

Aufbau einer High Density WLAN-Infrastruktur für Hochschullehre und Veranstaltungen

Markus Speer¹, Jamaldin Chakoh², Andre Forsmann³ und Dieter Frieler⁴

Abstract: Für die Nutzung mobiler Endgeräte in Hörsälen und Seminarräumen ist eine gut ausgebaute WLAN-Infrastruktur eine unverzichtbare Voraussetzung. Bereits 2010 wurde an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (WWU) in den genannten Räumlichkeiten eine lückenlose WLAN-Grundversorgung realisiert. Die zunehmende Verbreitung mobiler Endgeräte und die Möglichkeit der systematischen Nutzung im Rahmen der Lehre erfordert inzwischen jedoch eine massive Erhöhung der WLAN-Versorgungsdichte zu einem „High Density WLAN“. Dieses stellt eine hochwertige Nutzungserfahrung für eine steigende Anzahl gleichzeitig aktiver WLAN-Endgeräte sicher und eignet sich auch für Foyers und exponierte Außenbereiche. An der WWU wurde der Aufbau einer umfangreichen HD-WLAN-Infrastruktur für die Hochschullehre insb. in großen Hörsälen und für Veranstaltungen projektiert. Ziel war es, ein HD-WLAN-Design zu entwickeln und umzusetzen, das ein Roll-Out in großem Umfang mit einigermaßen überschaubaren Aufwänden und kalkulierbaren Ergebnissen ermöglicht. Dieses Design wurde bereits in substanziellem Umfang realisiert. In diesem Paper werden die besonderen Herausforderungen, die getroffenen Entscheidungen, die Vorgehensweise und gemachten Erfahrungen dargestellt.

Keywords: WLAN, Wireless, Infrastruktur, High Density, HD, Hörsäle, Veranstaltungen

1 Projektziele

An der WWU und am Universitätsklinikum Münster (UKM) ist eine umfangreiche WLAN-Infrastruktur mit ca. 2.250 WLAN Access Points (APs) in ca. 200 Gebäuden im Einsatz. Hierzu zählt auch eine bereits im Jahr 2010 erfolgte lückenlose Versorgung von Hörsälen und Seminarräumen für ca. 43.000 Studierende. Für eine systematische Nutzung des WLAN in großen, vollbesetzten Hörsälen durch alle Hörer wurde diese Grundversorgung allerdings nicht ausgelegt. Um hier eine qualitativ hochwertige Nutzungserfahrung zu gewährleisten, muss für solche HD-WLAN-Umgebungen ein neues Design entwickelt und implementiert werden. Dafür wurde Anfang August 2014 an der WWU der Aufbau einer umfangreichen HD-WLAN-Infrastruktur für die Hochschullehre in den ca. 50 Hörsälen mit über 100 Plätzen und auch für Foyers und exponierte Außenbereiche für Veranstaltungen projektiert. Es ging um insg. 12.400 Sitzplätze in Hörsälen mit bis zu 800 Sitzplätzen.

¹ Westfälische Wilhelms-Universität Münster - ZIV, Röntgenstr. 7 - 13, 48149 Münster, speer@wwu.de

² Westfälische Wilhelms-Universität Münster - ZIV, Röntgenstr. 7 - 13, 48149 Münster, chakoh@wwu.de

³ Westfälische Wilhelms-Universität Münster - ZIV, Röntgenstr. 7 - 13, 48149 Münster, forsmaa@wwu.de

⁴ Westfälische Wilhelms-Universität Münster - ZIV, Röntgenstr. 7 - 13, 48149 Münster, frieled@wwu.de

Die zu implementierende WLAN-Infrastruktur sollte für sämtliche Hörer eines vollbesetzten Hörsaals gleichzeitig für interaktive Anwendungen und mindestens niedrigbandbreitige Datenströme nutzbar sein. Die zu installierende HD-WLAN-Infrastruktur sollte primär eine hohe Robustheit und nicht so sehr eine sehr hohe Bandbreite bieten. Außerdem standen überschaubare Kosten und Aufwände für die Installation im Vordergrund, um ein einheitliches „Massenrollout nach Schema F“ ohne umfangreiche Einzelfallbetrachtung zu ermöglichen.

