannte gesundheitliche Risiken konnten nicht erhärtet werden.
- Das Vorhandensein von negativen nichtthermischen Effekten konnte nicht bestätigt werden.
- Die Grenzwerte der 26. BImSchV müssen nicht in Frage gestellt werden.
- Die Ergebnisse des DMF decken sich mit den Ergebnissen wissenschaftlicher Forschungsprogramme aus anderen Ländern.

Gute Quelle für tiefer gehende Informationen:



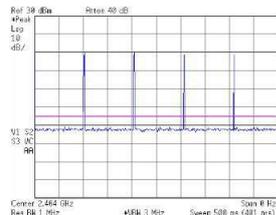
## Agenda

- Einführung
- WLAN-Systeme und deren Immissionen: Grundsätzliches
- Grenzwerte für hochfrequente Immissionen
- Schützen die Grenzwerte ausreichend?
- **Messungen von WLAN-Immission: Beispiele**
- Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte
- Vergleich der WLAN-Immissionen mit denen anderer Hochfrequenzquellen
- Zusammenfassung

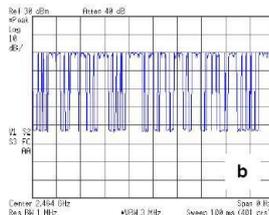
## Einfluss der Auslastung der WLAN-Kommunikationsverbindung auf die Größe der Immission

- Die Leistungsabstrahlung von Accesspoint und Endgerät ist stark von der aktuellen Auslastung der Kommunikationsverbindung(en) abhängig.
  - **Endgerät:** Abgestrahlte Leistung variiert zwischen Null (Keine aktuelle Kommunikation) und dem maximal möglichen Wert.
  - **Accesspoint:** Abgestrahlte Leistung variiert zwischen einem minimalen Wert (verursacht durch die "Beaconsignale") und dem maximal möglichen Wert

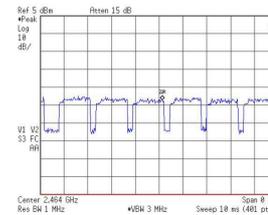
Beispiel: WLAN-Accesspoint mit drei unterschiedlichen Auslastungszuständen:



**Keine Last:** Nur Beaconsignale (hier alle 100 ms)  
 → Mittlere Leistung hier nur 1/400 der maximal möglichen Leistung.



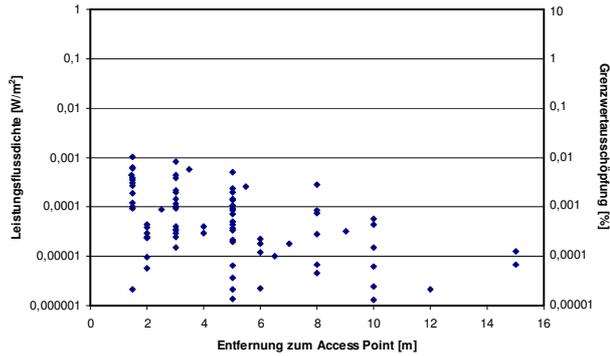
**50 % Auslastung:**  
 → Mittlere Leistung 50 % der maximal möglichen Leistung.



**100 % Auslastung:**  
 → Mittlere Leistung entspricht etwa der maximal möglichen Leistung.

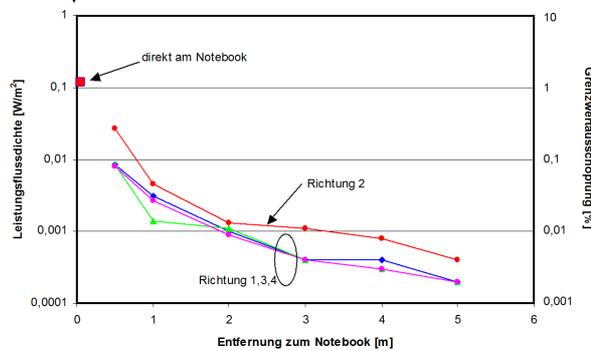
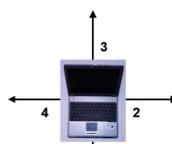
**Immission durch WLAN-Accesspoints: Messung an der Technischen Hochschule Deggen Dorf (2004)**

- 85 Messpunkte in verschiedenen Abständen (mit und ohne Sichtverbindung) zu WLAN-Accesspoints im 2,4-GHz-Band.
- Maximal gefundene Leistungsdichte-Grenzwertausschöpfung: **0,1 Promille** (Exposition für höchstmögliche Leistungsabstrahlung).



