

# WLAN Durchsatzmessung

## Studienarbeit

Abteilung Informatik

Hochschule für Technik Rapperswil

Herbstsemester 2012

Autor(en):      Angelique Vinkestijn  
                      Fabian Schweizer  
Betreuer:        Prof. Dr.-Ing. Andreas Rinkel  
Projektpartner: nicht definiert  
Experte:         nicht definiert  
Gegenleser:     nicht definiert

## INHALTSVERZEICHNIS

Aufgabenstellung.....	5
Eigenständigkeit der Arbeit .....	6
Abstract .....	7
Management Summary .....	8
Ausgangslage .....	8
Vorgehen und Technologien.....	8
Ergebnisse .....	8
Ausblick .....	9
Aufbau der Arbeit .....	10
Einleitung.....	11
WLAN-Kategorien .....	11
Frequenzband.....	11
IEEE-802.11 .....	12
IEEE-802.11g-Standard .....	15
IEEE-802.11n-Standard.....	16
Netzwerkverkehrsmuster.....	18
Grüne Wiese .....	18
Weiterentwicklung.....	18
Analyse .....	19
VoIP – Voice over IP .....	20
Internethnutzung .....	23

E-Mail Verkehr.....	25
Druckaufträge .....	27
Mess-Hardware .....	28
Access Point .....	28
Computer .....	37
Mess-Software .....	39
iperf .....	39
Vistumbler .....	39
Messaufbau.....	40
Allgemeiner Aufbau .....	40
KMU Aufbau .....	41
Messumgebung.....	42
Unterrichtszimmer.....	42
HF-Kammer .....	44
Messauswertung – Allgemeine Messungen .....	45
G-Standard .....	46
N-Standard .....	56
Messauswertung - KMU Messungen .....	89
G-Standard .....	90
N-Standard .....	94
Fazit für KMUs.....	102
Grüne Wiese .....	102

---

Weiterentwicklung.....	103
Analyse.....	103
Persönliche Berichte.....	104
Angelique Vinkestijn .....	104
Fabian Schweizer.....	106
Literaturverzeichnis.....	108
Projektdokumente.....	109
Projektplan.....	109
Risikoanalyse.....	117

## AUFGABENSTELLUNG

Ausgehend von den Messergebnissen, die in der Studienarbeit von Fabian Beck erfasst wurden, sind ergänzende Messungen des G- und N-Standards durchzuführen.

Auf Basis des dann vorliegenden Basis-Datenmaterials sind Messungen unter unterschiedlichen Einflussgrössen durchzuführen und gemäss Messergebnis zu interpretieren. Als Grundlage zur Bestimmung kann das Anforderungsprofil einer KMU angenommen werden. Die Einflussparameter sind im Rahmen der Studienarbeit zu erarbeiten.

Idealer Weise liegen im Anschluss an die Arbeit Referenzdaten für die Planung und Bewertung reeller Netze vor.

Rapperswil, 20.12.2012

Andreas Rinkel



## EIGENSTÄNDIGKEIT DER ARBEIT

### Erklärung

Wir erklären hiermit,

- dass wir die vorliegende Arbeit selber und ohne fremde Hilfe durchgeführt haben, ausser derjenigen, welche explizit in der Aufgabenstellung erwähnt ist oder mit dem Betreuer schriftlich vereinbart wurde,
- dass wir sämtliche verwendeten Quellen erwähnt und gemäss gängigen wissenschaftlichen Zitierregeln korrekt angegeben haben.
- dass wir keine durch Copyright geschützten Materialien (z.B. Bilder) in dieser Arbeit in unerlaubter Weise genutzt haben.

Rapperswil, 20.12.2012

Angelique Vinkestijn



Fabian Schweizer



## ABSTRACT

Im Rahmen dieser Studienarbeit wird ein Referenzdatenmodell für die Planung und Bewertung reeller Netze definiert.

Dazu werden

- die Ergebnisse der Studienarbeit von Fabian Beck einbezogen und bewertet
- ergänzende Durchsatzmessungen des G- und N-Standards durchgeführt
- die resultierenden Ergebnisse verglichen und analysiert

Auf Basis der Anfangsanalyse werden

- Einflussgrößen für das Anforderungsprofil einer KMU definiert
- Messungen unter unterschiedlichen Einflussgrößen durchgeführt und ausgewertet
- verschiedene Traffic Pattern (Lasten wie VoIP, Mail- und Datenverkehr) aus dem KMU-Umfeld erarbeitet und simuliert

Die Messungen werden durchgeführt

- im realen Umfeld mit Störungen (alltägliches Einsatzgebiet)
- in einer abgeschirmten HF-Kammer

Durch die beiden Messumgebungen können die Differenzen zwischen einer idealen und realen Umgebung aufgezeigt werden.

## MANAGEMENT SUMMARY

### AUSGANGSLAGE

Die Studienarbeit von Fabian Beck dient als Basis-Datenmaterial, in welcher der Aufbau und die Entwicklung einer WLAN-Netzwerkumgebung zur Untersuchung der QoS des G- und N-Standards beschrieben sind.

Es zeigt den systematischen Aufbau zur Realisierung der WLAN-Messumgebung und beinhaltet sowohl die Erarbeitung als auch die Entwicklung verschiedener Messszenarien.

### VORGEHEN UND TECHNOLOGIEN

Ausgehend von den Messergebnissen der Studienarbeit von Fabian Beck werden ergänzende Messungen des G- und N-Standards durchgeführt.

Als Grundlage kann das Anforderungsprofil einer KMU angenommen werden. Die Einflussparameter, das heisst die Netzwerkverkehrsmuster (Lasten wie VoIP, Mail- und Datenverkehr), werden erarbeitet und simuliert.

Um störungsfreie Messergebnisse zu erhalten wird auf eine abgeschirmte HF-Kammer zurückgegriffen.

### ERGEBNISSE

Die resultierenden Ergebnisse (neue, ergänzende sowie die Messungen von Fabian Beck) werden verglichen, analysiert und kommentiert.

Durch die beiden Messumgebungen (reale Umgebung und HF-Kammer) können für den KMU Aufbau Differenzen zwischen einer idealen und realen Umgebung aufgezeigt werden. Daraus folgend entsteht das Fazit mit Tipps und verschiedenen Szenarien für KMUs.

## AUSBLICK

In der weiterführenden Bachelorarbeit (Folgearbeit „Leistungsmessung im WLAN“) von Angelique Vinkestijn und Fabian Beck werden auf Grund dieser Arbeit und der vorangegangenen Studienarbeit von Fabian Beck weitere Messungen durchgeführt.

Das Ziel der Bachelorarbeit besteht darin eine Veröffentlichung zu erarbeiten.

## AUFBAU DER ARBEIT

Im Kapitel Einleitung wird die theoretische Grundlage wie auch der praktische Inhalt der Studienarbeit von Fabian Beck wieder aufgegriffen. Dazu gehören die WLAN-Kategorien, das Frequenzband und die verschiedenen Standards.

Bei den Netzwerkverkehrsmustern werden zuerst die drei verschiedenen Szenarien „Grüne Wiese“, Weiterentwicklung und Analyse beschrieben und dann entsprechend die Verkehrsmuster VoIP, Internetnutzung, „E-Mail Verkehr“ und Druckaufträge erläutert.

Die Kapitel Mess-Hardware & -Software zeigen die Produkte, welche für die Messungen verwendet wurden. Wichtige Funktionen werden erwähnt.

Das Kapitel Messaufbau veranschaulicht die Infrastruktur, welche für den allgemeinen Aufbau wie auch für den KMU Aufbau benutzt wurden.

Die Messumgebung beschreibt die reelle Umgebung, das Unterrichtszimmer und die HF-Kammer, welche für diese Studienarbeit verwendet wurden.

Im Kapitel Messauswertung – Allgemeine Messungen sind alle neu durchgeführten, alle erweiterten und alle von Fabian Beck durchgeführten Messungen dargestellt und entsprechend kommentiert.

Die Messungen im KMU Aufbau sind unter dem Kapitel Messauswertung – KMU Messungen zu finden.

Im Fazit für KMUs werden Tipps und Ergebnisse dargelegt, wie mit den verschiedenen Szenarien aus den Netzwerkmustern umgegangen werden muss.

## EINLEITUNG

### WLAN-KATEGORIEN

Im Ad-Hoc-Modus kommunizieren zwei einzelne Stationen über ihre integrierte WLAN-Karte miteinander. Es wird entsprechend kein Access Point benötigt.

Im Infrastruktur-Modus kommunizieren verschiedene Stationen immer über den Access Point. Dieser Modus kann im BSS (Basis Service Set) oder ESS (Extended Service Set) verwendet werden. Beim ESS werden mehrere Access Points mit verschiedenen Funkzellen zusammengefasst. Sendestationen wechseln bei stärkerer Signalstärke entsprechend den Access Point.

### FREQUENZBAND

WLANs sind in zwei Frequenzbereiche im ISM-Band aufgeteilt. Für die Übertragung von Daten werden diese Bereiche jeweils in Kanäle unterteilt.

Der Bereich 2.4-GHz hat 13 Kanäle, welche einen Abstand von 5 MHz haben, mit einer Bandbreite von 22 MHz. Bei Planungen von WLANs sollten die Kanäle 1, 7 und 13 verwendet werden. Dadurch finden keine Überlappungen statt. Bei Überlappungen sind Performance-Einbussen zu erwarten. Weitere Probleme können durch andere Technologien (Bluetooth, Mikrowellen, Funkkamera, etc.) entstehen.

Im Jahre 2002 wurde das Frequenzband 5-GHz freigegeben, welches insgesamt 19 unabhängige Kanäle umfasst. Jedoch bestehen auf hier Probleme durch andere Technologien (militärische Radarsysteme, Satelliten- und Amateurfunk).

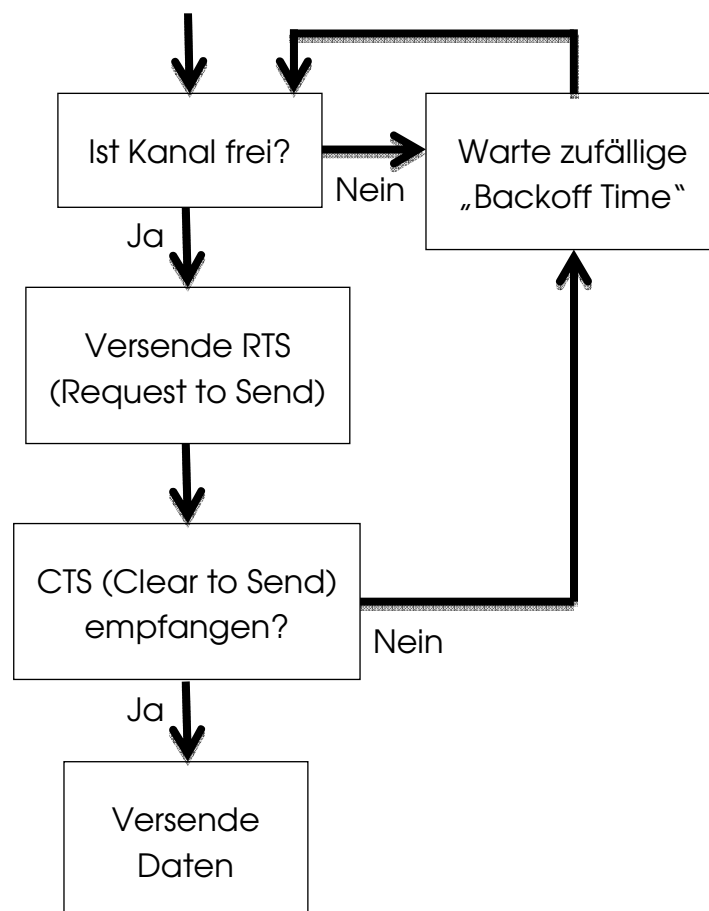
## IEEE-802.11

IEEE-802.11 definiert die Standards für die Funknetze auf Basis des Ethernets. Dazu werden speziell Physical- und Data-Link-Layer beachtet.

Der Physical-Layer definiert die Mittel zur Übertragung der „rohen“ Bits (statt logischer Daten) zwischen zwei Knoten.

Der Data-Link-Layer hat zwei Sublayer. LLC (Logical Link Control) stellt die Adressierung und Kontrolle des Data-Link-Layers zur Verfügung. MAC (Media Access Control) determiniert welche Endknoten erlaubt sind das WLAN zu verwenden. Die Determinierung geschieht über CSMA/CA.

### CARRIER SENSE MULTIPLE ACCESS WITH COLLISION AVOIDANCE



## ACKNOWLEDGEMENT

Da trotzdem Kollisionen auftreten können, wird jedes Daten-Paket mit einem ACK bestätigt. Trifft dieses ACK nicht ein, wird das Daten-Paket nochmals nach Durchlauf vom CSMA/CA versendet. ACKs werden nur auf Unicast-Frames erstellt.

## INTER FRAME SPACING

Die Sicherstellung der Prioritäten verschiedener Daten-Pakete wird durch IFS (Inter Frame Spacing) d.h. verschiedene Zeitabstände garantiert.

SIFS	Short Inter Frame Space	höchste Priorität
PIFS	Point Inter Frame Space	für PCF Stationen (keine Relevanz) $\text{PIFS} = \text{SIFSTime} + \text{SlotTime}$
DIFS	Distributed Inter Frame Space	Mindestabstand für erneuten Zugriff $\text{DIFS} = \text{SIFSTime} + 2x \text{SlotTime}$
EIFS	Extended Inter Frame Space	Wartezeit nach fehlerhaftem Frame $\text{EIFS} = \text{SIFSTime} + \text{DIFS} + (8x \text{ACK-Länge})$ + Präambel-Länge + Physical-Layer-Header-Länge

## BACKOFF-ALGORITHMUS

Da der Mindestabstand DIFS für alle Stationen gleich ist, wird der Backoff-Algorithmus verwendet, damit nicht zeitgleich auf den Kanal zugegriffen wird.

Backoff Time = Zufallszahl x SlotTime

Falls die Station dann erneut in die Schleife mit der Backoff Time gelangt, wird diese Zufallszahl um eine Ganzzahl inkrementiert. Dadurch ist sichergestellt, dass einerseits die Wahrscheinlichkeit eines Zugriffs mehrerer Stationen auf den Kanal sehr klein ist. Andererseits jedoch durch die schrittweise Verringerung der Backoff Time für eine Fairness des Medienzugriffs gesorgt ist und nicht eine Station dauerhaft blockiert wird.

## IEEE-802.11G-STANDARD

Der IEEE-802.11g-Standard ist eine Erweiterung der IEEE 802.11 Richtlinie bei welcher eine Übertragungsrate von bis zu 54 Mbps auf dem 2.4 GHz Band wie bei 802.11b erreicht werden kann.

---

### OFDM - ORTHOGONAL FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING

Damit die Übertragungsrate gewährleistet werden kann, wird der neue Modus OFDM verwendet. Wobei die Kodierung auf mehreren Frequenzen eines Trägersignals stattfindet.

---

### SHORT PREAMBLE

Um unnötigen Overhead vom 802.11b-Standard zu entfernen wurde die Präambel verkleinert. Dieser "Short Preamble" wird nur verwendet, wenn sie vom Sender und Empfänger unterstützt wird.

## IEEE-802.11N-STANDARD

Der IEEE-802.11n-Standard ist der zurzeit neuste Standard. Die Übertragungsrate liegt zwischen 300 und 600 Mbps.

### OFDM - ORTHOGONAL FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING

Wie im IEEE-802.11g-Standard wird auch beim IEEE-802.11n-Standard der OFDM Modus verwendet, jedoch werden nicht nur ein Trägersignal sondern mehrere parallele Trägersignale für die Kodierung der Daten verwendet.

Neu stehen dem 802.11n-Standard 52 Trägersignale zur Verfügung.

### MIMO - MULTIPLE-INPUT AND MULTIPLE-OUTPUT

Bei MIMO werden pro AP (Access Point) mehrere Antennen zum Senden bzw. Empfangen benutzt. Dabei wird der Datenstrom aufgeteilt und die Bandbreite der jeweiligen Dienste pro einzelner Antenne kleiner.

### 40-MHZ-KANÄLE

Durch Bündelung zweier 20 MHz Kanäle ist eine Erweiterung auf einen 40 MHz Kanal möglich. Er bietet somit doppelt so viele Trägersignale zur Verfügung.

### FRAME-AGGREGATION

Frame-Aggregation verkleinert den Overhead, da es wie beim Ethernet-Jumbo-Frame Prinzip mehrere einzelne Frames zu einem grossen Frame zusammenfügt. Somit werden anstelle vieler einzelner Frames mit jeweiligem Overhead (Header, etc.) nur noch ein grosses Frame mit einem gemeinsamen Overhead versendet.

## RIFS - REDUCED INTER FRAME SPACE

Da nicht alle Frames aggregiert werden können und vielleicht trotzdem mehrere Frames hintereinander von Sender A zu Empfänger B gesendet werden müssen, muss nicht ein ganzer SIFS sondern nur der neue RIFS Abstand zwischen den einzelnen Frames abgewartet werden.

## NETZWERKVERKEHRSMUSTER

Netzwerkverkehrsmuster kommen zum Einsatz bei der Planung und Verwaltung von Netzwerken. Es wird dabei unterschieden zwischen einem völlig neuen Netzwerk („Grüne Wiese“-Prinzip), einer Weiterentwicklung (Erweiterung oder Änderung) eines bestehenden Netzwerks oder einer Analyse eines Problems oder Erstellung einer Statistik in einem bestehenden Netzwerk.

In allen drei Szenarien ist zu unterscheiden, ob die Teilnehmer in einer quasistationären Zelle sind oder sich mobil bewegen und daher Zellen wechseln könnten.

### GRÜNE WIESE

Bei einer grünen Wiese d.h. Neuplanung eines Netzwerks ist von Interesse welcher Verkehr und welche Arten von Verkehr erwartet werden um eine optimale Planung zu erstellen. Dies beinhaltet unter anderem das Wissen wie viele Zellen vorhanden sein müssen, wie deren Platzierung aussehen muss und ob diese Zellen spezifisch auf eine Art von Verkehr eingestellt werden müssen.

### WEITERENTWICKLUNG

In dieser Situation gilt es den Verkehrsdurchsatz von neuen oder geänderten Services und deren Auswirkungen auf den bestehenden Verkehrsdurchsatz abzuklären und entsprechend eine mögliche Erweiterung zu planen. Aus diesem Grund bilden Referenzdaten wie in dieser Studienarbeit abgebildet eine gute Möglichkeit als Planungsgrundlage.

## ANALYSE

Bei einer Analyse wird entweder ein Problem in einem bestehenden Netzwerk vorausgesetzt oder es werden allgemeine Statistiken zum Durchsatz erstellt.