2 Herausforderungen

Bei Projektstart lagen beim Zentrum für Informationsverarbeitung (ZIV) keine Erfahrungen im Bereich HD-WLAN vor. Auch im Bereich des damals relativ neuen ausschließlich im 5 GHz-Band arbeitenden WLAN-Standards IEEE 802.11ac gab es kaum Erfahrungen. Es wurde davon ausgegangen, dass sich der ac-Standard in Bezug auf Designfragestellungen nicht wesentlich von der 5 GHz-Variante des Vorgängerstandards IEEE 802.11n unterscheidet. Eine Orientierung bzgl. Designfragestellungen bot [F113].

Eine hohe Dichte von WLAN-Clients in einem vollbesetzten großen Hörsaal erfordert eine entsprechend **hohe Dichte an APs**. Eine hohe Anzahl an APs ist aber nur dann hilfreich, wenn es gelingt die Clients einigermaßen gleichmäßig auf die APs zu verteilen.

Wenn für einen Client mehrere „brauchbare“ APs sichtbar sind, ist im Rahmen der WLAN-Technologie nicht zuverlässig steuerbar, mit welchem AP sich ein WLAN-Client verbindet („assoziiert“). Die IEEE-WLAN-Standards sehen keine Mechanismen vor, einem Client vorzugeben, mit welchem AP er sich verbinden soll. **Diese letztendliche (Roaming-)Entscheidung trifft allein der WLAN-Client**. Es ist aber naheliegend, davon auszugehen, dass ein WLAN-Client seine Entscheidung, sich mit einem bestimmten AP zu verbinden, primär von der empfangenen Sendeleistung des APs abhängig macht.

Wenn mehrere APs für die lückenlose Versorgung eines größeren Bereichs installiert werden, bedeutet das, dass sich die Funkfelder verschiedener APs überlappen. In diesen Überlappungsbereichen müssen die APs auf verschiedenen Funk-Kanälen arbeiten, um gegenseitige Störungen zu vermeiden. In den im 2,4 GHz-Band arbeitenden WLAN-Technologien IEEE 802.11b/g/n stehen nur drei überlappungsfreie Kanäle zur Verfügung. Hier stellt die Vermeidung der sog. Co-Channel-Interference (Interferenzen verschiedener Geräte auf einem Übertragungskanal) eine große Herausforderung dar. **Diese Gefahr der Co-Channel-Interference ist natürlich umso größer, je dichter die APs platziert sind**. In den im 5 GHz-Band arbeitenden WLAN-Technologien (IEEE 802.11a/n/ac) stehen bis zu 16 Kanäle zur Verfügung. Hier hat man deutliche bessere Möglichkeiten eine Co-Channel-Interference zu vermeiden. Von den 5GHz-Technologien wird dabei auch eine Erhöhung der Kanalbreite von 20 MHz auf 40, 80 oder auch 160 MHz zur Geschwindigkeitssteigerung unterstützt. Allerdings bedeutet

beispielsweise die Verdoppelung der Kanalbreite von 20 auf 40 MHz eine Halbierung der verfügbaren Kanalzahl. Auch mit speziellen Antennen kann der Problematik der Co-Channel-Interference begegnet werden.

Beim WLAN handelt es sich um eine „Shared Medium“-Technologie; d.h. dass sich alle beteiligten Geräte (APs und WLAN-Clients) die zur Verfügung stehende Bandbreite teilen. Natürlich ist eine hohe Bandbreite für die WLAN-Clients wünschenswert. **Im WLAN und insb. in einer HD-WLAN-Umgebung ist es aber auch von Bedeutung, welche Mindestbandbreite von den APs überhaupt unterstützt wird.** Werden niedrige Mindestbandbreiten unterstützt, kann das bedeuten, dass Clients, die sich mit einer geringen Bandbreite verbinden die Performance der gesamten Funkzelle eines APs verringern, da sie das gemeinsame Übertragungsmedium lange belegen. Hohe Mindestbandbreiten sorgen also dafür, dass das Übertragungsmedium schnell für andere Geräte wieder frei wird. Außerdem sorgen hohe Mindestbandbreiten dafür, dass Clients sich mit APs verbinden, die sich in ihrer Nähe befinden.

