

## WLAN

Reinhold Wehner

**Drahtlose Netzwerktechnologien ermöglichen im Gegensatz zur drahtgebundenen Technik Datenübertragungen per Funk oder Infrarot. Sie werden dem Umstand gerecht, dass moderne Anwender hohe Anforderungen an Flexibilität und Mobilität der von ihnen genutzten Telekommunikationssysteme stellen. Unter dem Begriff WLAN (Wireless Local Area Networks) versteht man lokale Datennetze, die im Gegensatz zu den drahtgebundenen LAN über Funk oder Infrarot eine drahtlose Datenkommunikation ermöglichen. Aufgrund der einfachen Installation werden Funk-LANs auch für temporär zu installierende Netze (z.B. auf Messen) verwendet. Da die Anbindung eines Benutzers an ein Funk-LAN einfach zu realisieren ist, können heute an öffentlichen Plätzen wie Flughäfen oder Bahnhöfen Netzwerkzugänge, sogenannte Hot Spots, angeboten werden. Dort können die mobilen Nutzer Verbindungen in das Internet aufbauen. Unter dem Begriff „City-LANs“ werden WLANs häufig als innerstädtische Alternative zu GSM- und UMTS-Netzen angesehen. Durch den Einsatz von WLAN können aufgrund des flexiblen Zugriffs auf Datenbanken, Internet oder E-Mails Kosten gespart und die Produktivität gesteigert werden.**

**Am bekanntesten sind die nach IEEE 802.11x beschriebenen WLAN-Lösungen, die im unlizenzierten 2,4 GHz-Band bzw. 5,2 GHz-Band arbeiten.**

### Funktechniken

Drahtlose Funksysteme werden nach der erzielbaren Funkreichweite eingeteilt. Unter WPAN (Wireless Personal Area Network) versteht man ein Funknetz, das zur Datenübertragung über geringe Entfernung, in der Regel kleiner 10 m, eingesetzt wird. Die Übertragungsrate beträgt zwischen ein und 4 Gbit/s. Bekannte Lösungen hierfür sind Bluetooth oder IrDA. IrDA (Infrared Data Association), beschreibt physikalische Spezifikationen und Kommunikationsprotokoll-Standards einer Infrarot-Schnittstelle für den Austausch von Daten mittels infrarotem Licht (850 nm bis 900 nm) über kurze Strecken).

Beim WLAN stehen Datenrate und erzielbare Reichweite in Wechselbeziehung und sind von der verwendeten Netzwerktechnik abhängig. WLAN finden ihren Einsatz in Gebäuden oder auf dem Firmengelände. Bekannte WLAN-Vertreter sind die IEEE 802.11x-Lösungen, HIPERLAN (High Performance Radio Local Area Network) oder Home RF. Das Wireless Wide Area Network (WWAN) kann sich über mehrere Städte, also über große Distanzen erstrecken. Bekannte Lösungen hier sind GPRS (General Packet Radio Service) und UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Mit GPRS können Daten mit 171,2 kBit/s, über UMTS max. mit 2 MBit/s übertragen werden. Der Nachteil eines WWAN liegt allerdings nicht nur in der geringen Datenübertragungsrate, sondern auch darin, dass für dessen Nutzung von den Mobilfunknetzbetreibern Gebühren erhoben werden.

### WLAN Standards

#### IEEE 802.11

Die zu Beginn der 90er Jahre entwickelten Funklösungen zeichneten sich durch geringe Übertragungsreichweiten und geringe Datenübertragungsraten aus. Wollte man ein Funknetz aufbauen, war man zudem auf proprietäre, d.h. herstellergebundene Lösungen angewiesen. Deshalb griff das Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) auf den Ethernet-Standard 802.3 zurück und entwickelte ihn zu einem eigenständigen Standard, nämlich 802.11, weiter. Verabschiedet wurde 802.11 Mitte 1997. Auf Basis dieses Standards sind Datenübertragungsraten (Brutto) von 1 Mbit/s und 2 Mbit/s realisierbar, wobei als Übertragungsmedium der Funkbereich des 2,4 GHz-Bandes oder ein optisches Medium (Wellenbereich 850 nm bis 950 nm) dient. Beim 2,4 GHz-Band handelt es sich um das sog. ISM-Band (Industrial, Scientific, Medical), das weltweit lizenzfrei für industrielle,

medizinische und wissenschaftliche Anwendungen genutzt werden darf. Hieraus leitet sich als direkter Vorteil für ein WLAN die Genehmigungsfreiheit ab. Betriebsbedingte Lizenzgebühren fallen somit ebenfalls nicht an.