Prof. Dr.-Ing. M. Wuschek

**Immission durch das WLAN-Modul (2,4 GHz) in einem Notebook: Messung im Labor bei der IMST GmbH in Kamp-Lintfort (2005)**



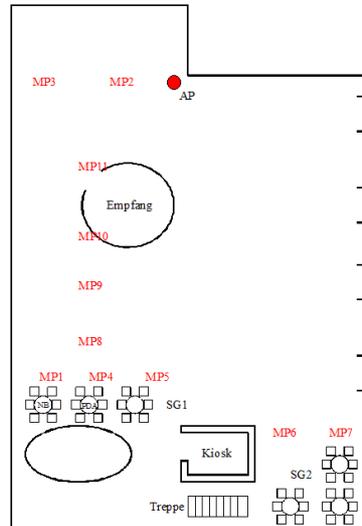
→ Leistungsdichte-Grenzwertausschöpfung: max. ca. **2 Promille** in ca. 0,5 m Abstand (Exposition für höchstmögliche Leistungsabstrahlung).

Prof. Dr.-Ing. M. Wuschek

## Immission durch Accesspoint und Endgerät (2,4 GHz): Messung in einer Besucherlounge in Bonn (2005)



- 11 Messpunkte in verschiedenen Abständen zum WLAN-Accesspoint und zum Endgerät.
- Maximal gefundene Leistungsdichte-Grenzwertausschöpfung: **0,4 Promille** (Exposition für höchstmögliche Leistungsabstrahlung).



## Agenda

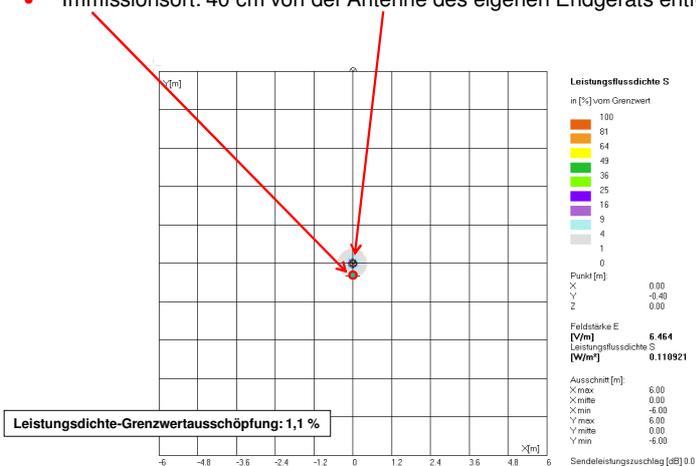
- Einführung
- WLAN-Systeme und deren Immissionen: Grundsätzliches
- Grenzwerte für hochfrequente Immissionen
- Schützen die Grenzwerte ausreichend?
- Messungen von WLAN-Immission: Beispiele
- **Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte**
- Vergleich der WLAN-Immissionen mit denen anderer Hochfrequenzquellen
- Zusammenfassung

## Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte

- Häufig wird argumentiert, dass der gleichzeitige Betrieb vieler WLAN-Module z.B. in einem Raum durch Überlagerung der Felder zu einer starken Kumulation der Hochfrequenzimmission führt.
- Nehmen wir an, dass bei Betrieb eines Tablet-Computers am Benutzer eine leistungsbezogene Immission der Größe X vorhanden ist.
- Was schätzen Sie? Wie groß ist dann die Immission dieser Person wenn insgesamt 25 Personen in einem Raum ein Tablet mit WLAN nutzen? 2·X oder 5·X oder 25·X?
- Zur Klärung der Fragestellung kann eine einfache Simulation viel beitragen.

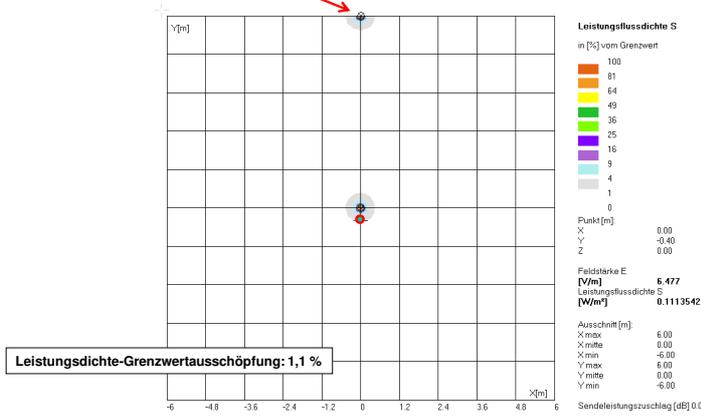
## Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte in einem Klassenzimmer 1

- Annahme: Abgestrahlte Leistung 300 mW (EIRP), omnidirektionale Antenne.
- Immissionsort: 40 cm von der Antenne des eigenen Endgeräts entfernt.