Eine weitere Herausforderung war der **Test einer implementierten HD-WLAN-Infrastruktur** unter Bedingungen, die einem Produktivszenario „aktiv genutztes WLAN in einem gut gefüllten großen Hörsaal“ einigermaßen nahe kommt. Große Installationsmaßnahmen waren nur in vorlesungsfreien Zeiten möglich.

3 Design der HD-WLAN-Infrastruktur

3.1 HD-WLAN-Hardware

An der WWU und dem UKM wird vom ZIV eine WLAN-Infrastruktur mit Geräten des Herstellers Cisco eingesetzt. Für die Realisierung sollte ein Access Point Typ eingesetzt werden, der den aktuellen WLAN-Standard IEEE 802.11ac unterstützt. Zum Entscheidungszeitpunkt kamen dabei die beiden Access Point Typen C2700 und C3700 in Frage. Die Entscheidung fiel dabei zugunsten des kostengünstigeren C2700. Der um Module erweiterbare C3700 bot zwar mit der 4x4:3 MIMO-Technik gegenüber der 3x4:3 MIMO-Technik des C2700 die leistungsfähigere WLAN-Hardware, jedoch war nach eigener Einschätzung in der Praxis hierdurch nahezu kein Qualitätsunterschied im WLAN zu erwarten.

In Hörsälen muss pro Sitzplatz mindestens ein für Vorlesungszwecke aktives WLAN-Endgerät kalkuliert werden. Außerdem müssen neben den tatsächlich aktiv genutzten WLAN-Endgeräten an einem Sitzplatz auch die nicht genutzten aber evtl. im WLAN assoziierten WLAN-Endgeräte (z.B. Smartphone in der Hosen-/Handtasche) von den APs verwaltet werden. Für die Kalkulation des Mengengerüsts wurde einer Herstellerempfehlung entsprechend davon ausgegangen, dass für die Versorgung von je ca. 50 Sitzplätzen ein AP erforderlich ist. Insgesamt ergab sich für das Projekt (inkl. Foyers und exponierter Außenbereiche) ein Bedarf von ca. 300 APs.

Die WLAN-Infrastruktur von WWU und UKM ist eine zentralisierte, controllerbasierte Lösung mit nicht-autonomen APs. Insb. die Nutzdaten werden vom AP über einen Tunnel zum WLAN-Controller geführt. Die APs der HD-WLAN-Infrastruktur wurden sämtlich von zwei Controllern (WISM2-Module für Cisco Catalyst 6500 in einer High Availability Konfiguration, Software Ver. 7.6) verwaltet. Für das Management wurde Cisco Prime Infrastructure (Ver 2.2) eingesetzt. Die Abbildungen in Kapitel 5 wurden mit Cisco Prime Infrastructure erstellt.

Auf den Einsatz externer Antennen wurde verzichtet. In der Theorie (und vermutlich auch in der Praxis) können natürlich mit externen Antennen insb. in HD-WLAN Umgebungen bessere Ergebnisse in der Gestaltung des Funkfeldes erzielt werden. Dennoch wurde aus folgenden Gründen auf den Einsatz externer Antennen verzichtet: erhöhte Kosten, aufwändige Installation (steife, dicke Kabel; Antennenausrichtung), erhöhte Betriebsaufwände, optischer Störfaktor.

Ende 2014 / Anfang 2015 durchgeführte Recherchen haben gezeigt, dass kaum Firmen mit einer tatsächlich belastbaren Expertise im Bereich Ausleuchtung für eine HD-WLAN-Infrastruktur existieren. Daher wurde zu Projektbeginn auf die Einbeziehung externer Firmen für die WLAN-Ausleuchtung verzichtet. Eine selbst vorgenommene simulierte Ausleuchtung der zu versorgenden Bereiche wurde nur bei der ersten Test/Pilotinstallation durchgeführt (Produkt „Ekahau Site Survey“). Aufgrund der dabei gemachten Erfahrungen im Rahmen von Tests (vgl. Kapitel 4) in einem Funkfeld ohne Wände und ohne Reichweitenprobleme durch Dämpfung wurde anschließend bei den nachfolgenden Maßnahmen auf eine Ausleuchtung verzichtet. Es wurde beschlossen, eine an der Bestuhlung orientierte, gleichmäßige, geometrische Platzierung der APs im Deckenbereich vorzunehmen. Diese Vorgehensweise führt in der Regel zu einfachen Kabelwegen für die Tertiärverkabelung zur Netzanbindung der APs. Die Stromversorgung der APs erfolgt mittels PoE+ über die Tertiärverkabelung. Für die Netzanbindung eines APs sollte eine produktive Anbindung und eine (noch) ungenutzte Reserveanbindung verlegt werden, um ggf. zusätzliche APs anschließen zu können.