#### **IEEE 802.11a**

Im September 1999 wurde der Standard 802.11a entwickelt, der im 5 GHz-Band Datenübertragungsraten von 6 Mbit/s, 9 Mbit/s, 12 Mbit/s, 18 Mbit/s, 24 Mbit/s, 36 Mbit/s und 54 Mbit/s spezifiziert. Die Reichweite liegt zwischen 15 und 25 m. Dieser Standard setzt allerdings nicht mehr DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), sondern OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) als Frequenzspreizverfahren ein. Bei der orthogonalen Frequenzmultiplex-Technik handelt es sich um ein Verfahren, das mehrere Trägerfrequenzen für die Übertragung eines Digitalsignals benutzt. Diese Trägerfrequenzen werden aber nur mit einer reduzierten Übertragungsrate moduliert. Zu diesem Zweck wird das zur Verfügung stehende Frequenzband in mehrere Trägerbänder unterteilt, wobei sich der Abstand der Trägerfrequenzen nach den Übertragungsraten richtet. Das OFDM-Verfahren ist unempfindlicher gegen Störungen als andere Modulationsverfahren und hat besondere Vorteile bei stark beeinträchtigter terrestrischer Übertragung. OFDM wird u.a. für Digital-TV (DVB) und bei HIPERLAN eingesetzt.

In Deutschland ist seit November 2002 das 5 GHz-Band (5,15 GHz – 5,35 GHz und 5,47 GHz – 5,725 GHz) von der Bundesnetzagentur zur Nutzung breitbandiger Datenübertragung freigegeben. Da dieser Frequenzbereich auch vom Militär und der Flugsicherung genutzt wird, dürfen in Deutschland Geräte, die ausschließlich nach IEEE 802.a arbeiten, nur innerhalb von Gebäuden im Frequenzbereich 5,15 GHz – 5,25 GHz und mit einer maximal zulässigen mittleren Sendeleistung von 200 mW (EIRP) betrieben werden [7] (siehe auch IEEE 802.11h).

#### **IEEE 802.11h**

Der IEEE 802.11h WLAN-Standard wurde im September 2003 verabschiedet und ergänzt den IEEE 802.11a Standard um die Funktionen DFS (Dynamic Frequency Selection) und TPC (Mit Transmit Power Control kann die Sendeleistung mobiler Funkteilnehmer geregelt werden (Bsp. GSM)) Geräte, nach IEEE 802.a/h dürfen innerhalb und außerhalb geschlossener Räume betrieben werden, im Frequenzbereich 5,15 GHz – 5,35 GHz mit einer maximal zulässigen mittleren Sendeleistung von 200 mW (EIRP), im Frequenzbereich 5,47 GHz – 5,725 GHz mit einer maximal zulässigen mittleren Sendeleistung von 1 W (EIRP).