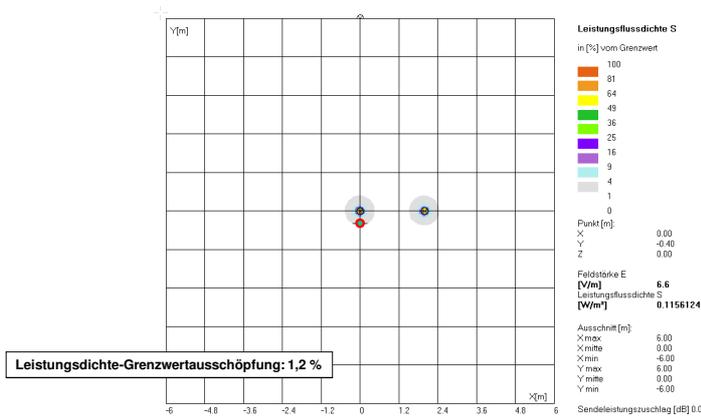
### Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte in einem Klassenzimmer 2

- Zusätzlich: Accesspoint in 6 Meter Entfernung.



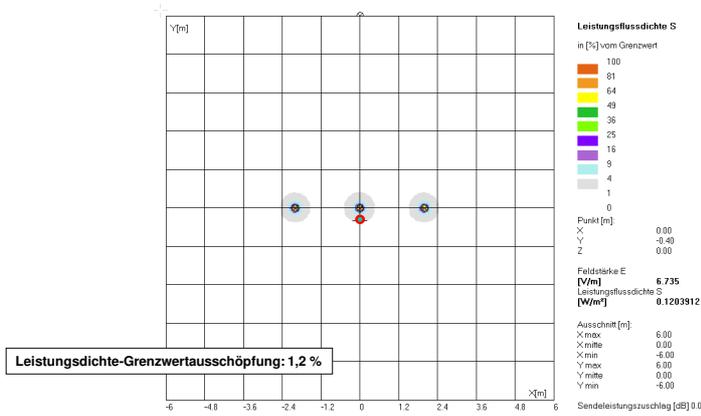
### Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte in einem Klassenzimmer 3

- Zusätzlich: Endgerät in 2 Meter Entfernung.



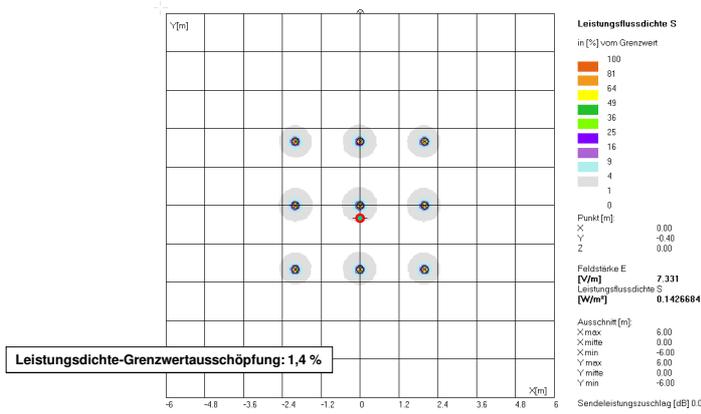
### Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte in einem Klassenzimmer 4

- Zusätzlich: Zwei Endgeräte in jeweils 2 Meter Entfernung.