Insgesamt wurde ein Design für eine HD-WLAN-Hardwareinfrastruktur entworfen, das auf den Einsatz von Spezialhardware verzichtet und dadurch einfach umzusetzen und mit Standardmaßnahmen auch einfach erweiterbar ist („Skalierbarkeit“).

3.2 Konfiguration des HD-WLAN

Es wurde ein Designansatz verfolgt, der bewusst auf Komplexität verzichtet. Der Ansatz ist für Hörsäle bis zu einer Größe von 800 Sitzplätzen weitgehend problemlos und effizient umsetzbar. Für große Veranstaltungshallen oder Fußballstadien skaliert dieser Ansatz allerdings nicht. Ein weiterer Leitgedanke war es, sich auf Maßnahmen zu beschränken, die bei den WLAN-Produkten möglichst vieler Hersteller umsetzbar sind. Die Nutzung herstelllerspezifischer Features sollte vermieden werden. Folgende Konfigurationsmaßnahmen wurden für das HD-WLAN vorgenommen:

Die Kanalbreite im 5 GHz-Band wurde auf 20 MHz beschränkt, um die maximale Zahl von 16 Kanälen für eine grundsätzliche Vermeidung der Co-Channel-Interference zur Verfügung zu haben. Die Kanalzahl reicht für Hörsäle mit bis zu 800 Sitzplätzen. Damit wurde auf eine höhere max. Bandbreite für einen einzelnen Client verzichtet. Die theoretische Maximalbandbreite beträgt bei dieser Konfiguration 260 Mbit/s im IEEE 802.11ac Standard. Das eingesetzte Produkt unterstützt maximal 217 Mbit/s.

Der Verzicht auf breitere Kanäle macht nur Sinn, wenn es gelingt, möglichst viele Clients dazu zu bringen, eine Verbindung im 5 GHz-Band aufzubauen. Dafür wurde im 5 GHz-Band eine höhere Sendeleistung als im 2,4 GHz-Band konfiguriert.

Erfahrungen aus Tests (vgl. Kapitel 4) haben dazu geführt, dass keine dynamische sondern eine statische Konfiguration der Kanäle vorgenommen wurde.

Die eingesetzten APs unterstützen sowohl das 2,4 GHz-Band als auch das 5 GHz-Band. Da im 2,4 GHz-Band nur drei überlappungsfreie Kanäle zur Verfügung stehen, wurde in Hörsälen mit mehr als drei APs auf einigen APs das 2,4 GHz-Band abgeschaltet (vgl. Abb. 1), um die im wandlosen, dämpfungsarmen Raum bei dichter AP-Montage unvermeidbare Co-Channel-Interference zu reduzieren. Hierfür muss für jeden Hörsaal eine Einzelfallbetrachtung anhand der Montagepositionen der APs durchgeführt werden.

Es wurde eine Maximalzahl von Clients pro Frequenzband eines APs konfiguriert:

- 2,4 GHz-Band: max. 60 Clients
- 5 GHz-Band: max. 50 Clients

Im 5 GHz-Band bedeutet das bei gleichzeitiger Aktivität aller Clients eine theoretische mittlere Bandbreite von ca. 4 Mbit/s pro Client.

Für die HD-WLAN-Infrastruktur wurde kein neuer Funkzellenname („SSID“) eingerichtet, um zusätzlichen Konfigurationsaufwand für die Nutzer zu vermeiden. Grundsätzlich wäre eine separate SSID im 5 GHz-Band denkbar gewesen, um Clients die Möglichkeit zu bieten, sich dediziert in das 5 GHz-Band einzuwählen. Aus Gründen der Usability und um zusätzliche Supportaufwände zu vermeiden, wurde darauf verzichtet. Außerdem bedeutet jede weitere SSID einen zusätzlichen Overhead, der sich negativ auf die WLAN-Performance auswirkt. Es gibt die herstellerübergreifende Empfehlung, möglichst ein „Single SSID Design“ anzustreben.