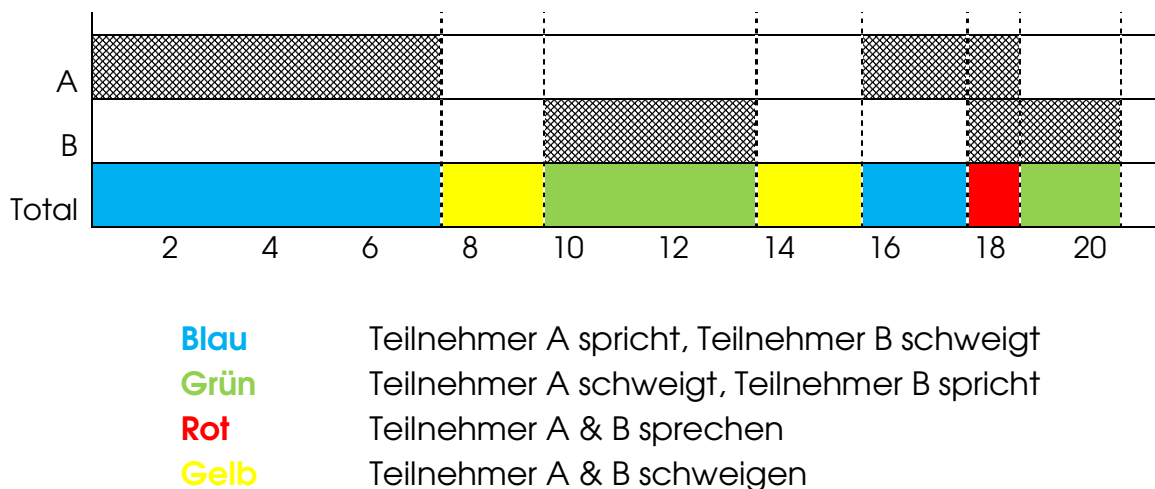
Im Problemfall gilt es die Quelle des erhöhten Verkehrsdurchsatzes zu finden und entsprechend mit vorhandenen Referenzdaten zu vergleichen. Mit diesen neuen Erkenntnissen kann dann entschlossen werden, ob eine Änderung eines vorhandenen Services von Nöten ist oder eine mögliche Erweiterung in Betracht gezogen werden muss.

## VOIP – VOICE OVER IP

Telefonate enthalten typischerweise etwa 35-50% Sprachpausen<sup>1</sup>. Traditionelle schaltungsbasierte POTS (Plain old telephone services) verwenden eine fixe Bandbreite von 64 kbps ungeachtet ob eine Konversation oder Sprachpause stattfindet. Mit VoIP wie auch ISDN wird jede Konversation oder Sprachpause in digitale Pakete umgewandelt. Durch Voice Activity Detection (VAD) werden nur die Pakete versendet, welche Sprache enthalten. Jedoch steht die paketorientierte Versendung bei VoIP in Konkurrenz mit allen anderen Diensten und es entsteht durch ihre hohe Priorität sehr grosse Belastung im Netzwerk.

Für das Netzwerkverkehrsmuster kann auf Grund des VAD eine Bandbreitenreduktion von ca. 35-50% angenommen werden.

Folgende Grafik<sup>2</sup> zeigt in einem Zeitraum von ca. 20 Sekunden wie ein Telefonat auf zwei Teilnehmende verteilt ist:



<sup>1</sup> Cisco – Traffic analysis for Voice over IP

<sup>2</sup> Detecting VoIP Traffic Based on Human Conversation Patterns

Ein durchschnittliches VoIP Gespräch dauert 3.33 Minuten<sup>3</sup>. Demnach muss das WLAN bei einer Messung mit dem VoIP-Verkehrsmuster während 3.33 Minuten mit einer zweifachen Last (2 Teilnehmer) belegt werden. Es können natürlich mehrere Telefonate gleichzeitig stattfinden. Dies stellt sich aus dem Anrufverhalten des entsprechenden Unternehmens zusammen.

### G.711

G.711 ist eine Richtlinie für einen Codec, welcher die Umwandlung von analogen Tönen in digitale Daten festlegt.

Diese Umwandlung findet mit einer Abtastrate von 8 kHz statt. Mit einer Quantisierung nach  $\alpha$  oder  $\mu$  Law zu 8 bit je Sample. Es wird mit einer Bandbreite von 64 Kbps gesendet.

Die Samples werden nach 20 ms in einem Frame zusammengefasst. Dieses Frame wird jeweils in ein einzelnes Ethernet-Paket gelegt. Demnach können 50 Pakete pro Sekunde gesendet werden. Infolgedessen ist der Dateninhalt eines Paketes 160 Byte.

Aufbau Ethernet-Paket (in Byte):

Preämbel	SFD	Ziel-MAC	Quell-MAC	Typ	Payload				CRC	IFG <sup>4</sup>
7	1	6	6	2					4	12
					IP	UDP	RTP	<b>Dateninhalt</b>		
					20	12	8	<b>160</b>		

Es entsteht somit eine belegte Bandbreite von  $238 \text{ Byte} * 50 = 95.2 \text{ kbps}$ . Beachten wir nun, dass bei VAD nur Pakete gesendet werden, wenn gesprochen wird bleibt eine belegte Bandbreite zwischen 42.6 – 61.0 kbps.

<sup>3</sup> Durchschnittliche Dauer einer VoIP Verbindung im Jahr 2010

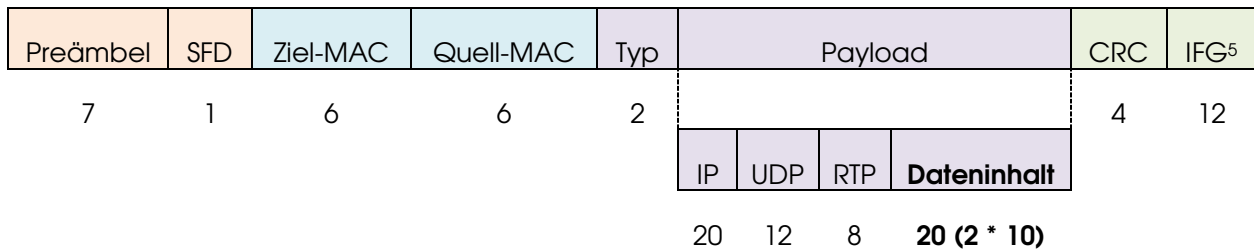
<sup>4</sup> IFG – Interframe Gab: Minimaler Abstand zwischen zwei Datenrahmen

G.729

G.729 ist eine weitere Richtlinie eines Codecs. Auch hier findet die Umwandlung mit 8 kHz statt. Ein grosser Vorteil jedoch ist die Bandbreite von nur 8kbps, da dadurch die Last kleiner wird. Dies wird erreicht, da die Quantisierung geringer ist als bei G.711, jedoch dadurch auch eine subjektiv kleinere Sprachqualität bietet.

Da die Frames nach 10 ms zusammengefasst werden, können pro Ethernet-Paket gleich zwei Frames versendet werden. Das heisst somit, dass die Ethernet-Pakete alle 20 ms versendet werden. Daraus folgt das der Dateninhalt eines Paketes 20 Byte (10 Byte pro Frame) ist.

Aufbau Ethernet-Packet (in Byte):



Die belegte Bandbreite ist somit  $98 \text{ Byte} * 50 = 39.2 \text{ kbps}$  und mit VAD werden lediglich  $19.6 - 25.5 \text{ kbps}$  verwendet.

<sup>5</sup> IFG – Interframe Gap: Minimaler Abstand zwischen zwei Datenrahmen

## INTERNETNUTZUNG

### PRIVATES UND GESCHÄFTLICHES UMFELD

Sehr viele Informationen sind im Web zugänglich. Diese Quelle an Informationen wird nicht nur privat sondern auch im geschäftlichen Umfeld genutzt, verarbeitet und teilweise auch direkt zur Verfügung gestellt.

Dadurch entsteht eine Verschmelzung von privater wie auch geschäftlicher Nutzung und viele Firmen legen daher Wert auf eine sogenannte „Internet Usage Policy“.

In einer solchen „Internet Usage Policy“ wird festgehalten, dass die Benutzung des Internets nur für geschäftliche Zwecke erlaubt ist. Um private Benutzung zu verhindern wird meistens ein Proxy-Umfeld im Netzwerk verwendet, welches das Blockieren von spezifischen Seiten wie Social-Communities erlaubt.

## UPLOAD & DOWNLOAD AUSWIRKUNGEN

Im Bereich des Uploads tangiert die Auswirkung von „Surfen“ die Bandbreite nur sehr wenig. Eine Anfrage für eine Website ist meist kleiner als ein Kilobyte. Im Bereich des Downloads hingegen kann sich schnell eine grosse Datenmenge ansammeln. Als Beispiel kann ein Bild bereits mehrere Megabyte an Daten mit sich bringen und durch die heutigen interaktiven Webseiten wird oft sehr viel Multimediainhalt im Web verwendet.

Die mögliche Nutzung der Bandbreite beim Download ist abhängig von der vom Provider zur Verfügung gestellten Internetbandbreite sowie von der Servicebandbreite der Quelle. Bei einer verfügbaren Providerbandbreite von z.B. 20 Mbps sind maximal 2,5 MB/s beim Download zu erreichen. Anzumerken ist, dass die verfügbare Providerbandbreite mit sämtlichen anderen Diensten (VoIP, E-Mail, etc.) geteilt werden muss.

Die Internetnutzung beeinflusst somit bei grossen gleichzeitigen Downloads die Bandbreite stark, beim „normalen Surfen“ (sprich Aufrufen und Navigieren in Webseiten) nur schwach.

Von der FCC (Federal Communications Commission) wird eine Mindestbandbreite von 1Mbps<sup>6</sup> für interaktive Webseiten empfohlen.

---

<sup>6</sup> Broadband Speed Guide & Measuring Broadband America

## E-MAIL VERKEHR

### SPAM

SPAM (englisch für "Abfall" oder "Plunder") wird als Bezeichnung für ungewollte E-Mails mit einem kommerziellen Inhalt benutzt. Diese Spam-E-Mails kommen zur Genüge in grossen Mengen bei jedem E-Mailbenutzer an.

Obwohl die Gesamtanzahl dieser E-Mails seit einigen Jahren von 80 - 85% auf 50 - 75%<sup>7</sup> gesunken ist, kann immer noch davon ausgegangen werden, dass wenn bei einem KMU (Kleines oder mittleres Unternehmen) kein Sicherheitsstandard bezüglich Spam-E-Mails auf dem E-Mail-Server festgelegt worden ist, das Netzwerk mit unnötigem Traffic belegt wird.

Da eine solche Implementierung eines Sicherheitsstandards unerlässlich ist, werden in den nachfolgenden Grafiken und Berechnungen die Anzahl Spam-E-Mails nicht beachtet.

### MENGE

Die Menge gesendeter E-Mails kann auf Grund des Arbeitsverhaltens sehr genau festgelegt werden.

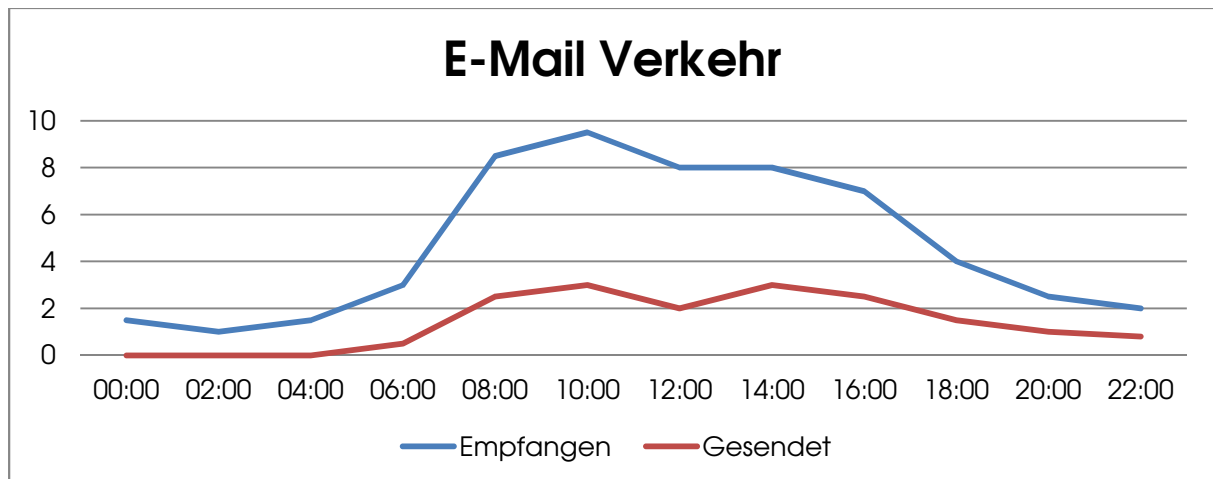
Die Arbeitszeit eines KMU-Mitarbeiters liegt zwischen 6:00 bis 18:00 Uhr von Montag bis Freitag mit einer Mittagspause zwischen 12:00 – 13:00 Uhr.

Durch die Arbeitspausen am Abend/Morgen und der Mittagszeit schreiben die Mitarbeiter deswegen früh morgens oder nach der Mittagspause die meisten E-Mails.

---

<sup>7</sup> Symantec.cloud Spam Analyse 2012

In der nachfolgenden Grafik<sup>8</sup> ersichtlich ist ein Tagesablauf, welcher zeigt, wie viele E-Mails durchschnittlich von einem KMU Mitarbeiter zu welcher Tageszeit versendet werden:



## GRÖSSE

Die genaue Grösse einer E-Mail lässt sich nie genau vorhersagen. Bei der Konvertierung von ASCII- (Textinhalt) zu Binär-Zeichen entsteht eine Verkleinerung der E-Mail. Jedoch wächst das E-Mail durch MIME-Header, Dateinamen und weiterer Informationen vom Mailserver auf eine ungefähre Grösse von 5,5 MB<sup>9</sup>.

## DURCHSATZ

Da der E-Mailserver eine Queue-Abfolge der E-Mails verursacht, kann bei einer maximalen Anzahl von z.B. 12 E-Mails pro Stunde mit einem Durchsatz von 146 kbps gerechnet werden.

<sup>8</sup> "My E-Mail Usage" von Neal Müller

<sup>9</sup> Maximale Dateigrösse als Anhang

## DRUCKAUFTRÄGE

Bei Verkehrsmustern von Druckaufträgen muss in erster Linie auf die Branche des Unternehmens geachtet werden.

Die Grösse wie auch Anzahl von Druckaufträgen ist zum Beispiel bei einer Druckfirma wesentlich grösser als die Ansprüche welche eine Beratungsfirma an ihre Infrastruktur stellt.

## DRUCKVERHALTEN

Nachstehend eine kurze Berechnung des Durchsatzes auf Grund des Druckverhaltens in einer KMU.

Durchschnittlich druckt ein Mitarbeiter 3 Seiten<sup>10</sup> pro Tag. Eine Seite (Bilder und Text gemischt) hat eine ungefähre Grösse von 0.33 MB<sup>11</sup>. Das heisst, dass ein Mitarbeiter am Tag 1 MB ausdruckt.

Wenn nun alle Mitarbeiter im KMU gleichzeitig anfangen zu drucken, entsteht somit eine Last von 10 MB.

	G-Standard	N-Standard
<b>Anzahl Mitarbeiter</b>	10	10
<b>Seiten pro Mitarbeiter</b>	3	3
<b>Total Anzahl Seiten</b>	30	30
<b>Grösse Seite (in KB)</b>	300	300
<b>Total Grösse (in MB)</b>	9	9
<b>Bandbreite (in Mbps) *</b>	54	300
<b>Dauer (in s)</b>	1.33333333	0.24

\* Theoretisch maximal verfügbare Bandbreite

<sup>10</sup> Printing Statistics – Princeton University

<sup>11</sup> Grösse PDF (Bild und Text gemischt)

## MESS-HARDWARE

### ACCESS POINT

#### CISCO WAP4410N

Der Access Point erlaubt eine grosse Reichweite und Mobilität innerhalb eines WLANs und bietet die Möglichkeit das WLAN an ein Kabelgebundenes Netzwerk zu schliessen.

Es werden 802.11n, 802.11g und 802.11b Stationen und gemischte Umgebungen unterstützt.

Für das Roaming im Infrastruktur-Modus wird empfohlen einen geeigneten Kanal und eine optimale Position für den Access Point zu wählen.

Des Weiteren hat der Access Point drei abnehmbare 2dBi omni-direktionale Antennen, damit MIMO (Multiple in, Multiple out) für 802.11n funktioniert.

Sicherheit mit verschiedenen Verschlüsselungsoptionen könnten gewährleistet werden, ist jedoch im Sinne dieser Arbeit nicht nötig.