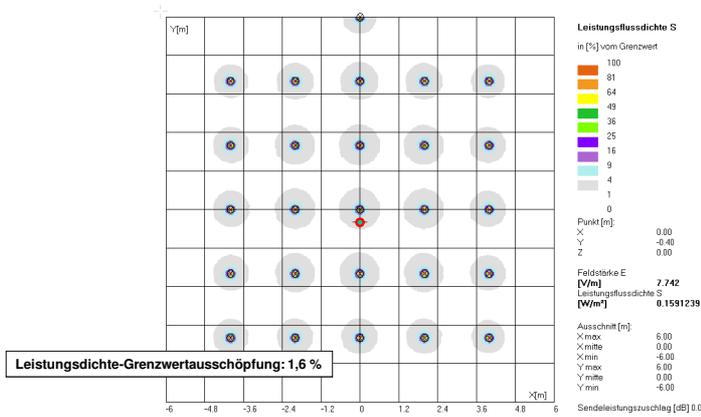
### Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte in einem Klassenzimmer 5

- Zusätzlich: 8 Endgeräte in jeweils 2 bzw. 2,8 Meter Entfernung (2-Meter-Schulbank-raster).



## Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte in einem Klassenzimmer 6

- Zusätzlich: 24 Endgeräte plus Accesspoint im 2-Meter-Schulbankraaster (Volles Klassenzimmer).



## Kumulation im Klassenzimmer: Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

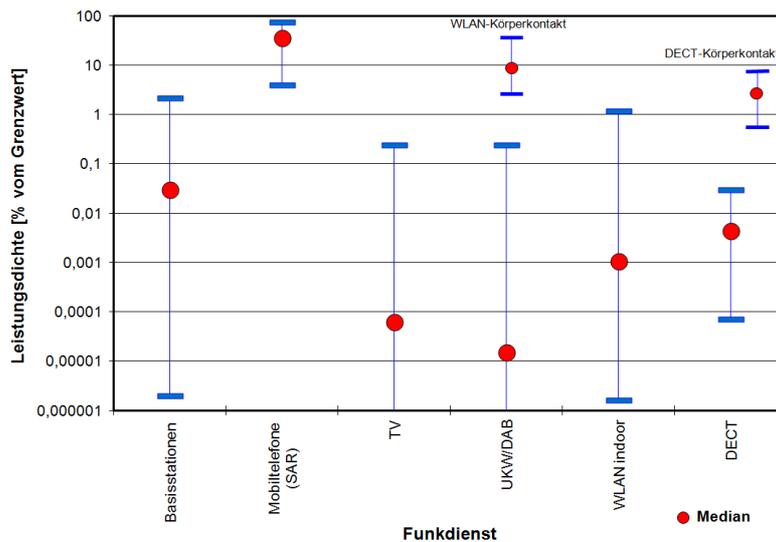
WLAN aktiv	Eigenes	Eigenes + AP	Eigenes + ein Nachbar	Eigenes + 2 Nachbarn	Eigenes + 8 Nachbarn	Eigenes + 24 Nachbarn + AP
Leistungsdichte	0,111 W/m <sup>2</sup>	0,111 W/m <sup>2</sup>	0,116 W/m <sup>2</sup>	0,120 W/m <sup>2</sup>	0,143 W/m <sup>2</sup>	0,159 W/m <sup>2</sup>
proz. Grenzwertausschöpfung bzgl. Leistungsdichte	1,1 %	1,1 %	1,2 %	1,2 %	1,4 %	1,6 %

- Das eigene Endgerät ist für den deutlich größten Beitrag zur persönlichen WLAN-Immission verantwortlich.
- Bereits die Endgeräte der unmittelbaren Sitznachbarn im Klassenzimmer liefern nur noch einen marginalen Beitrag zur individuellen WLAN-Summenimmission.
- Dies gilt insbesondere auch für den Accesspoint, der gewöhnlich deutlich weiter von den Schülern entfernt ist, als die eigenen Endgeräte.
- Die in dieser vereinfachten Simulation errechneten Werte überschätzen die Immission. Der Grund dafür liegt in der Annahme, dass alle Endgeräte und der Accesspoint mit ihrer maximalen Leistung senden, was bei einem WLAN-Netzwerk in der Realität prinzipiell gar nicht möglich ist.

## Agenda

- Einführung
- WLAN-Systeme und deren Immissionen: Grundsätzliches
- Grenzwerte für hochfrequente Immissionen
- Schützen die Grenzwerte ausreichend?
- Messungen von WLAN-Immission: Beispiele
- Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte
- Vergleich der WLAN-Immissionen mit denen anderer Hochfrequenzquellen
- Zusammenfassung

## Vergleich der WLAN-Immissionen mit denen anderer Hochfrequenzquellen





Funktechnik	Brückenbau
Grenzwert	10 t
Funkdienst	Vergleichbare Brückenbelastung
Mobiltelefon	ca. 4 t
Mobilfunkbasisstation	ca. 2 kg
DECT-Telefon	ca. 200 kg
DECT-Basisstation	ca. 500 g
WLAN (Körperkontakt)	ca. 900 kg
WLAN im Gebäude	ca. 100 g