Es wurden Mindestwerte für die von den APs unterstützten Bandbreiten konfiguriert. Der Standard IEEE 802.11b mit Bandbreiten bis max. 11 Mbit/s wurde bereits Anfang 2013 abgeschaltet. Für die Standards IEEE 802.11a und IEEE 802.11g wurde eine Konfiguration vorgenommen, die eine WLAN-Assoziierung (Verbindungsaufbau) des Clients mit einer Bandbreite von mindestens 36 Mbps erzwingt und Bandbreiten unterhalb von 18 Mbps nicht unterstützt:

- Bandbreiten kleiner 18 Mbps: Disabled
- 18 Mbps: Supported

- 24 Mbps: Supported
- 36 Mbps: Mandatory (für Assoziierung/Verbindungsaufbau)
- 48 Mbps: Supported
- 54 Mbps: Supported

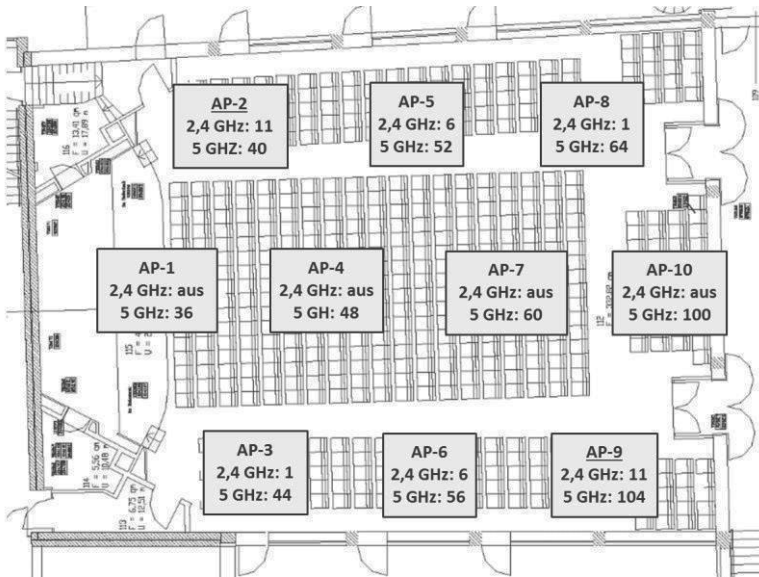


Abb. 1: Konfiguration der Kanäle auf den Access Points im Hörsaal „F1 im Fürstenberghaus“

4 Projekttablauf, Tests und Projektstatus

Eine erste Test-/Pilotinstallation wurde in der Aula des Vom-Stein-Haus (Schlossplatz 34) mit 300 Sitzplätzen vorgenommen. Für diese Installation wurde eine Ausleuchtungssimulation für die Platzierung von 7 APs durchgeführt. Für einen darauffolgenden Test wurden 69 den Standard IEEE 802.11ac noch nicht unterstützende iPads ausgeliehen, auf den Stühlen platziert und mit dem WLAN verbunden und auf jedem Gerät ein Dauervideostreamabruf von einem Medienportal gestartet. Im Mittel wurde pro Client eine Bandbreite von 2 Mbit/s beobachtet. Bei den Tests wurde mehrfach beobachtet, dass bei einer dynamischen Kanalzuweisung, wie sie im Standard-WLAN der WWU im Einsatz ist, nach einer gewissen Laufzeit viele Kanäle im 5 GHz-Band von mehreren APs gleichzeitig verwendet wurden. Dem Problem wurde nicht weiter nachgegangen, sondern es wurde entschieden, für die HD-WLAN-Infrastruktur in beiden Frequenzbändern eine feste Kanalzuordnung vorzunehmen. Insgesamt gab es keine auffälligen Probleme bei den Clients. Bei den Tests wurden auch 2,4 GHz-only-Konfigurationen untersucht, bei denen nur 3 APs aktiv waren, um eine hierfür

funktionierende Konfiguration (bzgl. der Co-Channel-Interference) für die Sendeleistung zu ermitteln. Nach Abschluss der Tests wurde die Installation im Rahmen der Feierlichkeiten zum 50-jährigen Jubiläum des ZIV Ende September 2014 erfolgreich als Veranstaltungsinfrastruktur genutzt.