## BASIS EINSTELLUNGEN



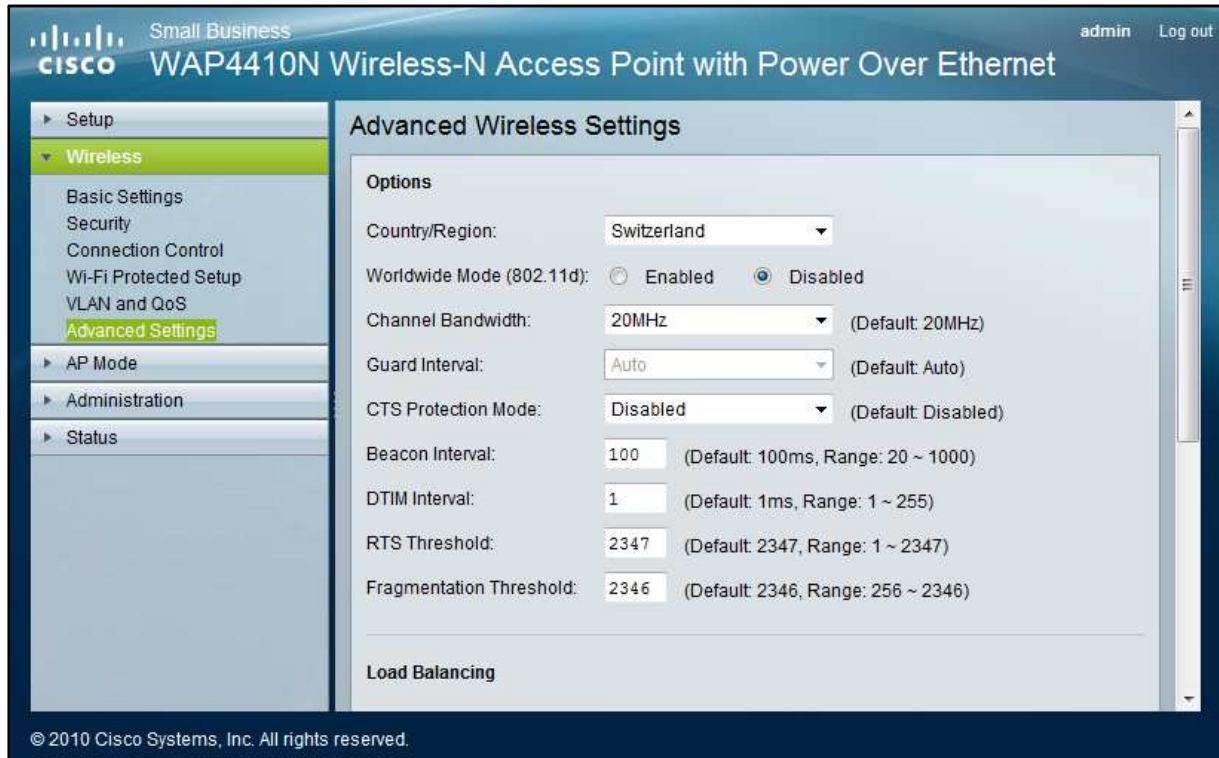
Wireless Network Mode Disabled, B-Only, G-Only, N-Only, B/G-Mixed, B/G/N-Mixed

Wireless Channel Kanäle 1-13 (Default Kanal: 6) vom 2.4 GHz-Bereich  
802.11n Kanalloptionen > „Erweiterte Einstellungen“

SSID Name Einzigartiger Name für das WLAN

SSID Broadcast „Enabled“ Erlaube Broadcast der SSID  
„Disabled“ Kein Broadcast der SSID

## ERWEITERTE EINSTELLUNGEN



Country/Region	Wahl des Standortlandes
Worldwide Mode	„Enabled“ Regelung von Anzahl und Auswahl der Kanäle wie auch der Basistechnologie „Disabled“ Default-Einstellung da die Unterstützung aller Stationen notwendig
Channel Bandwidth	Wählen der Kanal Bandbreite
Beacon Interval	Zeitabstand der Versendung der Beacon-Frames
Fragmentation Threshold	max. Länge des Pakets
Load Balancing	Möglichkeit eine optimale Ressourcennutzung zu konfigurieren, falls mehr als ein Access Point im WLAN vorhanden ist

## NETGEAR WNDAP350

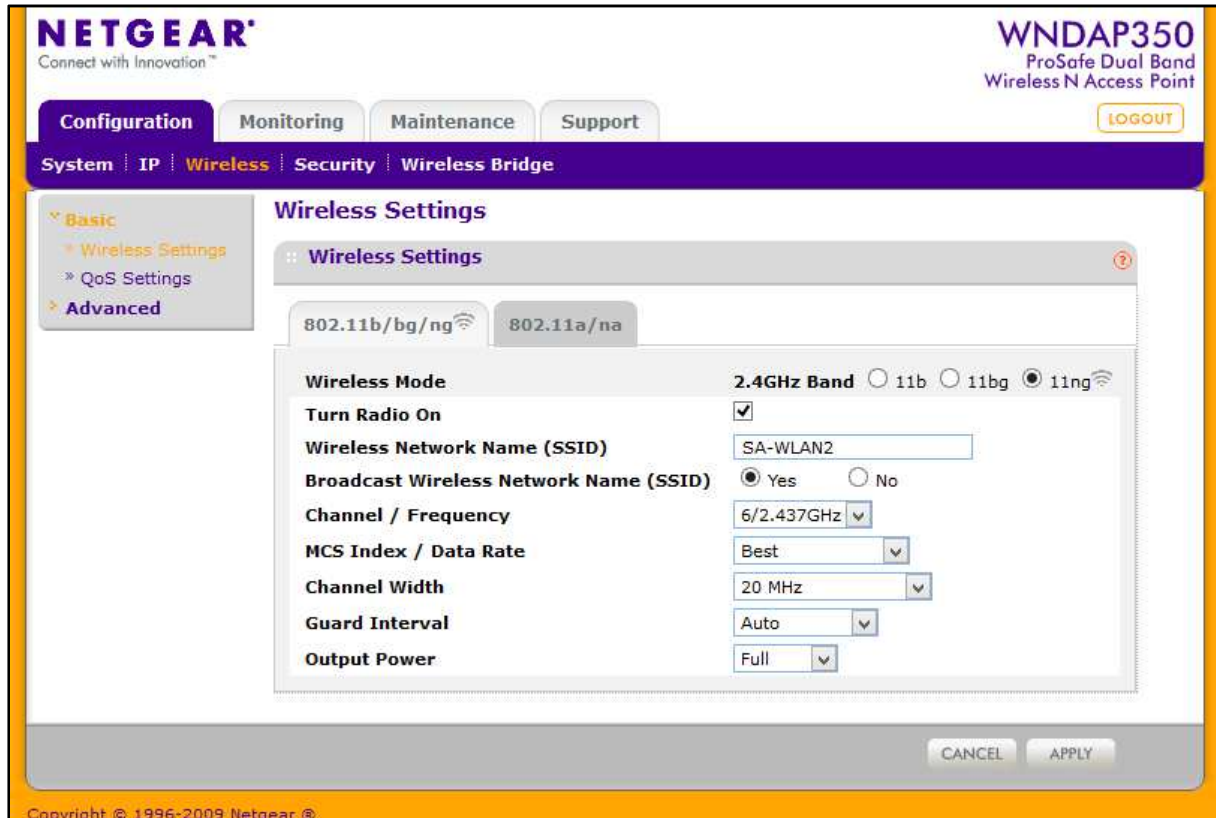
Der Access Point erlaubt das Arbeiten vom 2,4GHz und 5GHz Bereich gleichzeitig und bietet eine Rückwärtskompatibilität auf die Standards 802.11a, 802.11b und 802.11g. Die Umgebungen sind dabei jeweils gemischt.

Es ist möglich den AP an ein kabelgebundenes Netzwerk anzuschliessen und dieses dadurch zu erweitern.

Des Weiteren wird ein Anschluss für eine externe Antenne im 2,4GHz-Bereich angeboten, welche die interne Antenne ersetzt respektive diese auf alleinigen 5GHz-Betrieb einstellt.

Sicherheitsmöglichkeiten sind vorhanden aber im Rahmen dieser Arbeit nicht von Belang.

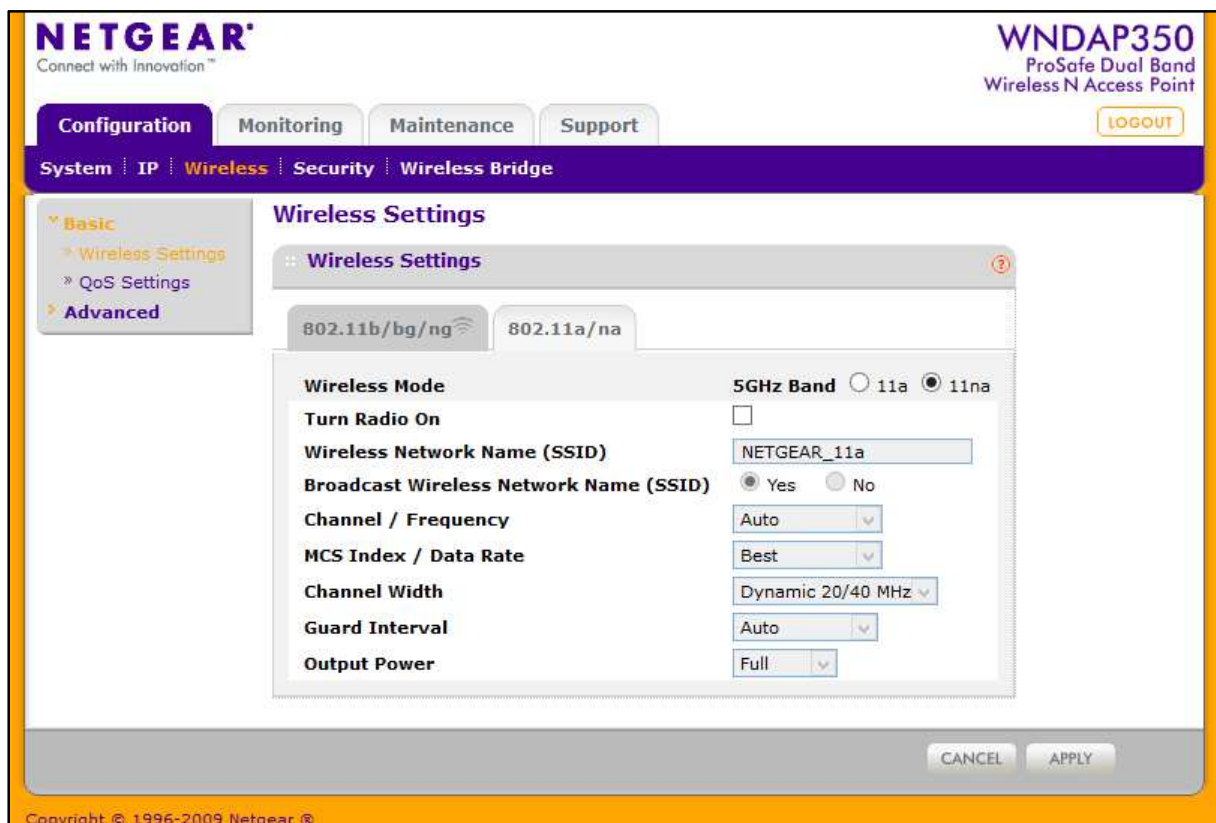
BASIC WIRELESS SETTINGS 2.4 GHZ



Wireless Mode	Wahl des 2.4 GHz Band Standard	
Wireless Network Name	Name des WLANs	
Broadcast Wireless Network Name	"Yes"	SSID wird gesendet
Network Name	"No"	SSID wird nicht gesendet
Channel / Frequency	„Auto“	Access Point sucht besten Kanal
	"1 – 13"	Manuelle Wahl des Kanals
MCS Index / Data Rate	Angabe der Datenrate Bis zu 300 mbps bei 40 MHz Bündelung und Short-Guard möglich	
Channel Width	Auswahl der Kanalbreite Bündelung der Kanäle möglich	

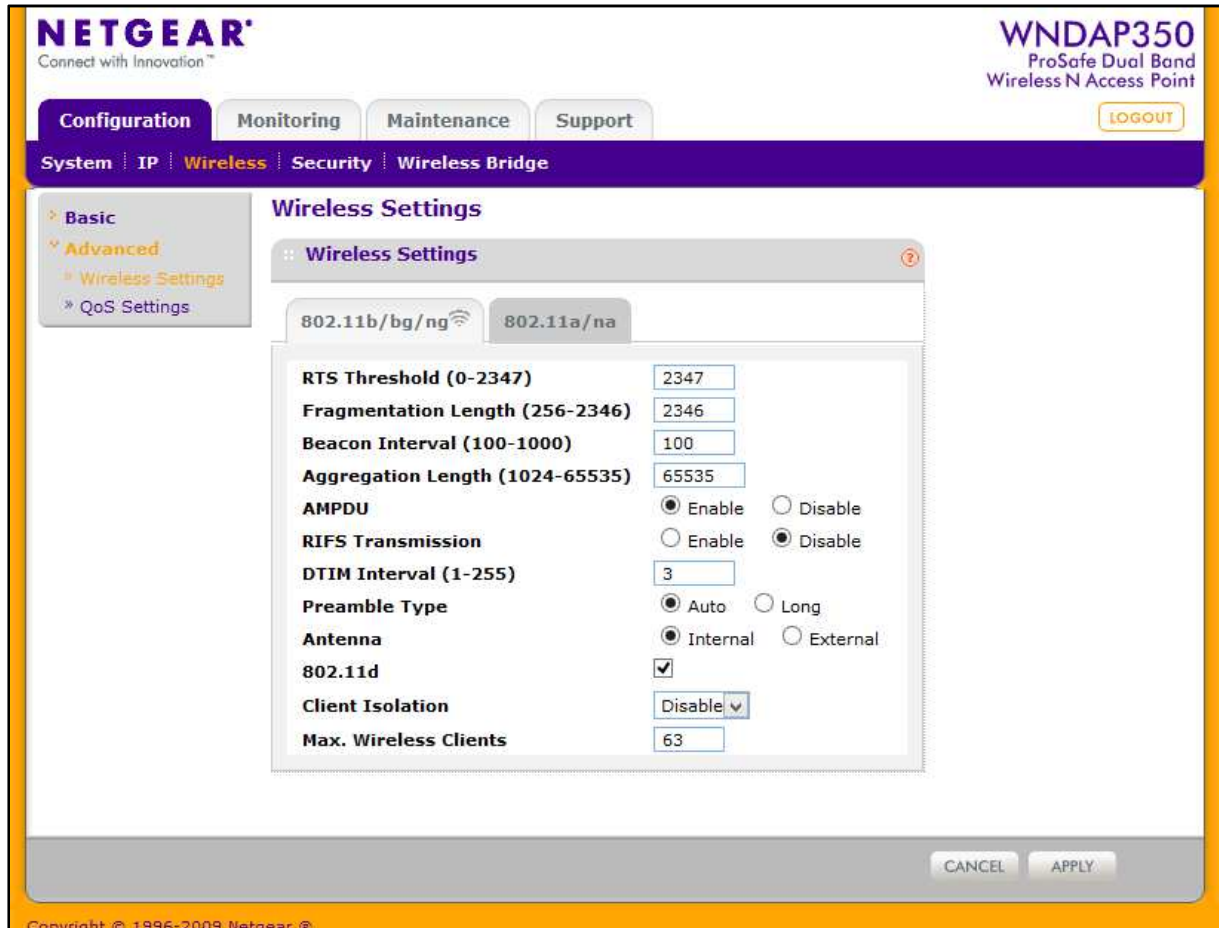
Guard Interval	„Auto“ „Long“	evtl. Short-Guard-Intervall Long-Guard-Intervall (800 ns)
Output Power	„Full“ „Half“ „Quarter“ „Eighth“ „Minimum“	Einstellen der Signalstärke Verringerung immer um die Hälfte

## BASIC WIRELESS SETTINGS 5 GHZ



Andere Standards, sonst identisch zu 2.4 GHz Wireless Mode.

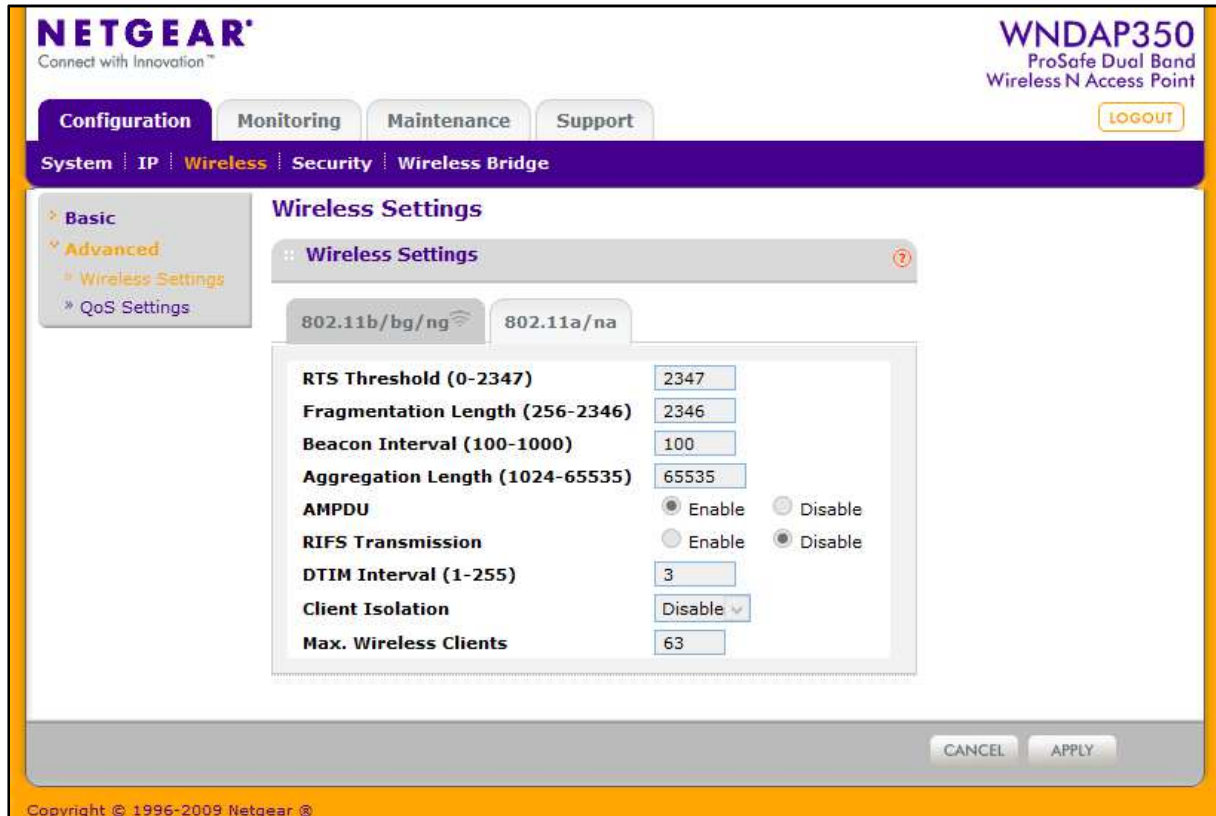
ADVANCED WIRELESS SETTINGS 2.4 GHZ



- |                      |   |
|----------------------|---|
| RTS Threshold        | Wählen der Frame-Länge<br>Ist ab Framelänge 2346 Byte deaktiviert   |
| Fragmentation Length | Fragmentierungslänge  |
| Beacon Interval      | Zeitintervall zwischen zweier Beacon-Frames                         |
| Aggregation Length   | Maximale Länge eines aggregierten Frames                            |
| AMPDU                | „Enable“ Aggregation aktiviert<br>„Disable“ Aggregation deaktiviert |

RIFS Transmission	„Enable“ „Disable“	RIFS für N-Clients aktiviert RIFS für N-Clients deaktiviert
DTIM Interval		Delivery traffic indication message
Preamble Type	„Auto“ „Long“	Short-Preamble Long-Preamble
Antenna	„Internal“ „External“	Nur interne Antennen verwenden Möglichkeit für externe Antennen
802.11d	„Enable“ „Disable“	Kanäle nach Ländern / Regionen Kanäle manuell einstellen
Max. Wireless Clients		Maximale Anzahl Clients im WLAN

## ADVANCED WIRELESS SETTINGS 5 GHZ



Gleiche Einstellungsmöglichkeiten wie beim 2.4 GHz Band.