#### **IEEE 802.11b**

IEEE 802.11b wurde im Dezember 1999 verabschiedet. Im 2,4 GHz-Band wurden die Datenraten (Brutto) 5,5 Mbit/s und 11 Mbit/s spezifiziert. Verwendet wird das sog. DSSS-Verfahren (Direct Sequence Spread Spectrum). Beim DSSS-Verfahren wird das 2,4-GHz-Frequenzband in 22 MHz bis 26 MHz breite Frequenzbänder unterteilt. Jedes einzelne übertragene Bit wird mit einem festen 11-Bit Code gespreizt. Die Spreizung erfolgt hierbei durch Modulation der Trägerfrequenz mit einer pseudostatistischen Codesequenz. Durch dieses Verfahren wird die Abhängigkeit der zu übertragenden Daten gegenüber Störsignalen deutlich reduziert. Die maximale Sendeleistung beträgt 100 mW EIRP (Effective Isotropic Radiated Power). Obwohl im Vergleich zu 802.11a die Datenrate deutlich niedriger ist, basieren fast alle am Markt verfügbaren Funk-LAN-Systeme auf 802.11.b, der auch als IEEE 802.11 High Rate oder auch WiFi (Wireless Fidelity) bekannt wurde. Die Vorteile liegen unter anderem in einer höheren Reichweite von bis zu 300 m sowie in der Kompatibilität zu 802.11g. Da im Frequenzband 2,4 GHz auch andere Geräte arbeiten, u.a. auch Bluetooth, kann es zu Störungen kommen. Die Herstellervereinigung WiFi Alliance, früher WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), dokumentiert die Kompatibilität zu 802.11b durch Vergabe eines WiFi Zertifikats.

#### **IEEE 802.11c**

Dieser Standard dient zur drahtlosen Koppelung unterschiedlicher Netzwerk-Topologien. Er wurde entwickelt, um mehrere Netzwerke über Wireless LAN verbinden zu können. Beim sog. Bridging besteht zwischen zwei Access Points eine dedizierte Verbindung. Die Identifikation der Gegenstelle erfolgt hierbei über die Mac-Adresse. Anmeldeversuche gewöhnlicher Endgeräte werden verweigert.

#### **IEEE 802.11d**

Der IEEE 802.11d Standard wurde im Juni 2001 verabschiedet. Er wird auch als "World Mode" bezeichnet. Er ermöglicht den Informationsaustausch zwischen WLAN-Stationen und Access Points, mit deren Hilfe sich die Stationen auf die länderspezifischen Parameter einstellen können. Hierzu gehört unter anderem die Anzahl und die Auswahl der Kanäle, die in einem Land für die Nutzung von

WLAN freigegeben sind. Ebenfalls geregelt wird die Auswahl der Basistechnologie, also ob IEEE 802.11 a, h, b oder g verwendet werden darf. Wenn ein Nutzer seinen aktuellen Standort über eine Länder- bzw. Regionsauswahl spezifiziert, arbeitet das Gerät automatisch nach den jeweils zugelassenen Standards.

#### **IEEE 802.11e**

Der im September 2005 verabschiedete Standard IEEE 802.11e erweitert die Standards IEEE 802.11 a, h und g um QoS Fähigkeiten (Quality Of Service) sowie Verbesserungen in der Performance zur Unterstützung zeitkritischer Anwendungen. Damit sollen diese Standards besser auf die Nutzung von Multimedia und Voice over IP (VoIP) abgestimmt werden und in der Lage sein, vorgegebene Datenraten, sowie minimale Schwankungen bei der Paketlaufzeit zu garantieren. Mittels QoS können z.B. Datenpakete für die Internet Telefonie bevorzugt versandt werden, wodurch sich geringere Verzögerungen beim Sprechen ergeben.

#### **IEEE 802.11f**

Der IEEE 802.11f Standard sieht Verfahren für das Roaming von Clients zwischen verschiedenen Access Points nach dem IAPP (Inter Access Point Protocol) vor. Mittels IEEE 802.11f wird es möglich, innerhalb eines großen drahtlosen Netzwerkes seinen Standort über die Reichweite eines einzelnen Access Points hinaus zu verändern. Roaming bedeutet hier, dass die Netzwerk-Verbindung ohne Abbruch von einem Access Point auf den anderen übergeht.