Die zweite Installation wurde im Fürstenberghaus (Domplatz 20 – 22) in einer Vielzahl von großen und kleinen Hörsälen und Foyerbereichen vorgenommen. Im Hörsaal F1 mit 499 Sitzplätzen wurden in Absprache mit dem Dozenten im Anschluss an eine Vorlesung spontane HD-WLAN-Tests mit den WLAN-Endgeräten der Hörer im Hörsaal durchgeführt. Ende Mai 2015 wurde die HD-WLAN-Infrastruktur im Fürstenberghaus äußerst erfolgreich im Rahmen der „23rd European Conference on Information Systems (ECIS 2015)“ genutzt. Es wurden bis zu 370 Clients im Hörsaal F1 beobachtet.

Tabelle 1 listet die Hörsäle mit mindestens 100 Sitzplätzen und Foyers auf, die bis Anfang 2016 mit einer HD-WLAN-Infrastruktur versorgt wurden. Es wurden also bereits ca. 40 % der geplanten Räumlichkeiten versorgt. In den jeweiligen Gebäuden wurde aus Effizienzgründen oft auch eine Vielzahl kleinerer Hörsäle und Seminarräume mit berücksichtigt.

Gebäude	Räumlichkeit	Größe (m²)	Sitzplätze	APs
Domplatz 20-22, Fürstenberghaus	F1	332	499	10
	F2	169	195	4
	F4	126	155	4
	F5	171	177	4
	Foyer im EG	-	-	4
	Foyer im 1. OG	-	-	4
	Foyer im 2. OG	-	-	2
Scharnhorststr. 100	Aula am Aasee	489	650	13
	SCH 100.2	180	175	4
	SCH 100.3/H319	151	154	4
Scharnhorststr. 109 und 121	SCH 109.6	271	250	6
	SCH 121.5	329	350	6
Schlossplatz 2, Schloss	S 1	149	200	4
	S 2	145	186	4
	S 8	157	210	5
	S 9	128	124	3
	S 10	220	289	6
	Foyer	-	-	4
Schlossplatz 34, Vom-Stein-Haus	VSH 219 Aula	314	300	7
Schlossplatz 46	H 1	634	806	16
	H 2	154	120	2
	H 3	209	192	4
	H 4	154	120	2
	Foyer im EG	-	-	4

Tab. 1: Anfang 2016 mit einer HD-WLAN-Infrastruktur ausgestattete große Hörsäle und Foyers

5 Erfahrungen mit der HD-WLAN-Installation

5.1 Client-Verteilung auf die 2,4 GHz- und 5 GHz-Bänder

Es wurde untersucht, inwieweit es durch die vorgenommene HD-WLAN-Konfiguration tatsächlich gelungen ist, die Clients dazu zu bringen, möglichst eine Verbindung im 5 GHz-Band aufzubauen. Hierzu wurde zunächst ein Hörsaal („Aula am Aasee“) betrachtet, bei dem zwar die installierten APs schon gemäß einer HD-Konstellation eingebaut waren, aber noch nicht mit der speziellen HD-Konfiguration (vgl. Kapitel 3.2) sondern noch mit einer Standard-WLAN-Konfiguration versehen waren. Außerdem wurde ein Hörsaal („F1 im Fürstenberghaus“) betrachtet, der komplett gemäß HD-WLAN-Standard konfiguriert war. Wie die folgenden beiden Abbildungen zeigen gab es bei der Standard-WLAN-Konfiguration einen Client-Anteil von ca. 26% und bei der HD-WLAN-Konfiguration einen Anteil von ca. 71 % von Verbindungen im 5 GHz-Band. Die HD-WLAN-Konfiguration bewirkte also tatsächlich eine Bevorzugung des 5 GHz-Bandes durch die Clients.