Preamble Type	Nicht vorhanden da immer „Short Preamble“ verwendet
802.11d	Kanalaufteilung per Land/Region in 5 GHz nicht möglich
Antenna	Externe Antennen sind nur im 2.4 GHz Band möglich

## COMPUTER

### IPERF-STATIONEN

#### **Funktion**    **iperf Server**

Model        HP EliteBook 8540p  
CPU          Intel Core i7 2.67 GHz  
RAM         8 GB  
OS            Windows 8

WLAN-Netzwerkkarte    WLAN N-Standard (2.4 & 5 GHz Band)  
IP-Adresse              192.168.1.10

#### **Funktion**    **iperf Client**

Model        Lenovo ThinkPad T410  
CPU          Intel Core i7 2.67 GHz  
RAM         8 GB  
OS            Windows 8

WLAN-Netzwerkkarte    WLAN N-Standard (2.4 & 5 GHz Band)  
IP-Adresse              192.168.1.11

## KMU-SIMULATION-COMPUTER

### **Funktion Verkehrsmuster: VoIP, Internet, E-Mail, Druckaufträge**

Model Acer Aspire One  
CPU Intel Celeron 1.3 GHz  
RAM 2 GB  
OS Windows 8

WLAN-Netzwerkkarte WLAN N-Standard (nur 2.4 GHz Band)  
IP-Adresse 192.168.1.20

### **Funktion Verkehrsmuster: VoIP, Internet, E-Mail, Druckaufträge**

Model Acer Aspire One  
CPU Intel Celeron 1.3 GHz  
RAM 2 GB  
OS Windows 8

WLAN-Netzwerkkarte WLAN N-Standard (nur 2.4 GHz Band)  
IP-Adresse 192.168.1.21

## MESS-SOFTWARE

### IPERF

Als Mess-Software wird iperf eingesetzt. iperf wurde von NLANR/DAST als Alternative zu Modemmessungen für maximale Bandbreitenberechnung im TCP- und UDP-Umfeld entwickelt. Es erlaubt mit verschiedenen Parametern auf bestimmte UDP-Charaktere zuzugreifen. Neben Bandbreitenberechnungen können auch Verzögerungs-Jitter sowie Datengrammverluste festgestellt werden.

Um eine Messung durchführen zu können, werden zwei Computer benötigt auf welchen iperf installiert ist, wobei jeweils ein Computer als Server und einer als Client agiert. Das Programm ist frei erhältlich für Mac, Windows und Linux.

### KONFIGURATION

- Server
  - `-s` Server
  - `-u` UDP (ohne `-u` wird TCP verwendet)
  - `-i` Intervall für Zwischenreporte (mit Jitter & Datagrammverlust)
- Client
  - `-c` Client
  - `-i` Intervall für Zwischenreporte
  - `-b` Bandbreite (impliziert `-u`)
  - `-t` Zeitperiode

### VISTUMBLER

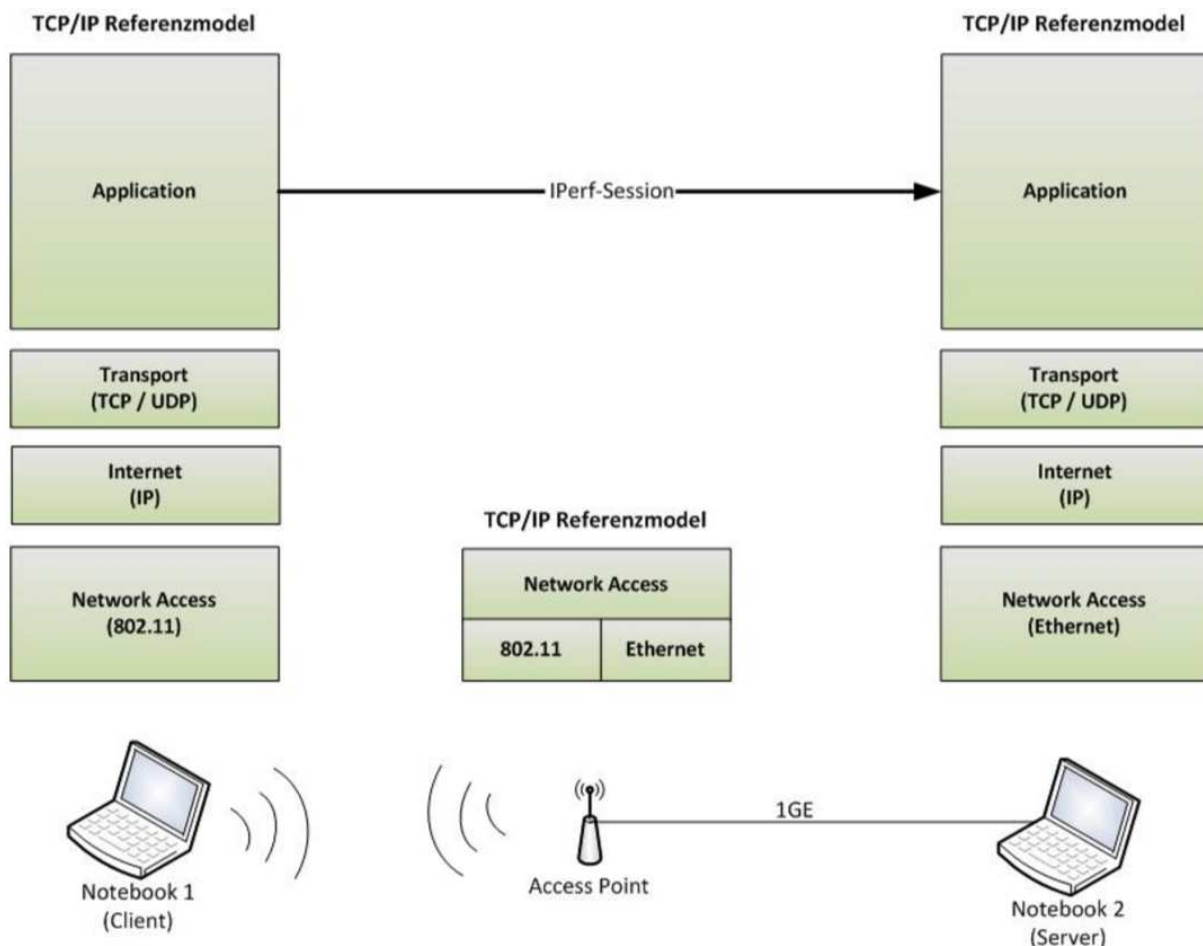
Open Source Software, welche wireless APs in der Umgebung findet, indem der in Vista eingeführte Befehl „netsh wlan show networks mode=bssid“ verwendet wird.

## MESSAUFBAU

### ALLGEMEINER AUFBAU

Da das Messen des Jitters über iperf erledigt werden kann erübrigt sich der Einsatz eines Hub oder Tap zwischen Access Point und Server.

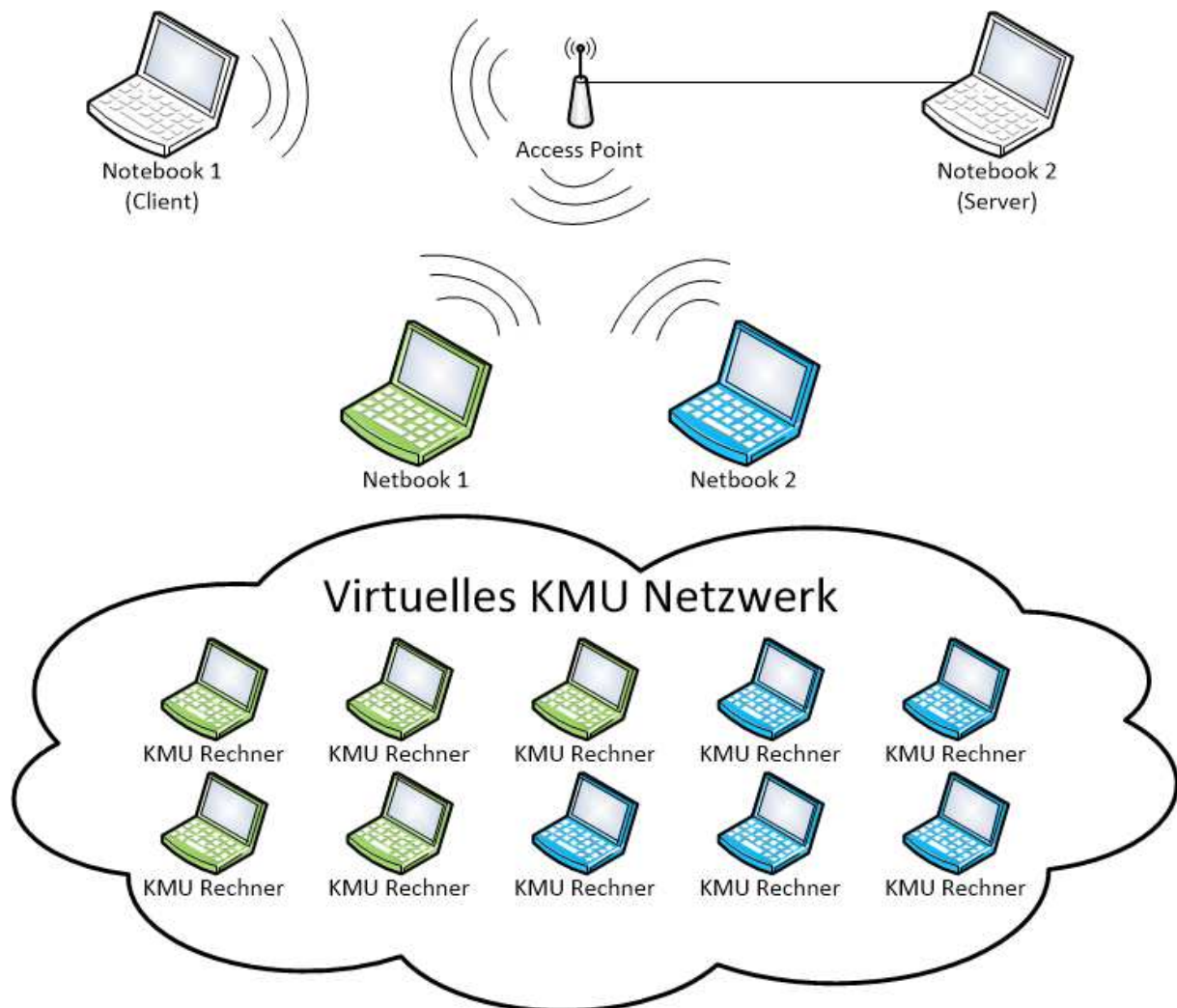
Für den Aufbau werden daher ein Notebook als Client und ein Notebook als Server eingesetzt. Der Server wird per RJ45-Ethernet-Kabel und der Client per Wireless mit dem Access Point verbunden.



## KMU AUFBAU

In der KMU Umgebung wird das „Virtuelle KMU Netzwerk“ durch zwei Netbook simuliert. Das heisst, dass das Netbook 1 die Lasterzeugung von der ersten Hälfte des Netzwerks und Netbook 2 entsprechend die Lasterzeugung der zweiten Hälfte übernimmt.

Für den Messaufbau werden wieder ein Notebook als Client und ein Notebook als Server verwendet. Notebook 1 und Netbook 1 & 2 sind über Wireless und das Notebook 2 mit RJ45-Ethernet-Kabel mit dem Access Point verbunden.



## MESSUMGEBUNG

Die im Messaufbau beschriebenen Situationen werden in zwei verschiedenen Umgebungen durchgeführt:

- im Unterrichtszimmer
- in einer HF-Kammer

## UNTERRICHTSZIMMER

Dadurch, dass wir ein reales Umfeld kreieren müssen, ist unser Unterrichtszimmer ideal. Da in der Realität, vor allem in gut bewohnten Gegenden, mit Störeinflüssen gerechnet werden muss, kann das Unterrichtszimmer ohne weitere Änderung für die Messungen verwendet werden.

Die untenstehende Tabelle zeigt die Ausgangslage aller WLAN-Netzwerke, welche von unserem Arbeitsplatz im Unterrichtszimmer aus zu sehen sind. Des Weiteren sieht man auch die ungefähre Signalstärke (SIGNAL) und die höchst mögliche Signalstärke (High Signal) der verschiedenen WLAN-Netzwerke.

SSID	BSSID	SIGNAL	High Signal	ENCRYPTION	RADIO TYPE	CHANNEL	DATE(UTC)	TIME(UTC)
<b>HSR-WLAN</b>	6C:50:4D:AB:9B:4E	26	30	Unencrypted	802.11n	104	28.11.2012	16:43:28.942
<b>eduroam</b>	6C:50:4D:AB:9B:4B	26	26	AES	802.11n	104	28.11.2012	16:43:58.345
<b>MOBILE-EAPSIM</b>	6C:50:4D:AB:9B:4D	25	25	WEP	802.11a	104	28.11.2012	16:43:58.345
<b>HSR-Secure</b>	6C:50:4D:AB:8C:AC	60	61	AES	802.11n	64	28.11.2012	16:43:28.942
<b>eduroam</b>	6C:50:4D:AB:8C:AA	61	63	AES	802.11n	64	28.11.2012	16:43:28.942
<b>MOBILE-EAPSIM</b>	6C:50:4D:AB:8C:AB	60	63	WEP	802.11a	64	28.11.2012	16:43:28.942
<b>HSR-WLAN</b>	6C:50:4D:AB:8C:AE	60	61	Unencrypted	802.11n	64	28.11.2012	16:43:28.942
<b>MOBILE-EAPSIM</b>	B4:14:89:14:37:1B	26	26	WEP	802.11a	48	28.11.2012	16:43:28.942
<b>HSR-WLAN</b>	B4:14:89:14:37:6E	46	46	Unencrypted	802.11n	48	28.11.2012	16:43:28.942
<b>HSR-Secure</b>	B4:14:89:14:37:6C	45	45	AES	802.11n	48	28.11.2012	16:43:48.475
<b>eduroam</b>	B4:14:89:14:37:6A	45	45	AES	802.11n	48	28.11.2012	16:43:48.475
<b>MOBILE-</b>	B4:14:89:14:37:6B	46	46	WEP	802.11a	48	28.11.2012	16:43:48.475

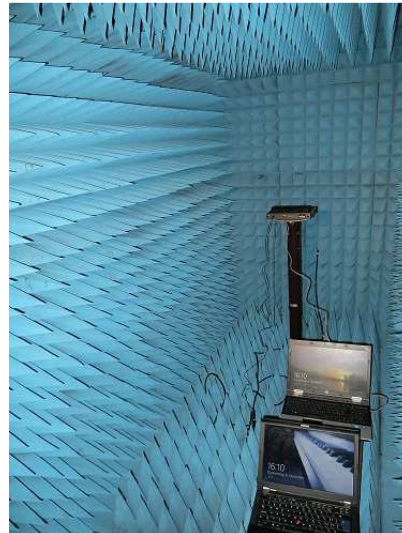
EAPSIM								
<b>HSR-WLAN</b>	B4:14:89:14:37:1E	25	25	Unencrypted	802.11n	48	28.11.2012	16:43:48.475
<b>HSR-Secure</b>	6C:50:4D:AB:9C:6C	28	28	AES	802.11n	40	28.11.2012	16:43:28.942
<b>HSR-Secure</b>	6C:50:4D:AB:7F:C7	99	99	AES	802.11n	40	28.11.2012	16:43:28.942
<b>eduroam</b>	6C:50:4D:AB:7F:CB	95	95	AES	802.11n	40	28.11.2012	16:43:28.942
<b>MOBILE-EAPSIM</b>	6C:50:4D:AB:7F:CD	96	96	WEP	802.11a	40	28.11.2012	16:43:28.942
<b>HSR-WLAN</b>	6C:50:4D:AB:7F:CE	95	95	Unencrypted	802.11n	40	28.11.2012	16:43:28.942
<b>rzahler</b>	C4:3D:C7:86:42:73	33	33	Unencrypted	802.11g	13	28.11.2012	16:43:46.067
<b>HSR-Secure</b>	6C:50:4D:AB:9B:48	30	31	AES	802.11n	11	28.11.2012	16:43:46.067
<b>HSR-WLAN</b>	6C:50:4D:AB:9C:61	45	45	Unencrypted	802.11n	11	28.11.2012	16:43:46.067
<b>HSR-Secure</b>	6C:50:4D:AB:9C:63	40	40	AES	802.11n	11	28.11.2012	16:43:52.527
<b>eduroam</b>	6C:50:4D:AB:9B:44	28	28	AES	802.11n	11	28.11.2012	16:43:52.527
<b>eduroam</b>	6C:50:4D:AB:9C:65	40	40	AES	802.11n	11	28.11.2012	16:43:52.527
<b>MOBILE-EAPSIM</b>	6C:50:4D:AB:9B:42	30	30	WEP	802.11g	11	28.11.2012	16:43:52.527
<b>HSR-WLAN</b>	6C:50:4D:AB:9B:41	30	31	Unencrypted	802.11n	11	28.11.2012	16:43:52.527
<b>HSR-Secure</b>	6C:50:4D:AB:8C:A3	58	70	AES	802.11n	6	28.11.2012	16:43:46.067
<b>eduroam</b>	6C:50:4D:AB:8C:A5	58	70	AES	802.11n	6	28.11.2012	16:43:46.067
<b>MOBILE-EAPSIM</b>	6C:50:4D:AB:9B:32	31	31	WEP	802.11g	6	28.11.2012	16:43:46.067
<b>MOBILE-EAPSIM</b>	B4:14:89:14:37:64	51	51	WEP	802.11g	6	28.11.2012	16:43:46.067
<b>HSR-Secure</b>	B4:14:89:14:37:63	51	51	AES	802.11n	6	28.11.2012	16:43:52.527
<b>eduroam</b>	B4:14:89:14:37:65	51	51	AES	802.11n	6	28.11.2012	16:43:52.527
<b>eduroam</b>	6C:50:4D:AB:9B:34	33	33	AES	802.11n	6	28.11.2012	16:43:52.527
<b>HSR-WLAN</b>	B4:14:89:14:37:61	51	51	Unencrypted	802.11n	6	28.11.2012	16:43:52.527
<b>HSR-WLAN</b>	6C:50:4D:AB:8C:A1	66	68	Unencrypted	802.11n	6	28.11.2012	16:43:52.527
<b>HSR-WLAN</b>	6C:50:4D:AB:9B:31	33	33	Unencrypted	802.11n	6	28.11.2012	16:44:06.195
<b>HSR-WLAN</b>	6C:50:4D:AB:7F:C1	93	93	Unencrypted	802.11n	1	28.11.2012	16:43:46.067
<b>HSR-WLAN</b>	B4:14:89:14:37:11	30	30	Unencrypted	802.11n	1	28.11.2012	16:43:46.067
<b>HSR-WLAN</b>	6C:50:4D:B7:99:E1	35	38	Unencrypted	802.11n	1	28.11.2012	16:43:46.067
<b>HSR-Secure</b>	B4:14:89:14:37:13	31	31	AES	802.11n	1	28.11.2012	16:43:52.527
<b>HSR-Secure</b>	6C:50:4D:AB:7F:C8	91	91	AES	802.11n	1	28.11.2012	16:43:52.527
<b>eduroam</b>	6C:50:4D:B7:99:E5	40	40	AES	802.11n	1	28.11.2012	16:43:52.527
<b>eduroam</b>	B4:14:89:14:37:15	31	31	AES	802.11n	1	28.11.2012	16:43:52.527
<b>eduroam</b>	6C:50:4D:AB:7F:C4	93	93	AES	802.11n	1	28.11.2012	16:44:06.195
<b>MOBILE-EAPSIM</b>	6C:50:4D:AB:7F:C2	91	91	WEP	802.11g	1	28.11.2012	16:44:06.195
<b>MOBILE-EAPSIM</b>	B4:14:89:14:37:14	28	28	WEP	802.11g	1	28.11.2012	16:44:06.195

## HF-KAMMER

Für die Messungen ohne Störeinflüsse darf die Messkammer vom ICOM<sup>12</sup> verwendet werden.