#### **IEEE 802.11g**

Mit diesem Standard vom Juni 2003 wurde ein weiterer High-Speed Standard verabschiedet. Er arbeitet im 2,4 GHz-Band im Frequenzbereich von 2,4 GHz bis 2,4835 GHz. Die Datenraten entsprechen denen des Standards IEEE 802.11a. Sendeleistung und somit auch die Reichweite sind mit denen des IEEE 802.11b Standards vergleichbar. Er ist vollkommen abwärtskompatibel mit dem älteren Standards IEEE 802.11b. Insofern lassen sich IEEE 802.11g Router und Access-Points problemlos in ein bestehendes IEEE 802.11b-Netz integrieren. Da man nicht im 5 GHz-Band arbeitet, können Geräte nach diesem Standard ohne TPC (Transmit Power Control ) und DFS (Dynamic Frequency Selection ) arbeiten, vorausgesetzt, die Sendeleistung von 100 mW wird nicht überschritten. Geräte nach 802.11g sind in Europa weit verbreitet.

#### **IEEE 802.11i**

IEEE 802.11i wurde im Juni 2004 verabschiedet und sorgt für eine verbesserte Sicherheit bei der Datenübertragung im WLAN. IEEE 802.11i sieht unter anderem die Authentifizierung nach IEEE 802.1x (Extensive Authentication Protocol) sowie die Verschlüsselung nach AES (Advanced Encryption Standard) vor.

#### **IEEE 802.11n**

Die Arbeit zu diesem Standard wurde im September 2003 von der High Throughput Study Group aufgenommen. Ziel ist, die WLAN Datenraten bis auf 600 Mbit/s zu erhöhen. Erste Lösungsvorschläge sollen im ersten Halbjahr 2007 verabschiedet werden.

#### **IEEE 802.11p**

Zur Optimierung des drahtlosen Datenaustauschs von Geräten, die auf Fahrzeugen montiert sind wurde eine Arbeitsgruppe eingerichtet, die an den entsprechenden Erweiterungen arbeitet.

#### **IEEE 802.11r**

Diese Arbeitsgruppe hat die Aufgabe, das Roaming zwischen den verschiedenen Access-Points zu verbessern. Zielgruppe sind vor allem die VoIP-Anwender.

#### **IEEE 802.11s**

Die Arbeitsgruppe IEEE 802.11s beschäftigt sich mit den sog. Wireless Mesh Networks. Hierunter versteht man vermaschte Netze, die in einem WLAN implementiert sind und z.B. bei der drahtlosen Vernetzung von Gebäuden eingesetzt werden. Aufgabe der AG ist, den Aufbau eines Wireless Mesh Networks zu definieren. In diesem Zusammenhang soll ein Routing Protokoll entwickelt werden, das den Datenaustausch zwischen den Verbindungen des Mesh-Netzwerkes regelt und optimiert.

## WLAN Betriebsmodi

Ein WLAN kann entweder im sog. Infrastruktur-Modus (Abb. 1a) oder im Ad-hoc-Modus (Abb. 1b) betrieben werden. Ein Infrastruktur-Netz besteht in der Regel aus mindestens einer Station mit einer nach dem Standard IEEE 802.11 konformen Schnittstelle und einem Access-Point. Im Infrastruktur-Modus kommunizieren alle Clients über eine zentrale Funkbrücke, häufig einen Wireless-Access-Point, der die einzelnen Netzknoten koordiniert. Da das WLAN auf der Sicherungsschicht (Schicht 2 im OSI-Modell) dasselbe Protokoll wie Ethernet verwendet, kann über einen Wireless-Access-Point mit Ethernet-Anschluss leicht eine Verbindung zu kabelgebundenen Netzen hergestellt werden. Es ist also für eine Ethernet-Netzwerkkarte nicht unterscheidbar, ob sie mit einer anderen Ethernet-Netzwerkkarte oder (über einen Access-Point) mit einer WLAN-Karte kommuniziert. Der Infrastruktur-Modus lässt mehrere Einsatzvarianten zu. Zum einen können mit Hilfe mehrerer Access-Points überlappende Funkzellen realisiert werden, sodass beim Übergang eines Clients in eine benachbarte Funkzelle die Funkverbindung aufrecht erhalten werden kann. Auf diese Weise können große Areale flächendeckend versorgt werden. Die Reichweite einer Funkzelle beträgt je nach Geländetopologie zwischen 30 m und 150 m. Zum anderen können zwei Access-Points als Brücke zwischen zwei leitungsgebundenen LANs eingesetzt werden. Auch der Einsatz eines Access-Points als Repeater (Relaisstation), um die Reichweite zu erhöhen, ist möglich. Setzt man entsprechende Richtantennen ein, kann ein Funk-LAN zur Vernetzung von Liegenschaften eingesetzt werden, wobei Reichweiten bis 7 km möglich sind. Infrastrukturnetze erfordern in der Regel einen größeren Planungsaufwand.