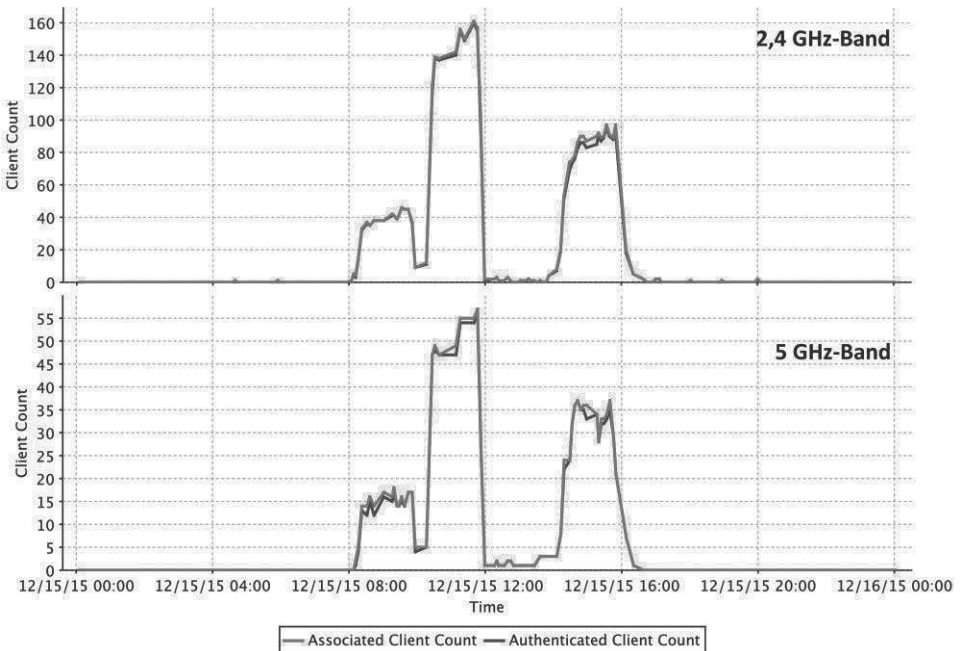


Abb. 2: Client-Anzahl in der „Aula am Aasee“ mit einer **Standard-WLAN-Konfiguration**

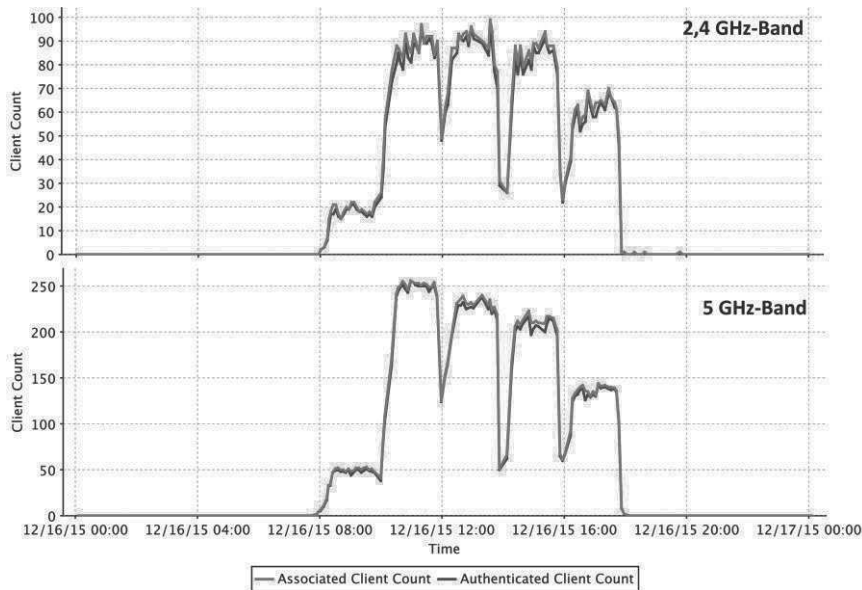


Abb. 3: Client-Anzahl im Hörsaal „F1 im Fürstenberghaus“ mit einer **HD-WLAN-Konfiguration**

5.2 Verteilung der WLAN-Clients auf die verschiedenen Access Points

Tabelle 2 zeigt, dass im Hörsaal F1 eine einigermaßen gleichmäßige Verteilung der Clients auf die Frequenzbänder der APs erzielt wurde. Dargestellt wird die maximale Client-Anzahl an einem Tag, an dem zu Spitzenzeiten ca. 350 Clients assoziiert waren. Bei diesen Maximalwerten hat man einen Anteil von 68 % Clients im 5 GHz-Band.