Diese Messkammer bietet die Möglichkeit Messungen verschiedener WLAN-Anwendungen (2.4 GHz und 5 GHz Band) in einer kompletten Metallschale (Faraday-Käfig) zu erstellen, sodass Messungen nicht von Signalen aus der Umwelt beeinflusst werden. Durch Absorber-Pyramiden entsteht zusätzlich bei geschlossener Türe eine Dämpfung, welche dafür sorgt, dass das Messsignal nur auf direktem Weg zum Messobjekt gelangen kann. Somit können keine Reflexionen auftreten.

Im Fall der N-Standard Messungen wirkt der Effekt der Absorber-Pyramiden nachteilhaft, da dort Reflexionen (MIMO Effekt) sehr erwünscht sind.



---

<sup>12</sup> ICOM Institut für Kommunikationssysteme, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil

## MESSAUSWERTUNG – ALLGEMEINE MESSUNGEN

In den folgenden Grafiken werden die neuen, ergänzenden und schon von Fabian Beck erstellten Messungen dargestellt.

Dazu werden folgende Abkürzungen verwendet:

<b>GU M1</b>	Gestörtes Umfeld Messung A. Vinkestijn & F. Schweizer
<b>GU M2</b>	Gestörtes Umfeld Messung F. Beck
<b>HF M1</b>	HF-Kammer Messung A. Vinkestijn & F. Schweizer
<b>HF M2</b>	HF-Kammer Messung F. Beck

Alle Messungen werden in der WLAN-Kategorie > Infrastruktur-Modus durchgeführt.

In dieser Studienarbeit wird von einer Zelle ausgegangen und es werden alle Teilnehmer als quasistationär betrachtet.

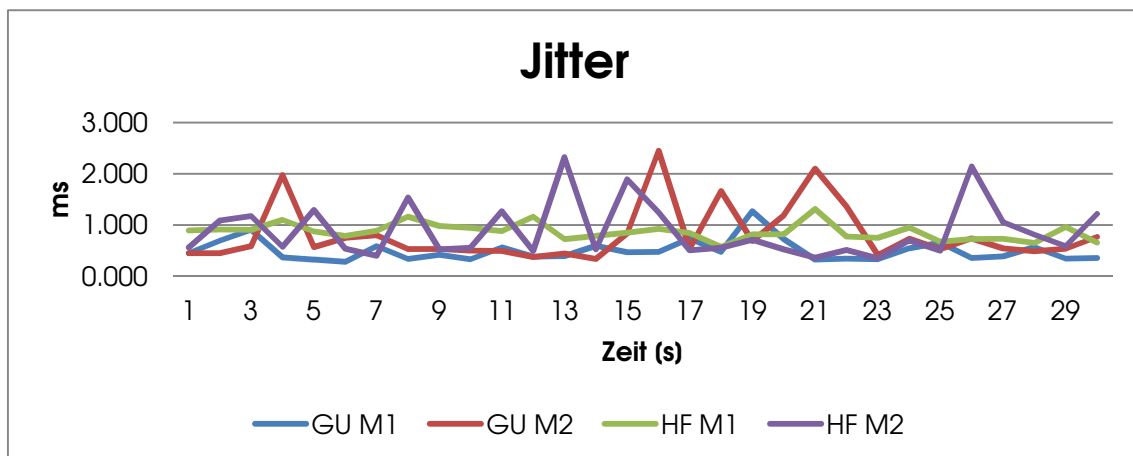
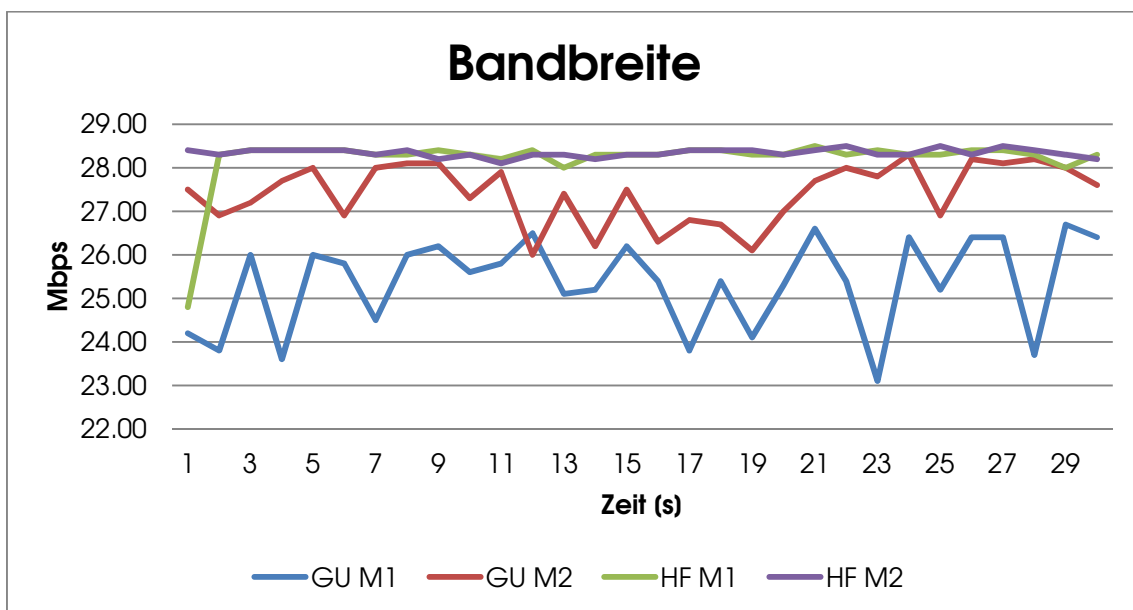
Die Messungen werden in Windows 8 ausgeführt.

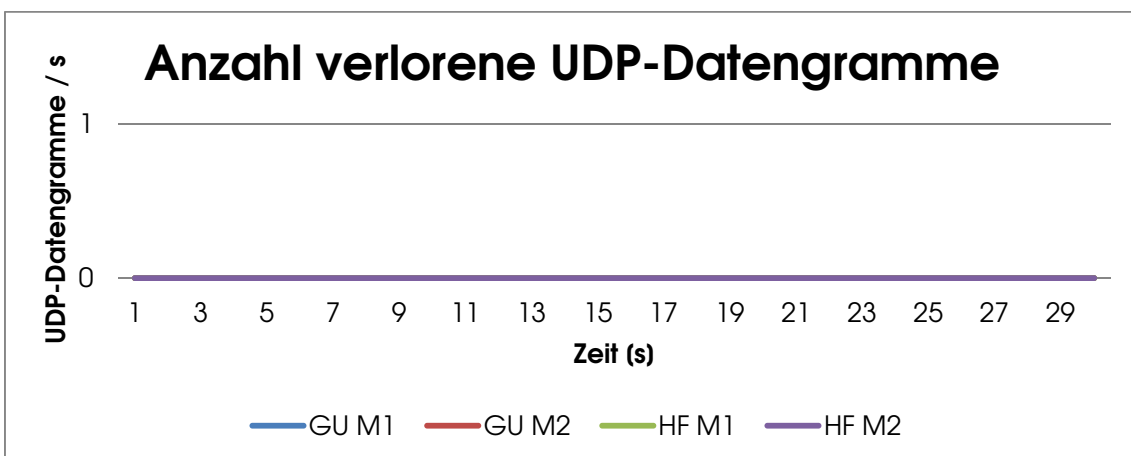
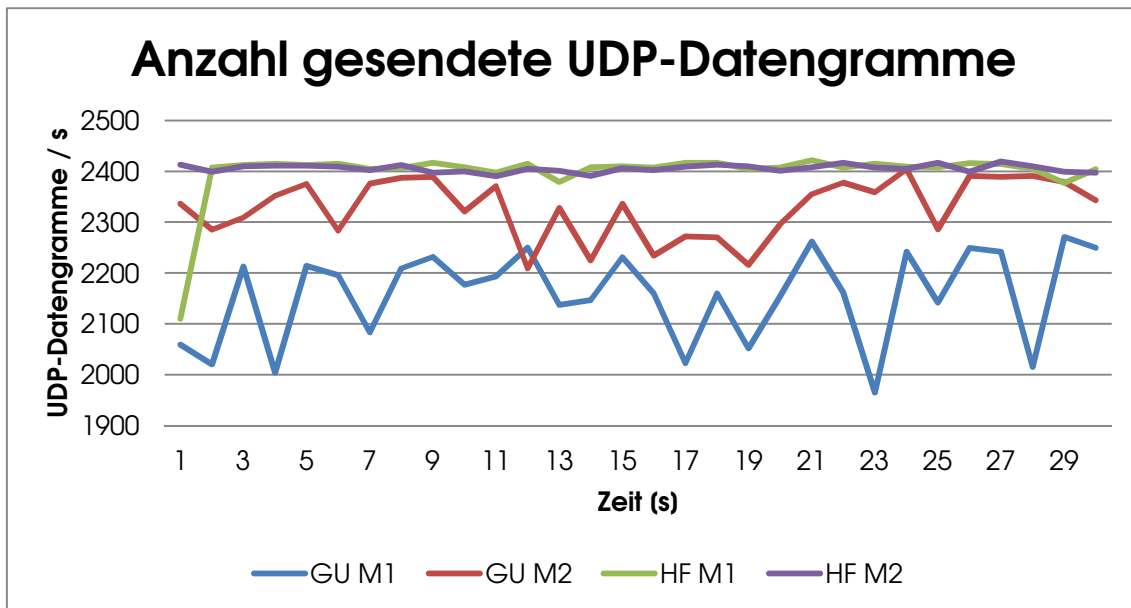
## G-STANDARD

### G (OHNE RTS/CTS)

#### CISCO

Der Cisco Access Point unterstützt im G-Standard nur Short Preamble.





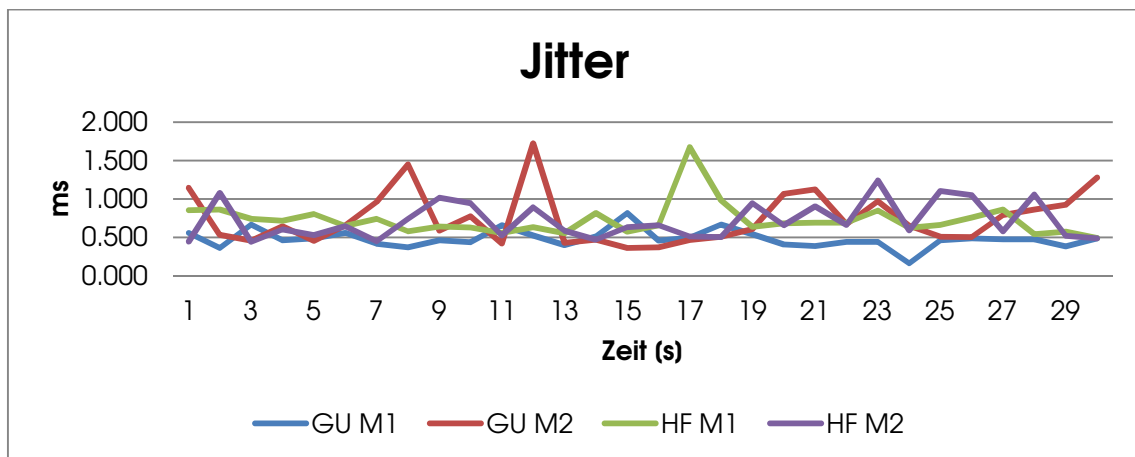
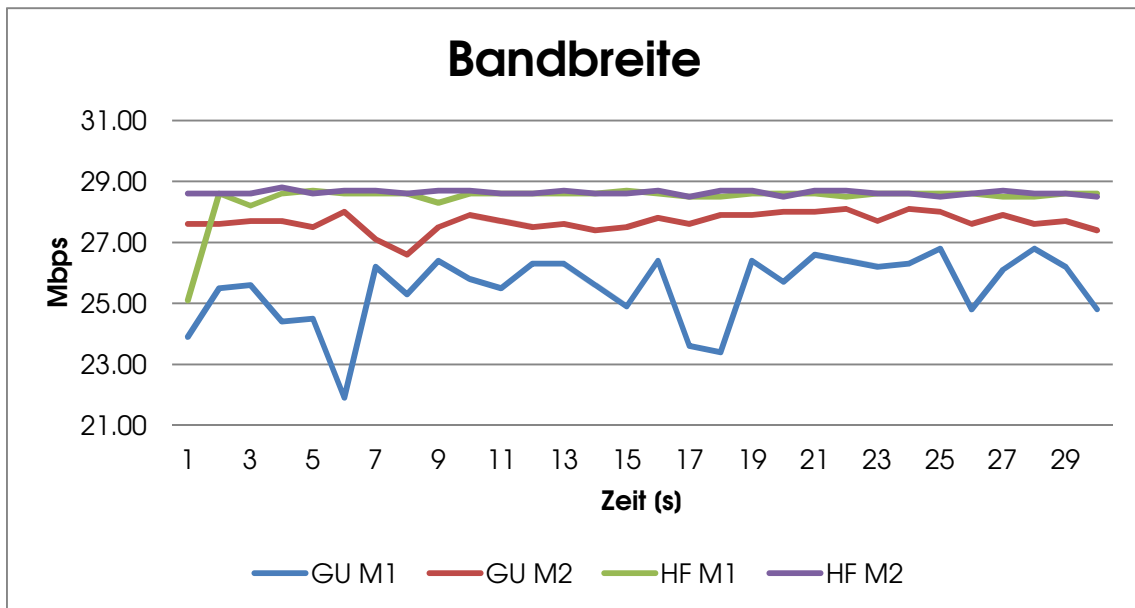
Es ist im Vergleich zwischen gestörtem Umfeld und der HF-Kammer deutlich erkennbar, dass in der HF-Kammer alle Werte d.h. die Bandbreite und die Anzahl gesendeter UDP-Datengramme konstant sind.

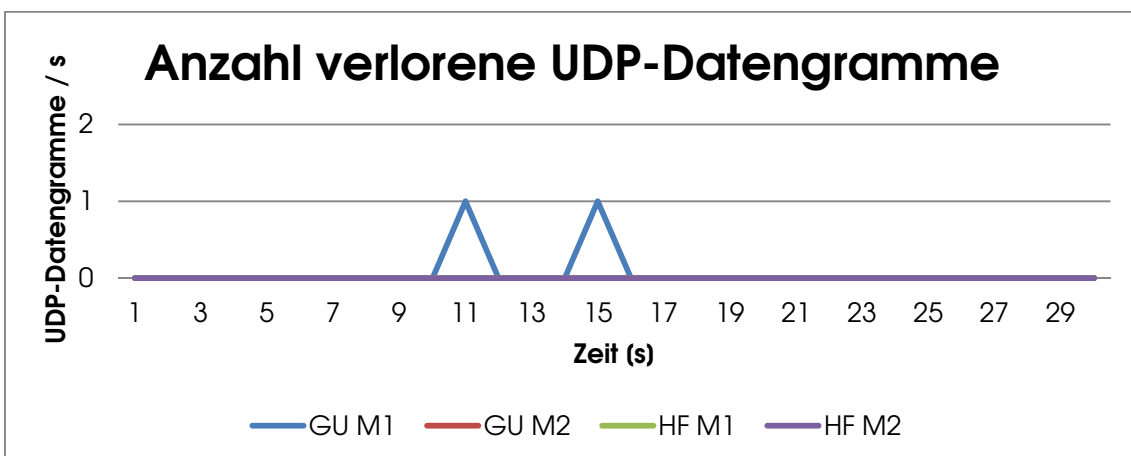
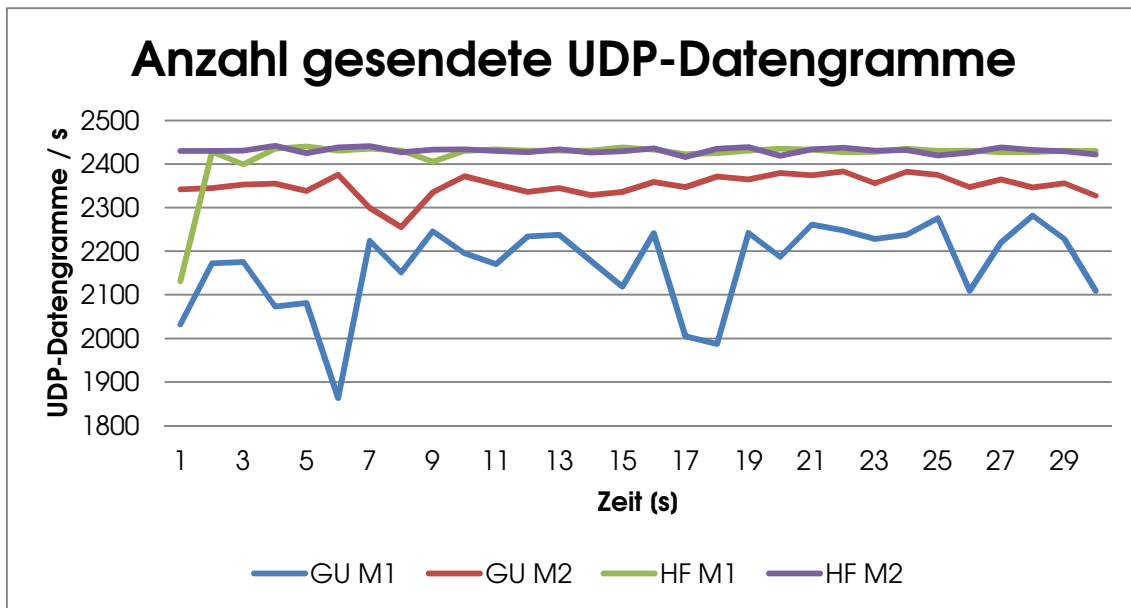
Wie ersichtlich beträgt die Anzahl verlorener UDP-Datengramme in der HF-Kammer wie auch im gestörten Umfeld 0, dies war auch bei den Messungen von Fabian Beck zu erkennen.

Wie zu erahnen war, sind erneut grosse Schwankungen im gestörten Umfeld entstanden. Infolge der erhöhten Anzahl von WLAN-Netzwerken sind diese im Vergleich sogar grösser.