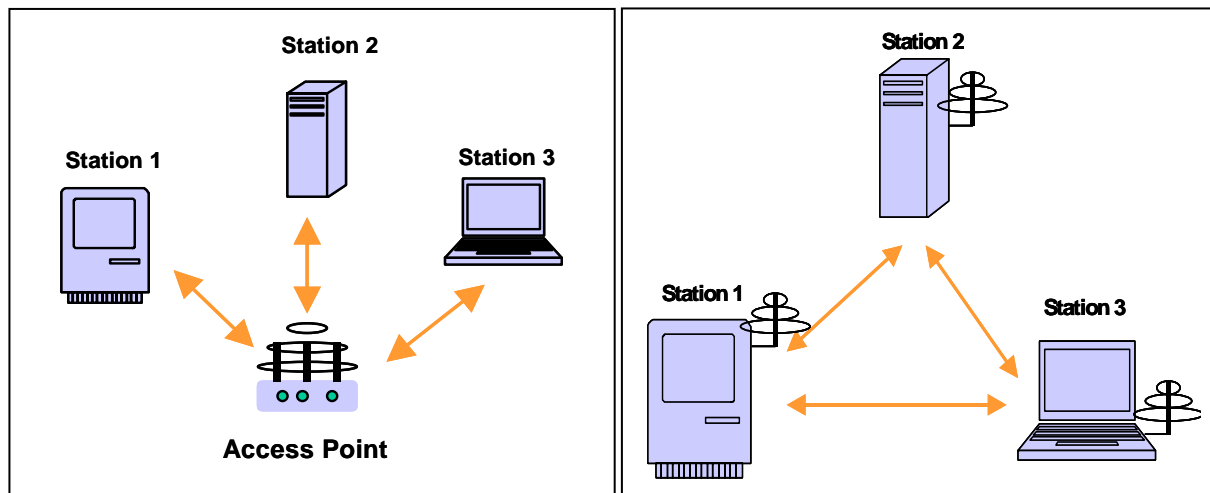


Abb. 1a: Infrastruktur Modus [1]

Abb. 1b: Ad-hoc Modus [1]

Ein Ad-hoc-Netzwerk besteht aus mindestens zwei Stationen, die direkt miteinander kommunizieren können. Im Gegensatz zum Infrastruktur-Modus sind alle Stationen gleichwertig. Ad-hoc-Netze lassen sich schnell und ohne großen Aufwand aufbauen, das Weiterreichen von Paketen ist aber nicht vorgesehen. So kann z.B. ein zentral stehendes Gerät (Computer) das gesamte Netz erreichen, ein Gerät am Randbereich jedoch nur einen Teil. Es sind maximal sechs Verbindungen im Ad-hoc-Modus möglich. WLANs nach IEEE 802.11 und HIPERLAN unterstützen beide Betriebsmodi. Geräte in WPANs werden im Ad-Hoc-Modus vernetzt.

## WLAN Komponenten

### WLAN Netzwerkadapter

Um PCs, Notebooks oder PDAs WLAN-fähig zu machen, werden entweder PCMCIA-Adapter oder USB-Adapter eingesetzt. Bei PDAs können auch Compact Flash-Adapter eingesetzt werden.