AP	2,4 GHz-Band	5 GHz-Band	AP	2,4 GHz-Band	5 GHz-Band
AP-1	-	25	AP-6	28	30
AP-2	20	24	AP-7	-	27
AP-3	20	21	AP-8	28	31
AP-4	-	46	AP-9	23	51
AP-5	33	34	AP-10	-	30

Tab. 2: Maximalwerte für die Client-Anzahl der einzelnen APs im Hörsaal F1 am 16.12.2015

5.3 Co-Channel-Interference, Channel Utilization

Um zu ermitteln, ob es gelungen ist, eine möglichst niedrige Co-Channel-Interference (CCI) zu erzielen, wurde die Channel Utilization (CU) betrachtet. In Abb. 4 ist die CU durch alle zur CCI beitragenden WLAN-Geräte rot dargestellt. Die anteilige Belegung durch die Empfangseinrichtung des betrachteten APs (Rx Utilization) ist blau, die Belegung durch die Sendeeinrichtung (Tx Utilization) ist grün dargestellt. Im 2,4 GHz-

Band wurde außerhalb der Nutzungszeiten eine als unproblematisch angesehene CU zwischen ca. 3% und 10% beobachtet. Im 5 GHz-Band wurde bei der Verwendung von 10 verschiedenen Kanälen für 10 APs eine zu erwartende CU von 0% beobachtet.

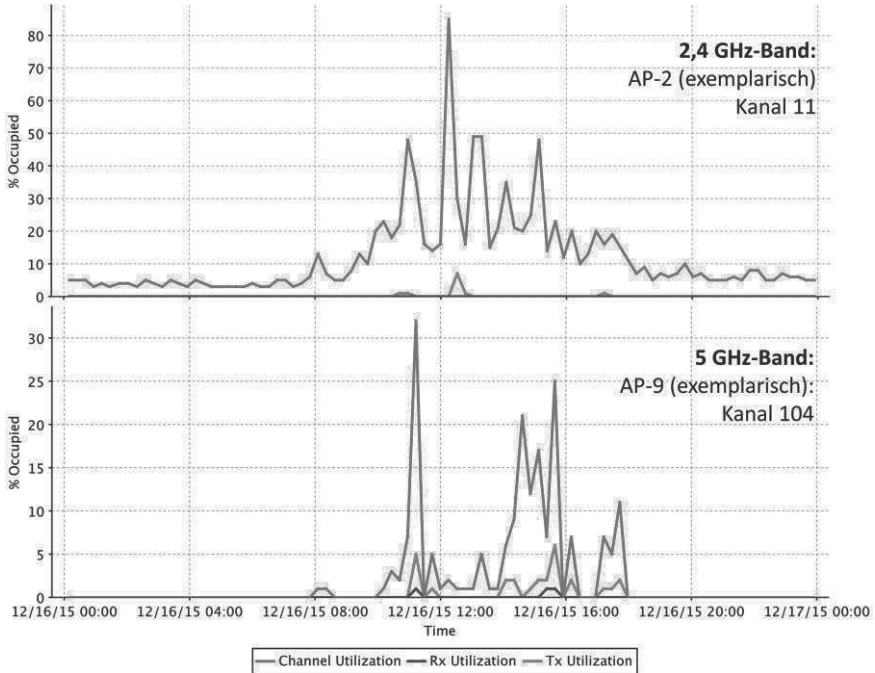


Abb. 4: Von APs (exemplarisch) beobachtete Kanalbelegung im Hörsaal F1

6 Fazit, Ausblick

Insgesamt wurde ein Designansatz verfolgt, der auf Komplexität verzichtet, sich aber als äußerst praktikabel erwiesen hat. Die Designziele (möglichst viele Clients im 5 GHz-Band, gleichmäßige Verteilung der Clients auf die APs, geringe Co-Channel-Interference) wurden erreicht. Mit externen Antennen gibt es ein Optimierungspotenzial für die Gestaltung des Funkfeldes. Das soll zukünftig im Auge behalten werden. Bislang wurden noch keine intensiven Betrachtungen von Interferenzen mit der vorhandenen, benachbarten normalen (d.h. Nicht-HD-)WLAN-Infrastruktur vorgenommen.

Literaturverzeichnis

- [F113] J. Florwick; J. Whiteaker; A. Cuellar Amrod; J. Woodhams: Cisco Wireless LAN Design Guide for High Density Client Environments in Higher Education; Nov 2013