NETGEAR

SHORT PREAMBLE



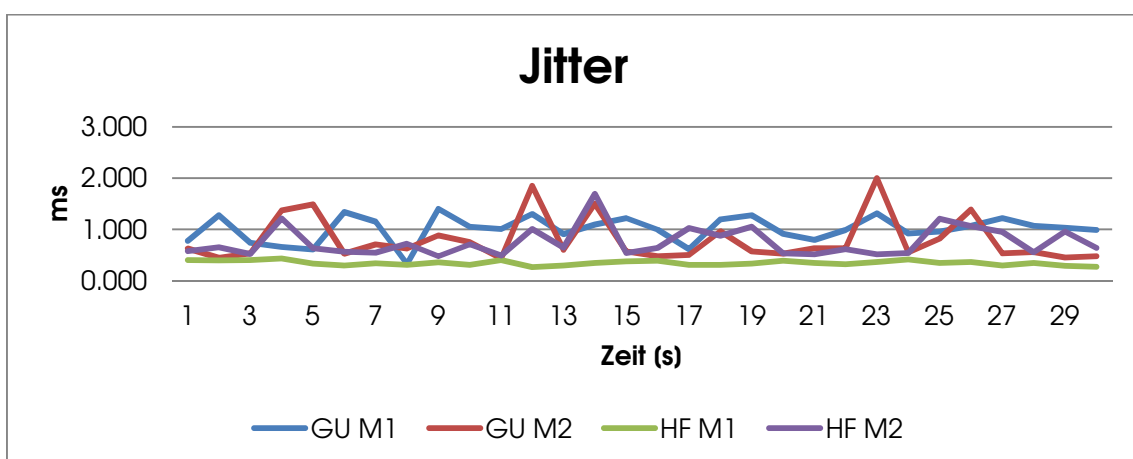
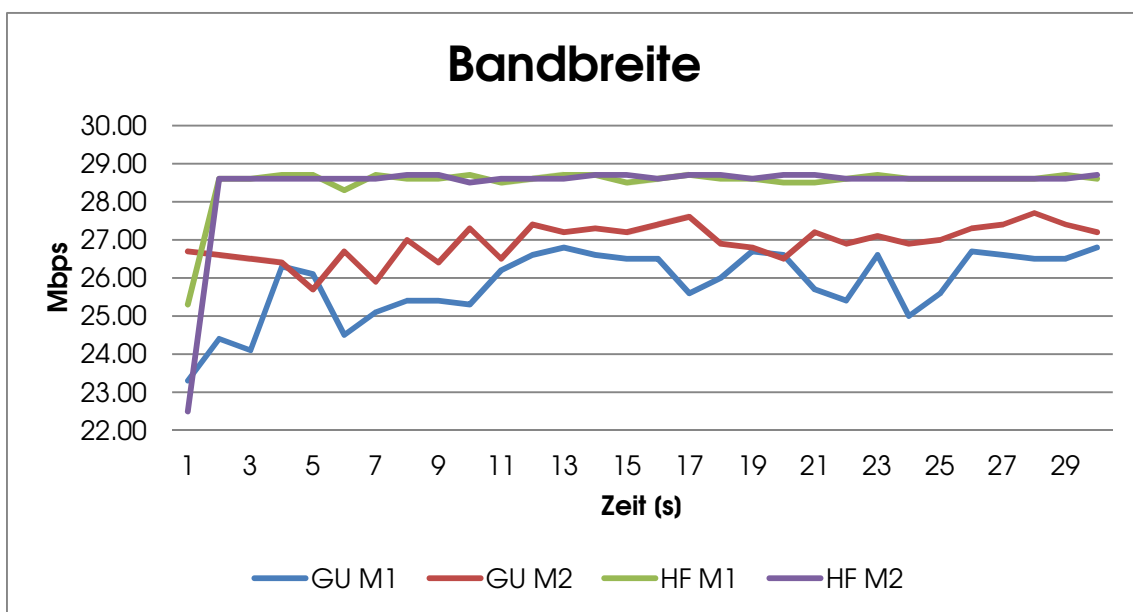


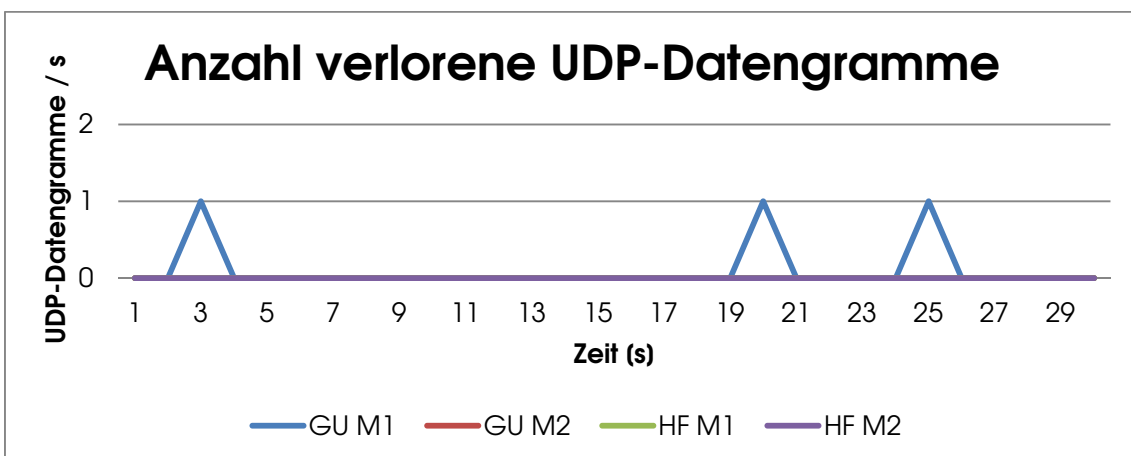
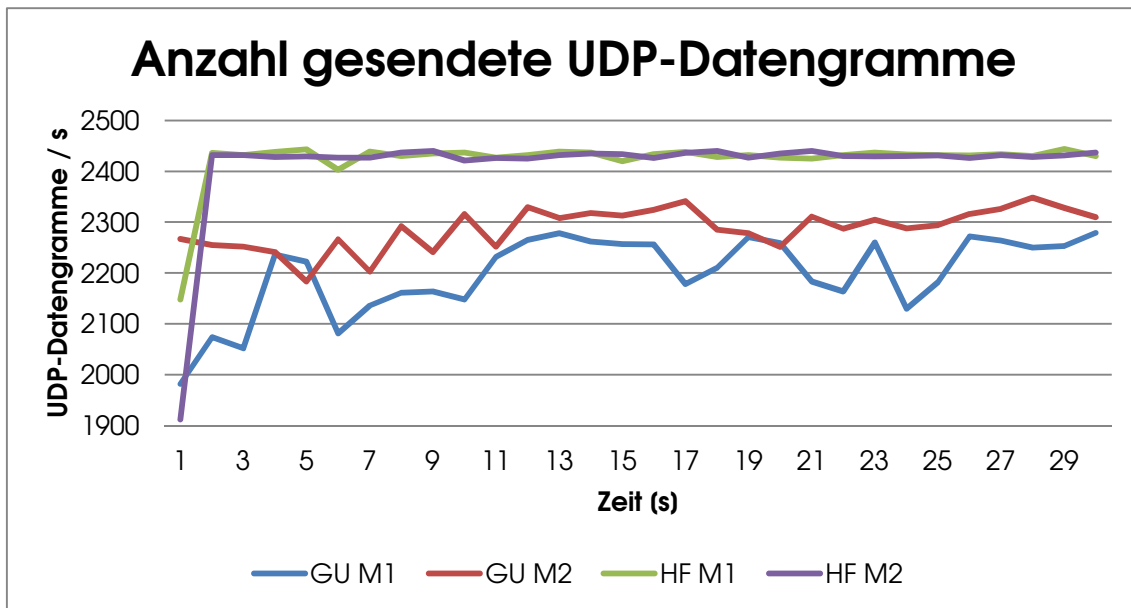
Hier ist sehr genau erkennbar, dass die maximale Bandbreite von etwa 28.5 Mbps in der HF-Kammer wieder erreicht werden konnte. Die Tatsache, dass pro gesendetem Frame zwei Medienzugriffe notwendig sind kann somit durch die resultierende Nettobandbreite d.h. 50% der Bruttobandbreite belegt werden.

Analog zu der ersten Messung kann nun gesagt werden, dass durch die erhöhte Anzahl der WLAN-Netzwerke auch eine allgemeine Einbusse in der Bandbreite durch Interferenzen entsteht.

Die zwei verlorenen UDP-Datengramme über die Zeitspanne von 30 Sekunden können vernachlässigt werden, da UDP-Datengramme nicht bestätigt werden müssen und entsprechend zwischen zwei Stationen vereinzelt ausfallen dürfen.

## LONG PREAMBLE





Der Anfangssprung in der HF-Kammer ist wie bei der Messung von Fabian Beck zu erkennen.

Obwohl die zwei HF-Messungen in Bandbreite und Anzahl gesendeter UDP-Datengramme sehr ähnlich sind, unterscheiden sich die Jitter Werte zwar nicht massiv aber es ist deutlich erkennbar, dass bei unserer Messung mehr Verzögerung vorhanden war.

Bei dieser Messung können wiederum die drei verlorenen UDP-Datengramme vernachlässigt werden.

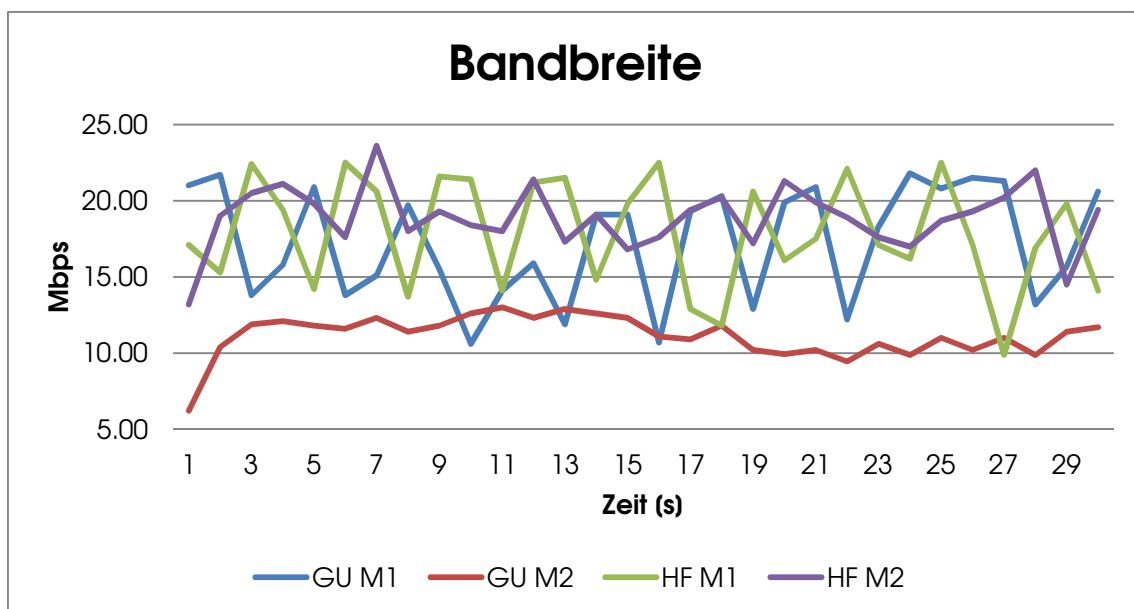
## G (MIT RTS/CTS)

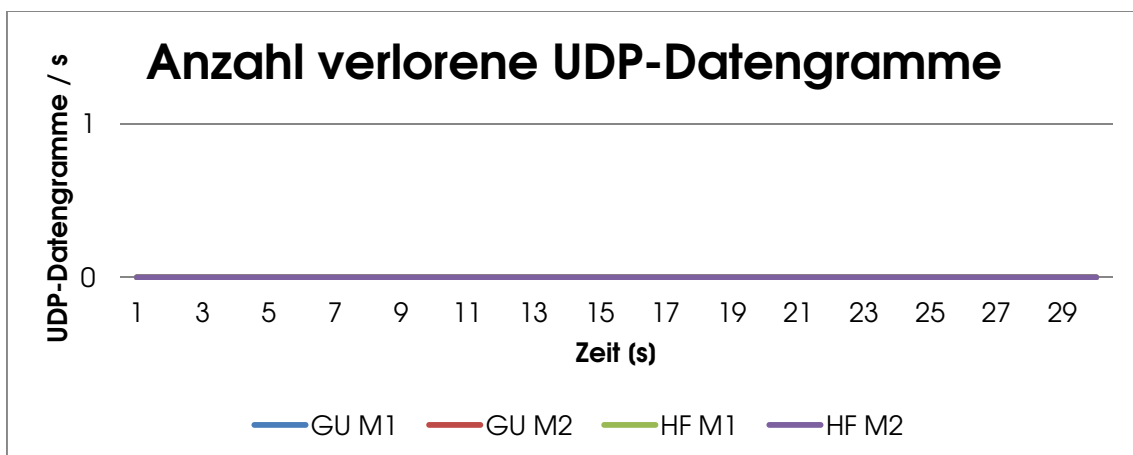
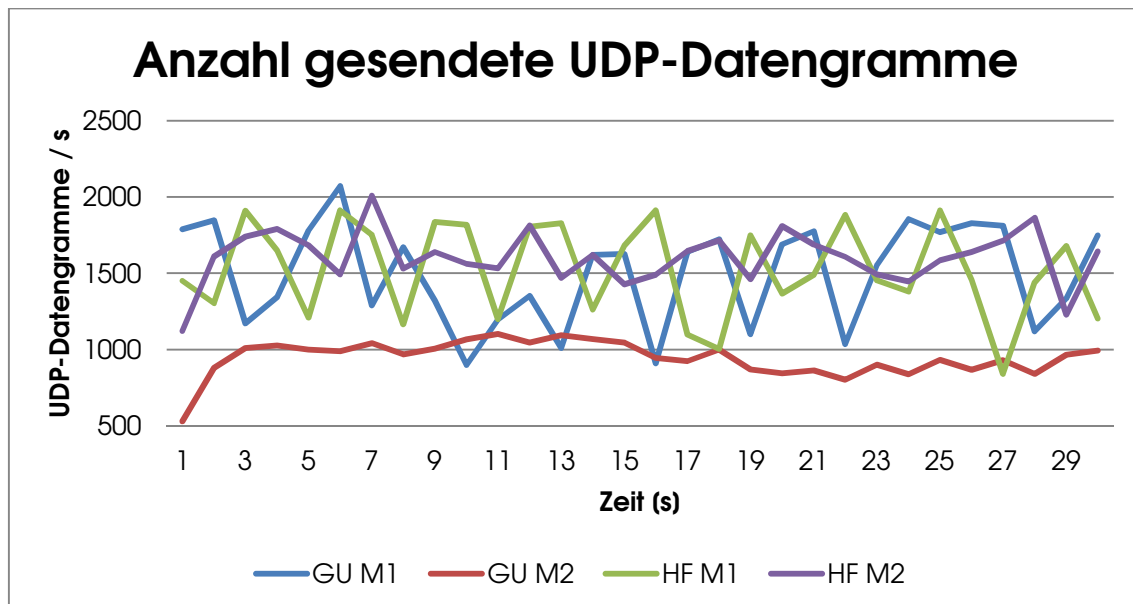
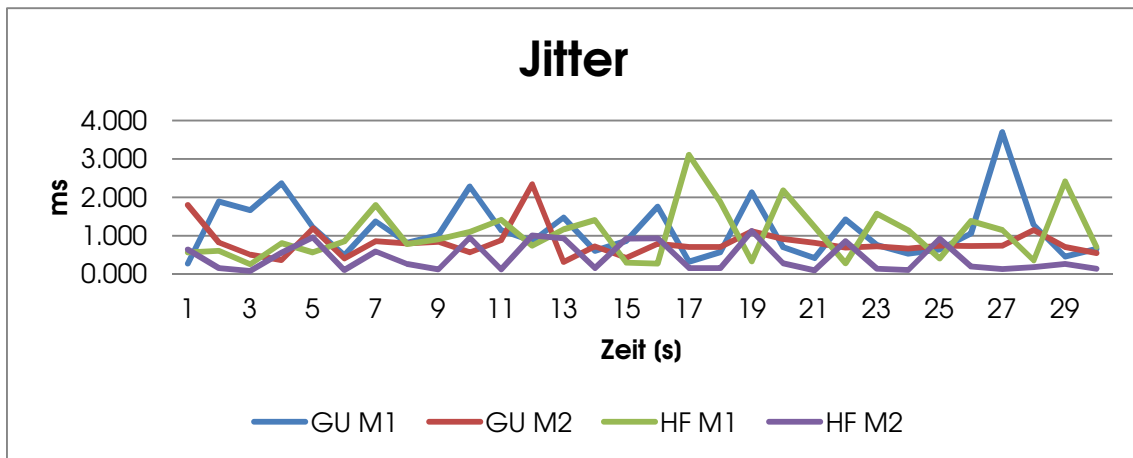
RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send) ist eine optionale Einstellung, welche in WLAN-Netzwerken entweder auf dem AP oder sogar an den Stationen gewählt werden kann.

Wenn RTS/CTS aktiviert ist, wird vor dem Versenden des Haupt-Frames ein „Request to Send“ Frame an den Empfänger gesendet. Der Empfänger antwortet mit einem „Clear to Send“, wenn der entsprechende Kanal nicht belegt ist. Damit wird garantiert, dass das WLAN-Netzwerk für das Senden des Haupt-Frames verfügbar ist.

RTS/CTS ist eine zusätzliche CSMA/CA Option, welche normalerweise nicht aktiviert ist, solange die Schwelle von 2347 Bytes nicht überschritten wird. Diese Schwelle kann wenn nötig verändert werden.