### WLAN Access Point

Ein Access Point ist eine Station, mit deren Hilfe die Reichweite eines WLAN vergrößert werden kann. Wenn der Access Point im Zentrum einer Funkzelle positioniert wird, findet die Kommunikation der Geräte über diese Funkbrücke mit Unterstützung einer speziellen Protokollsoftware statt. Um die Sicherheit im WLAN zu erhöhen, müssen sich die WLAN Clients erst beim Access-Point

authentifizieren, bevor ihnen der Zugang zur Funkzelle gestattet wird und Datenaustausch untereinander möglich ist. Da zudem viele Access-Points über eine Routing-Funktion verfügen, sowie das Ethernet Protokoll unterstützen, können Access-Points direkt an ein DSL-Modem angeschlossen werden und somit den WLAN-Clients eine direkte Internetanbindung zur Verfügung stellen.

## WLAN Luftschnittstelle

In fast allen Staaten Europas sowie in Deutschland nutzen die Funk-LAN-Systeme das ISM-Band im Frequenzbereich 2,4 GHz bis 2,48 GHz. Geräten, die den Standards IEEE 802.11b,g genügen, stehen hierfür in Deutschland dreizehn Frequenzkanäle mit einem Kanalabstand von 5 MHz zur Verfügung (Abb. 2).

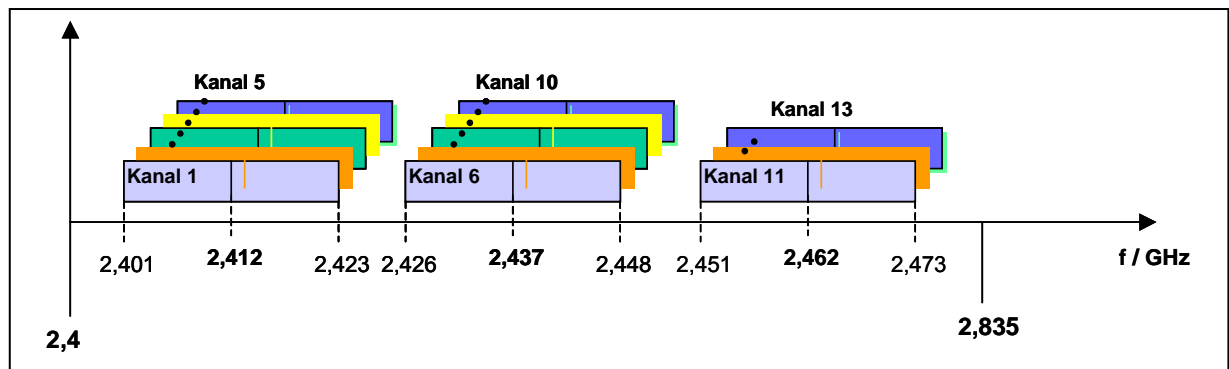


Abb. 2: Kanalraster nach IEEE 802.11b

Trotz einer Kanalbandbreite von 22 MHz können maximal nur drei Kanäle gleichzeitig überlappungsfrei genutzt werden. Im Beispiel der Abb. 2 die Kanäle 1, 6 und 11. Die maximale Sendeleistung beträgt 100 mW (EIRP), wobei der Antennengewinn eingerechnet ist. Systeme, die nach den Standards IEEE 802.11a,h arbeiten, nutzen das 5 GHz-Band im Frequenzbereich 5,15 GHz bis 5,35 GHz und 5,47 GHz bis 5,725 GHz. In Deutschland stehen damit insgesamt 19 Kanäle zur Verfügung. Da Kanalraaster und Kanalabstand 20 MHz betragen, tritt keine Störung direkt benachbarter Kanäle auf.