- Einführung
- WLAN-Systeme und deren Immissionen: Grundsätzliches
- Grenzwerte für hochfrequente Immissionen
- Schützen die Grenzwerte ausreichend?
- Messungen von WLAN-Immission: Beispiele
- Kumulation der Exposition bei gleichzeitigem Betrieb vieler Endgeräte
- Vergleich der WLAN-Immissionen mit denen anderer Hochfrequenzquellen
- Zusammenfassung

### Zusammenfassung: Exposition durch WLAN

- Die individuelle Exposition durch WLAN im Schulumfeld ist hauptsächlich vom Abstand zu den Quellen und den aktuell von den Quellen abgestrahlten Sendeleistungen abhängig.
- Aufgrund der geringen Maximalleistung von WLAN-Sendemodulen bleibt die Immission des Nutzers bereits in wenigen zehn Zentimeter Abstand von der Quelle typisch unter einem Promille der maximal zulässigen Leistungsdichte.
- Bei größeren Abständen zur Quelle oder geringer Auslastung der Kommunikationsverbindung nimmt die Immission sehr schnell weiter ab.
- Aus diesem Grund ergibt sich bei Betrieb vieler einzelner WLAN-Module z.B. in einem Klassenzimmer keine nennenswerte Kumulationswirkung bezüglich der individuellen Hochfrequenzimmission.
- Auch wenn es aufgrund der geringen Größe der Hochfrequenzimmission bei WLAN nicht wirklich notwendig erscheint, sind Maßnahmen zur Minimierung der Exposition natürlich immer denkbar, insbesondere dann, wenn sie in der Praxis einfach und unproblematisch durchführbar sind (z.B. Abstände, Sendeleistungsreduzierung, LAN statt WLAN).

### Aktuelle Stellungnahme des BfS u.a. zum Thema WLAN (Schriftliche Antwort auf eine Anfrage vom 02.11.2017)

- "WLAN und 5G emittieren hochfrequente elektromagnetische Felder. Gesundheitliche Risiken dieser Felder wurden national und international, u.a. auch im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms, untersucht. Unterhalb der derzeit in Deutschland geltenden Grenzwerte sind keine negativen gesundheitlichen Auswirkungen nachgewiesen, dies gilt auch für WLAN.
- Entsprechend dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand besteht kein kausaler Zusammenhang zwischen einer subjektiv empfundenen Elektrosensibilität und elektromagnetischen Feldern.
- Das BfS orientiert sich bei seiner Bewertung von Risiken durch hochfrequente elektromagnetische Felder nicht an einzelnen Publikationen oder sogar Appellen, sondern an der Gesamtheit aller vorliegenden wissenschaftlichen Studien und bezieht dabei auch die Bewertungen internationaler Gremien, denen der gesamte aktueller Stand der Forschung zugrunde liegt, mit ein.

- Die Empfehlung des BfS, an Schulen kabelgebundene Lösungen gegenüber WLAN zu bevorzugen, falls dies möglich ist, stammt aus einer Anhörung des Ausschusses für Umwelt und Verbraucherschutz des bayerischen Landtages am 07.12.2006. Sie wurde aus Vorsorgegründen ausgesprochen und war damals durch bestehende wissenschaftliche Kenntnislücken begründet.
- Die in der Zwischenzeit durchgeführte internationale Forschung hat nicht gezeigt, dass Kinder und Jugendliche empfindlicher auf elektromagnetische Felder der Funkanwendungen reagieren als Erwachsene.
- Zudem ist die Sendeleistung und dadurch auch die Strahlenbelastung bei WLAN-Nutzung üblicherweise auch geringer, als z.B. bei Handynutzung über die nächstgelegene Basisstation.
- Dass BfS rät nicht grundsätzlich von einer WLAN-Nutzung an Schulen ab, empfiehlt aber vorsorglich die Exposition so weit wie möglich zu minimieren. Dies kann auch durch einen größeren Abstand zu den WLAN-Accesspoints oder durch eine Reduzierung der Reichweite der Accesspoints erreicht werden. Zudem sollten Endgeräte (Laptop, Tablet) nicht in unmittelbarem Körperkontakt betrieben werden."

Siehe dazu auch: WLAN-Broschüre des BfS (Download im Internet).

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Haben Sie noch Fragen?**