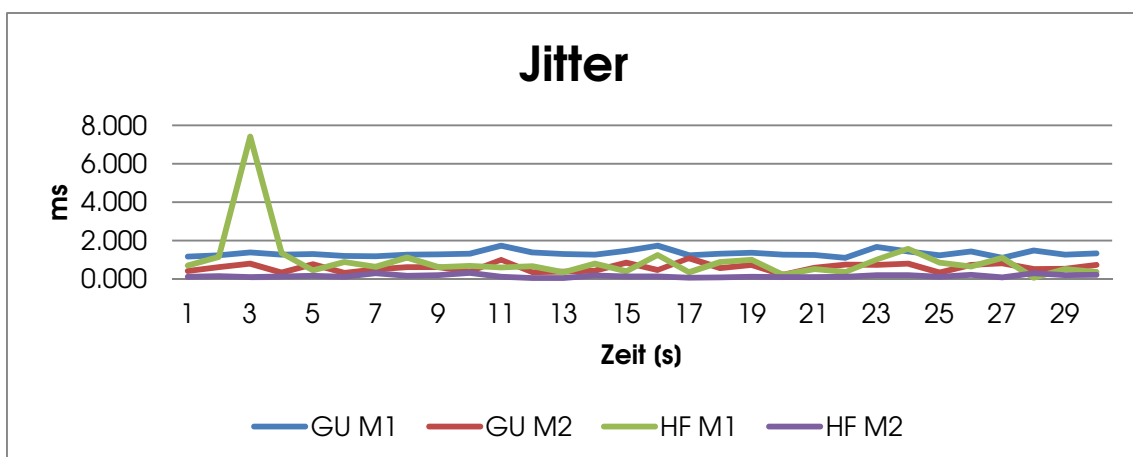
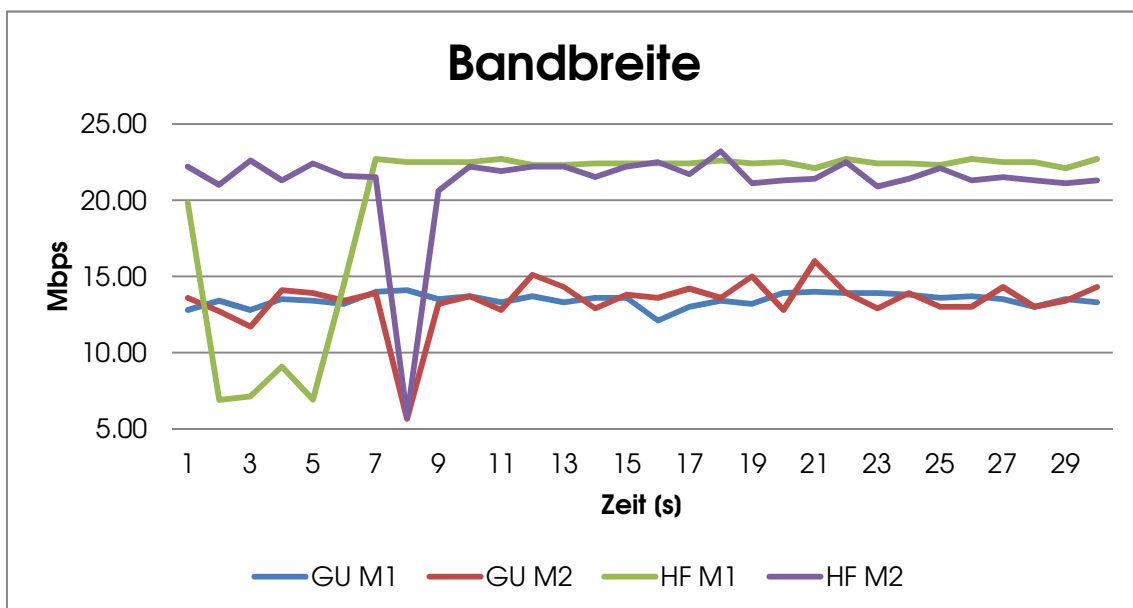
## CISCO

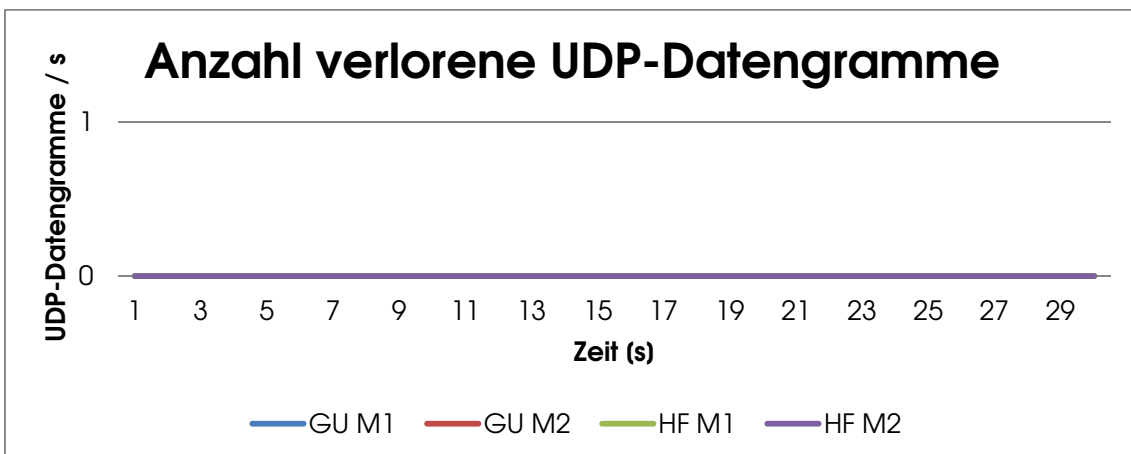
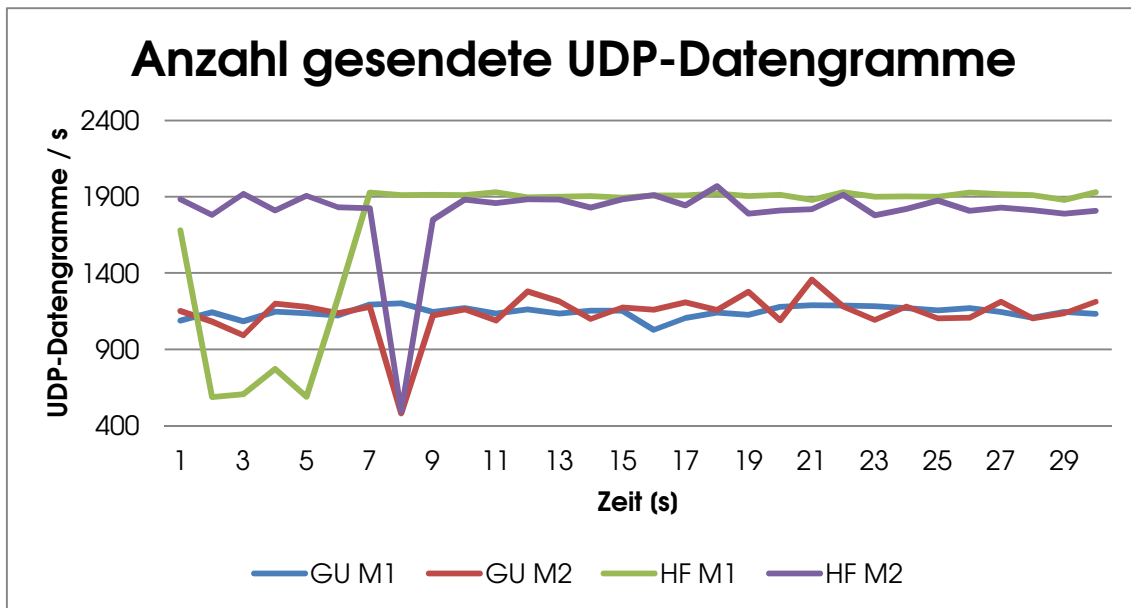




Trotz Aktivierung von RTS/CTS auf den Stationen und Konfiguration der Schwelle auf dem AP konnte diese Messung nicht wieder hergestellt werden. Somit konnten die Werte der Messungen von Fabian Beck nicht verglichen werden.

NETGEAR





Die Messung in der HF-Kammer wurde in den ersten 6 Sekunden durch einen Jitter-Ausschlag beeinflusst. Das heisst, dass entsprechend die Bandbreite und die Anzahl versendeter UDP-Datengramme sehr tief sind.

Da bei RTS/CTS pro Frame vier Zugriffe auf das Medium stattfinden, entsteht eine allgemeine Einbusse.

Hier ist auch sehr schön ersichtlich, dass obwohl die Anzahl der WLAN-Netzwerke gestiegen ist, durch die RTS/CTS Option (Niemand auf dem Kanal) gleiche Messergebnisse zu erreichen waren.

## N-STANDARD

Beim Cisco Access Point gibt es keine Möglichkeit, die Aggregation von Frames zu deaktivieren. Deshalb ist die Aggregation von Frames bei allen durchgeführten Tests aktiviert. Zusätzlich ist die Verwendung von RIFS bei Cisco automatisch erlaubt.

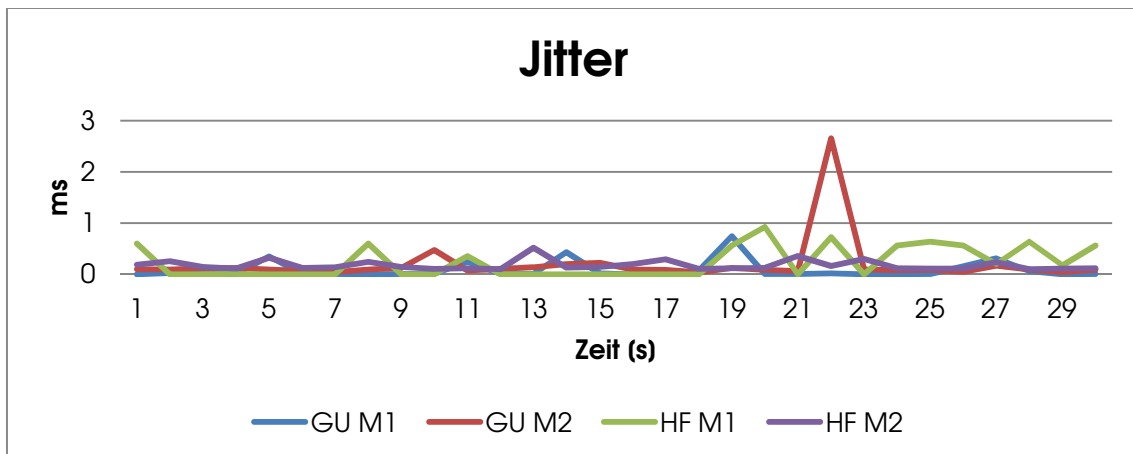
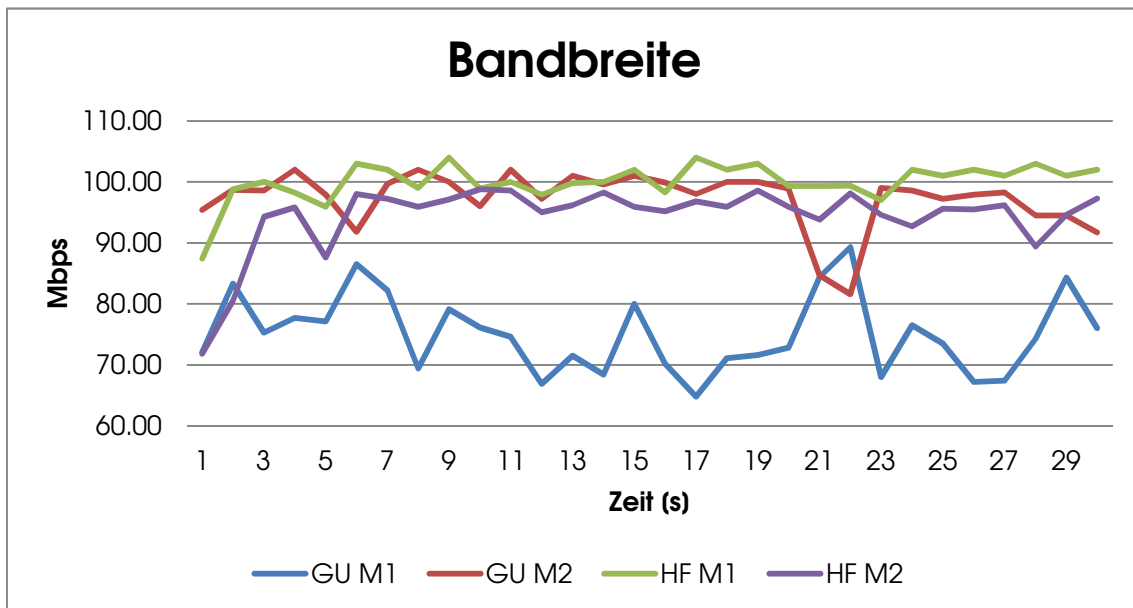
Durch die Absorber-Pyramiden in der HF-Kammer entsteht bei geschlossener Türe eine Dämpfung, welche dafür sorgt, dass das Messsignal nur auf direktem Weg zum Messobjekt gelangen kann. Somit können keine Reflexionen auftreten.

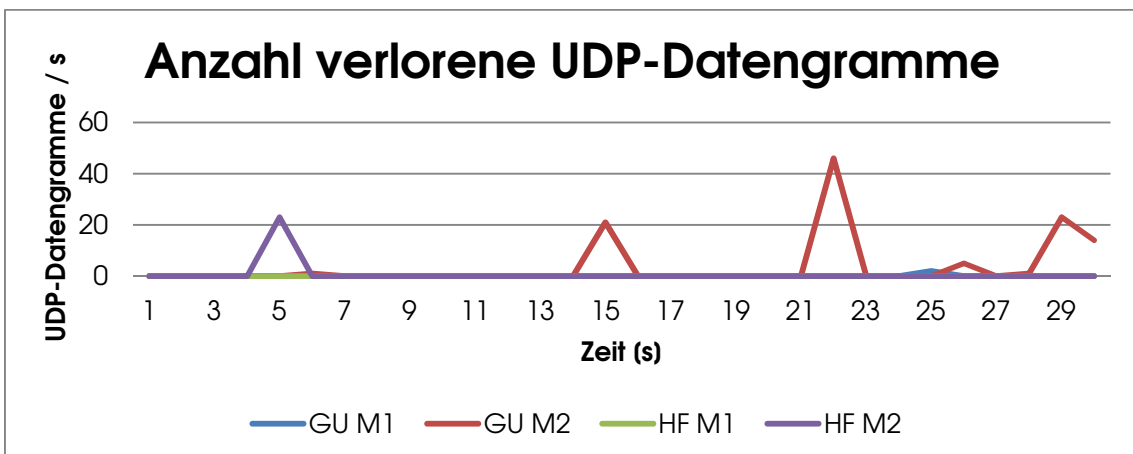
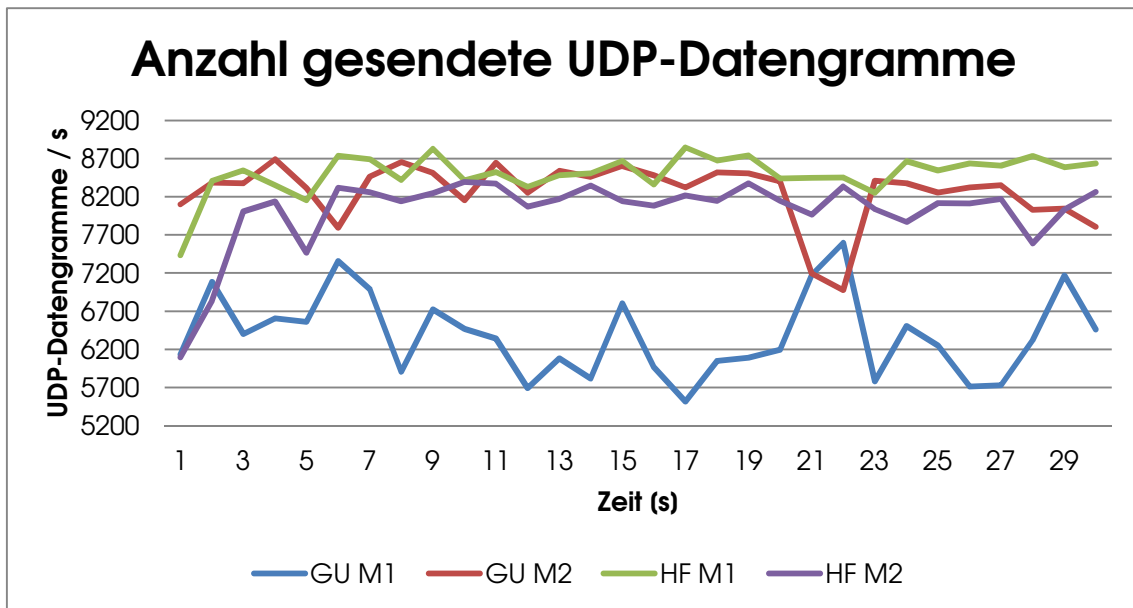
Da im N-Standard MIMO-Antennen verwendet werden, ist dieser Effekt nachteilhaft. Es entstehen geringere Bandbreite und grössere Verlusten beim Aussenden von UDP-Datengrammen.

## 2.4-GHZ-FREQUENZBAND

### SHORT GUARD, 20 MHZ KANALBREITE

#### CISCO





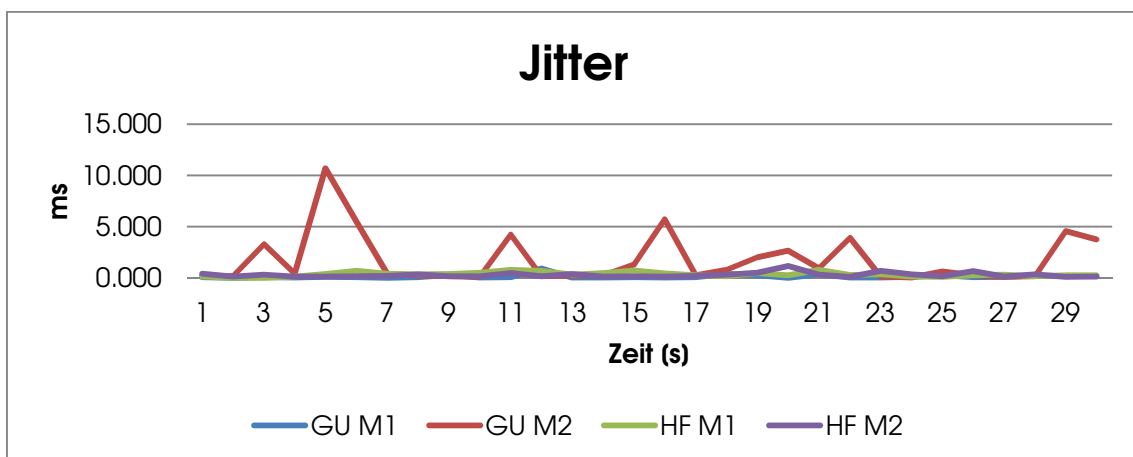
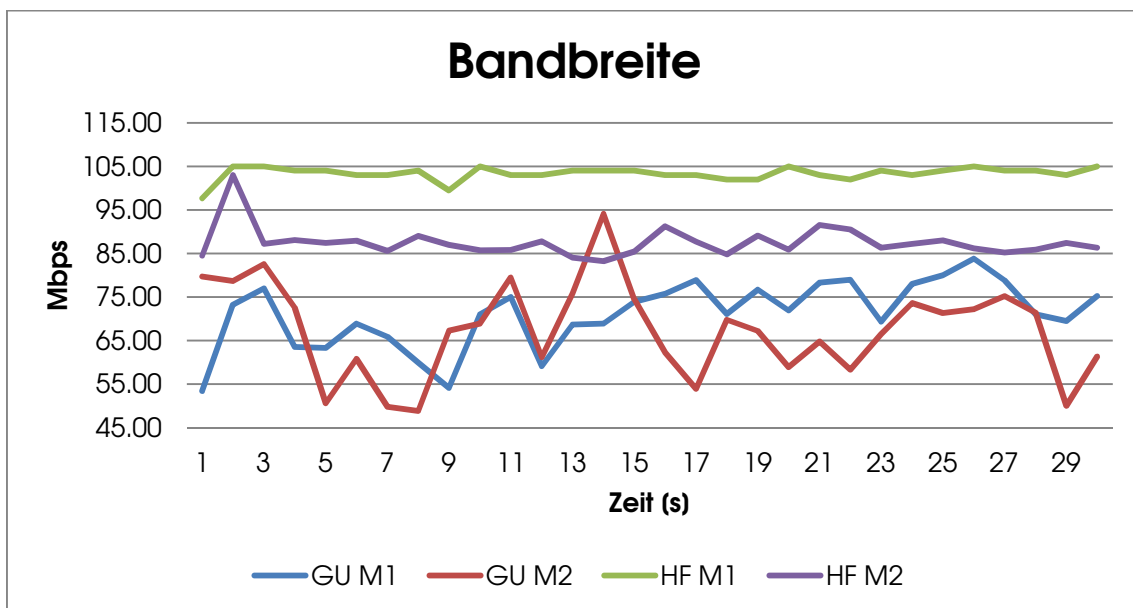
Unsere Messungen im gestörten Umfeld sind deutlich tiefer als die Messungen von Fabian Beck. Dies ist zurückzuführen auf die störenden Einflüsse der neuen WLAN-Netzwerke im N-Standard.