## WLAN Sicherheit

Sicherheitsmechanismen, die ausschließlich zur Sicherung der Funkstrecke zwischen Access-Point und WLAN-Client dienen, werden im Standard IEEE 802.11 definiert, wobei auch Freiraum für herstellereigenspezifische Lösungen besteht. Diese Mechanismen, von denen die WEP (Wired Equivalent Privacy) Verschlüsselung die bekannteste sein dürfte, sind überwindbar. Verschlüsselungen mit nur 40 Bit (genannt 64 Bit), 104 Bit (genannt 128 Bit) oder auch 232 Bit (genannt 256 Bit) bieten keinen verlässlichen Schutz eines WLAN. Aus diesen Gründen haben sich als Vorgriff und Teilmenge zum Standard IEEE 802.11i technische Ergänzungen entwickelt, etwa WEPplus, WPA (Wi-Fi Protected Access) oder Kerberos, die alle mehr oder weniger gut das Sicherheitsproblem von WLAN minimieren. Erhöhte Sicherheit durch die Verwendung von TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) bei WPA bzw. AES (Advanced Encryption Standard) bei WPA2 bietet erst der Standard IEEE 802.11i, allerdings nur solange keine trivialen Passwörter verwendet werden. WPA2 ist das Äquivalent der WiFi zu 802.11i, das mit dem Verschlüsselungsalgorithmus AES (Advanced Encryption Standard) und Schlüssellängen von 256 Bit arbeitet und in neueren Geräten meist unterstützt wird.

Als Alternative bietet sich an, die Verschlüsselung komplett auf die IP-Ebene zu verlagern, wobei der Datenverkehr durch IPsec (Kurzform für IP Security: wurde 1998 entwickelt und stellt eine Sicherheitsarchitektur für die Kommunikation über IP-Netzwerke zur Verfügung) oder durch einen VPN-Tunnel (Virtual Private Network) geschützt wird. Speziell für die Authentifizierung von Clients wurde das Extensible Authentication Protocol entwickelt, das hauptsächlich innerhalb von WPA bei größeren WLAN Installationen eingesetzt wird.

## WLAN und EMVU

Funknetze und ihre Komponenten müssen den allgemeinen Bestimmungen des BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz) genügen, d.h. sie dürfen keine Immissionen verursachen, die „...erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeiführen“, fallen jedoch nicht unter die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV). Geräte und Komponenten, die im WLAN- oder HIPERLAN-Frequenzbereich arbeiten, senden mit Sendeleistungen deutlich unter 10 W und erfüllen somit nicht die in der 26. BImSchV definierten Randbedingungen. Letztere regelt explizit den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Zwar gilt die 26. BImSchV auch für die Errichtung und den Betrieb. Eine Beurteilung, ob die elektromagnetischen Immissionen im Sinne der 26. BImSchV als schädliche Umwelteinwirkung zu interpretieren sind, erfolgt in der Regel auf Basis der ICNIRP Empfehlungen (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), auf die sich auch die in der 26. BImSchV aufgeführten Grenzwerte (Tabelle) beziehen.

Elektrische Feldstärke [V/m]	Leistungsflussdichte [W / m <sup>2</sup> ]
61	9,9 (Rechenwert: $E^2 / 377 \Omega$ )

**Tabelle: Grenzwerte nach der 26. BImSchV im Frequenzbereich oberhalb 2 GHz**

Im Rahmen des Arbeitsschutzes sind die einschlägigen berufsgenossenschaftlichen Vorschriften für die Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz zu beachten. Die zulässigen Expositionswerte für Arbeitnehmer sind in der „Unfallverhütungsvorschrift Elektromagnetische Felder“ (BGV B11) vom Oktober 2001 (VBG 25) festgelegt.

## Literatur

- [1] „Sicherheit im Funk LAN (WLAN, IEEE 802.11)“, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2003
- [2] „Gutachten zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch Funknetzwerke an Universität Bremen“ nova-Institut, 29 Oktober 2004
- [3] „Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten: Erster und zweiter Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben FM 8826“, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter
- [4] Jörg Rech, „Wireless LANs“, Heise Verlag
- [5] 26. BImSchV, 26.12.1996
- [6] <http://www.bmwi.de>
- [7] „Allgemeinzuteilung von Frequenzen in den Bereichen 5150 MHz-5350 MHz und 5470 MHz-5725 MHz für Funkanwendungen zur breitbandigen Datenübertragung, WAS/WLAN (Wireless Access Systems including Wireless Local Area Networks)“, Bundesnetzagentur, Vfg 8/2006;“
- [8] „Unfallverhütungsvorschrift Elektromagnetische Felder“, Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit BGV B11 (VBG 25), 2001