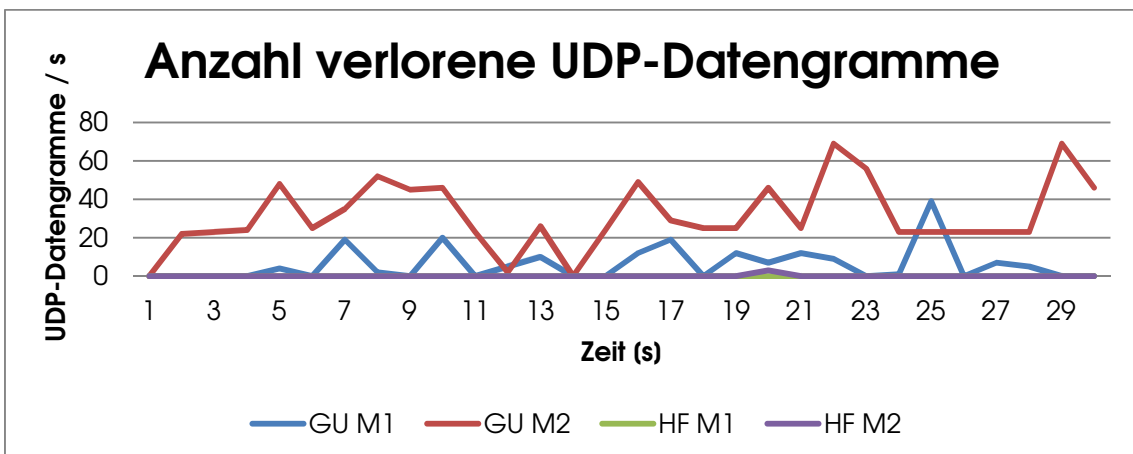
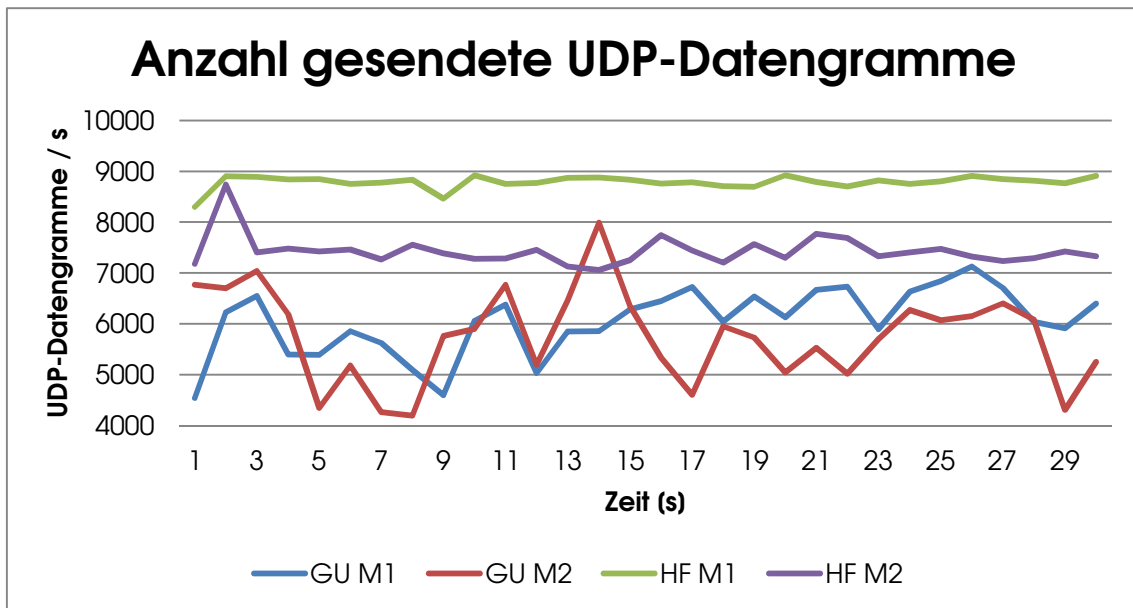
Es ist jedoch zu erkennen, dass die Werte in der HF-Kammer sehr konstant und höher im Vergleich zu den Messungen von Fabian Beck sind.

Bei uns konnte kein Verlust von UDP-Datengramme festgestellt werden.

## NETGEAR

Bei dieser Messung wurde sowohl bei uns als auch bei Fabian Beck die Aggregation und die Verwendung von RIFS deaktiviert.



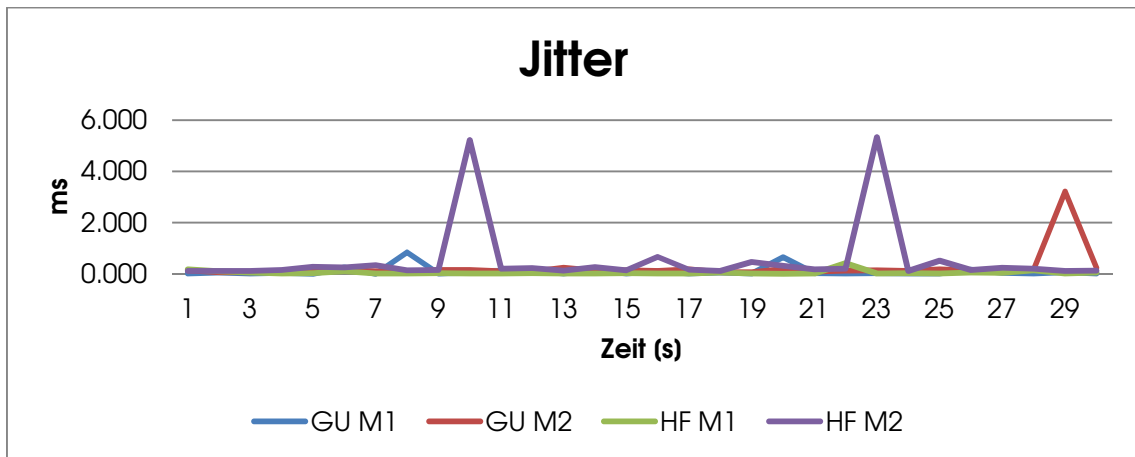
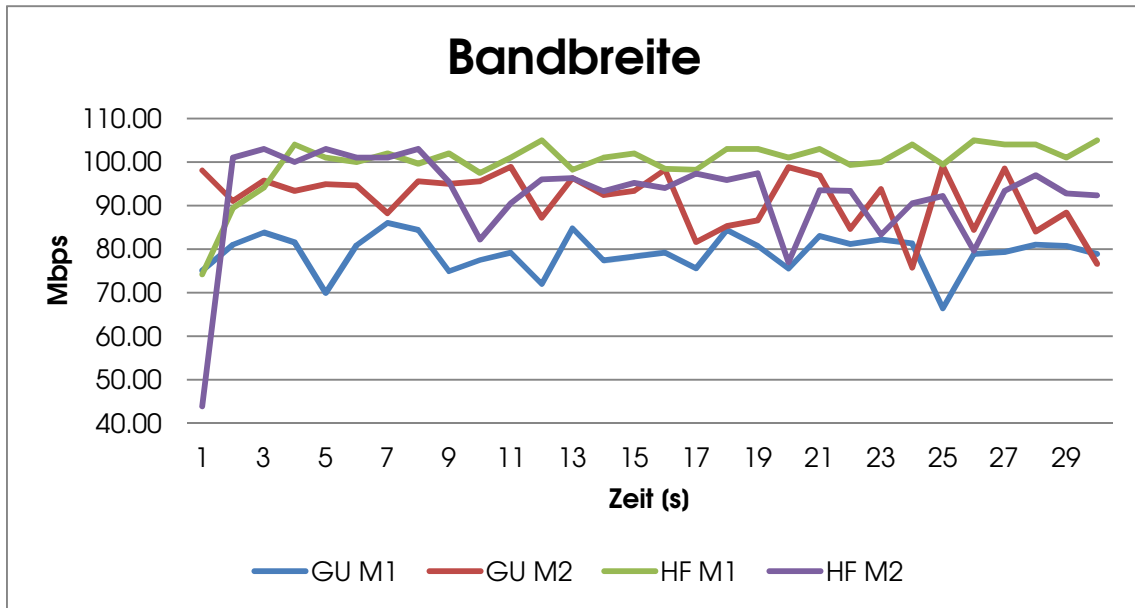


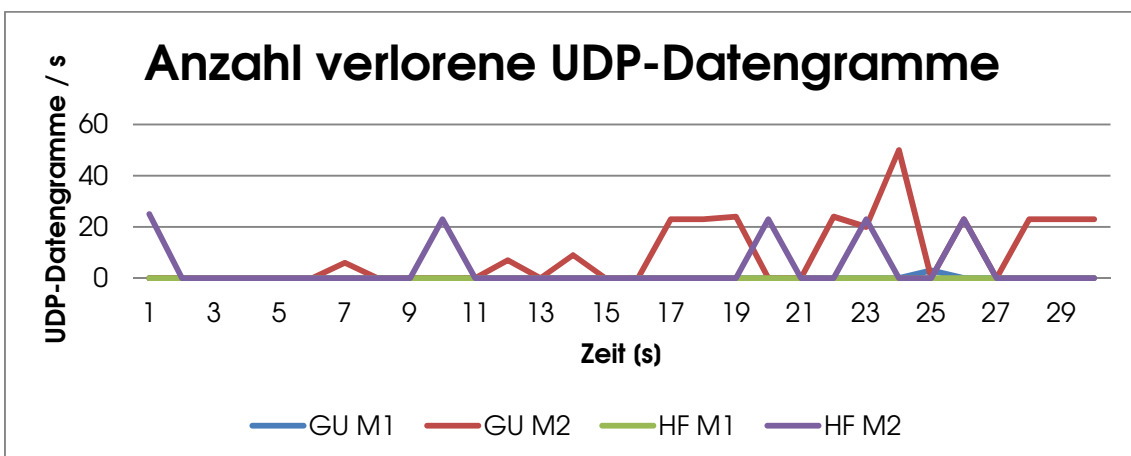
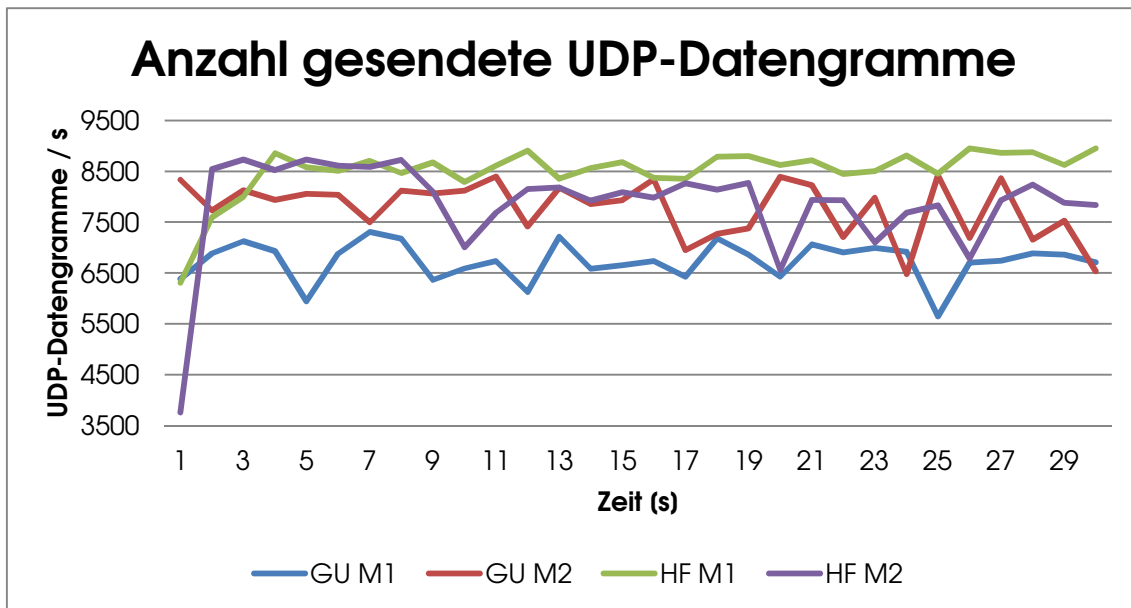
Auffällig bei dieser Messung ist, dass die HF-Messungen eine sehr grosse Differenz von etwa 20 Mbps aufzeigen. Daraus folgt auch die Differenz von etwa 1500 UDP-Datengrammen pro Sekunde.

Die Verlustrate bei unseren Messungen im gestörten Umfeld lag deutlich unter der Verlustrate der Vergleichsmessungen. Dies ist auf die tieferen Jitter-Werte zurückzuführen.

LONG GUARD, 20 MHZ KANALBREITE

CISCO

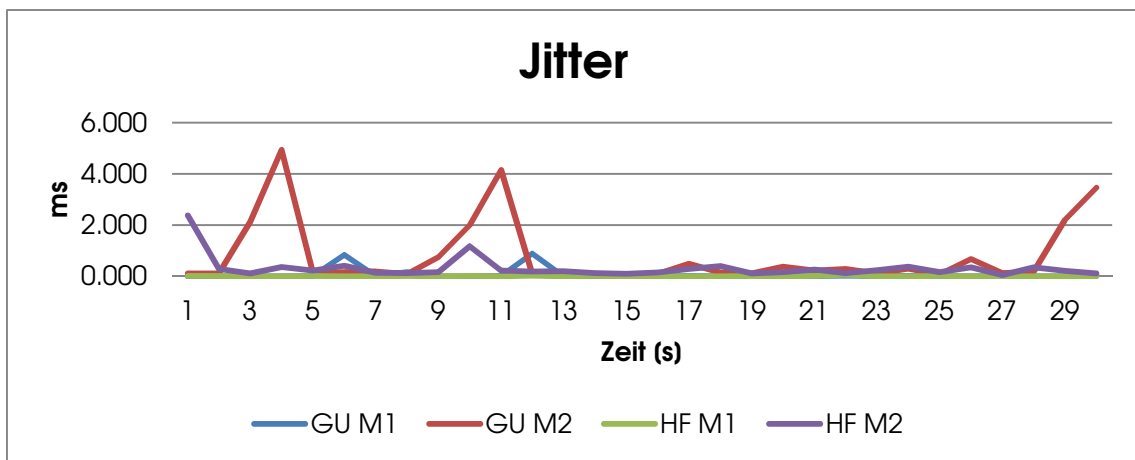
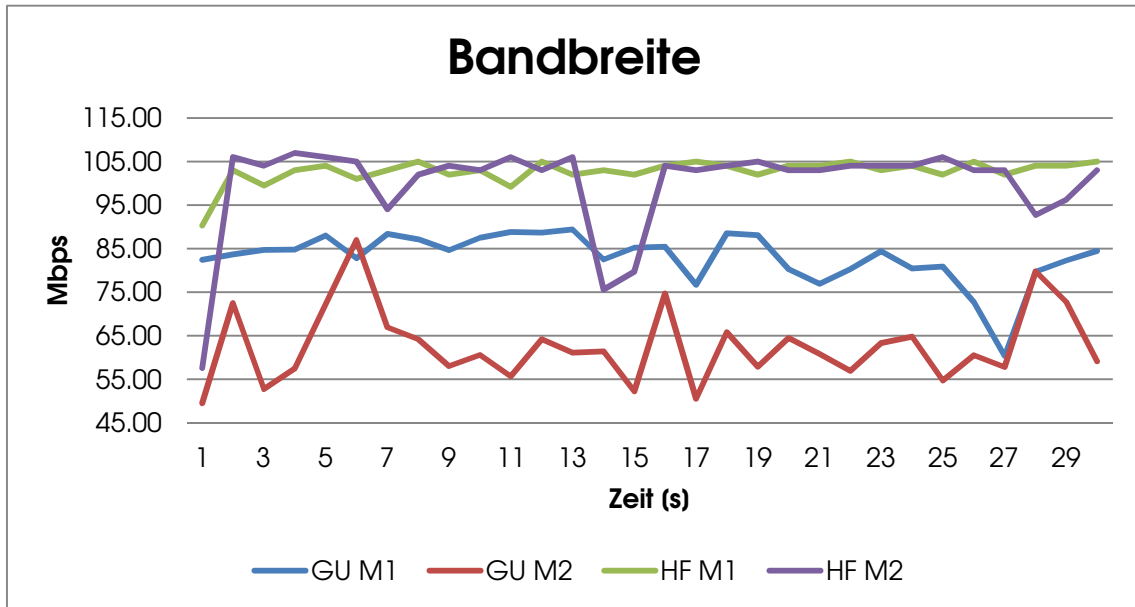


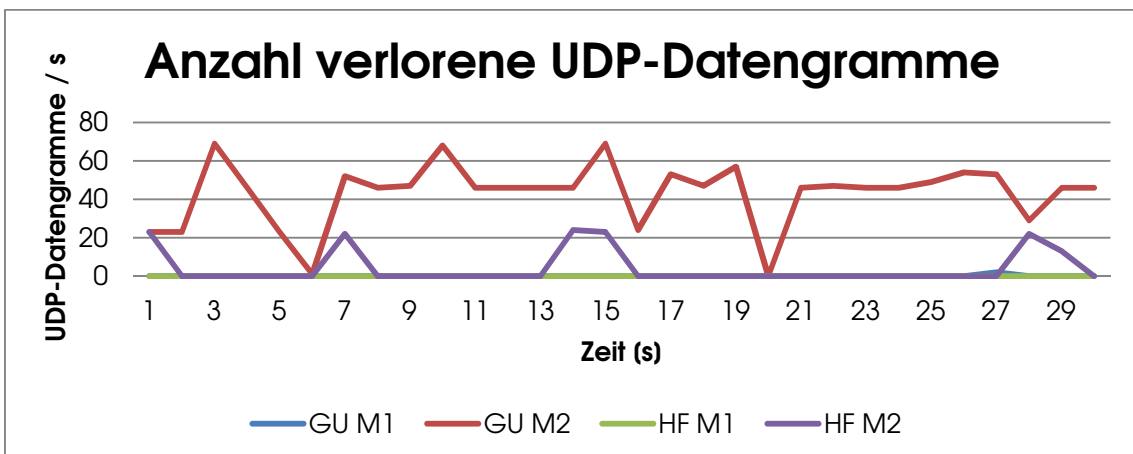
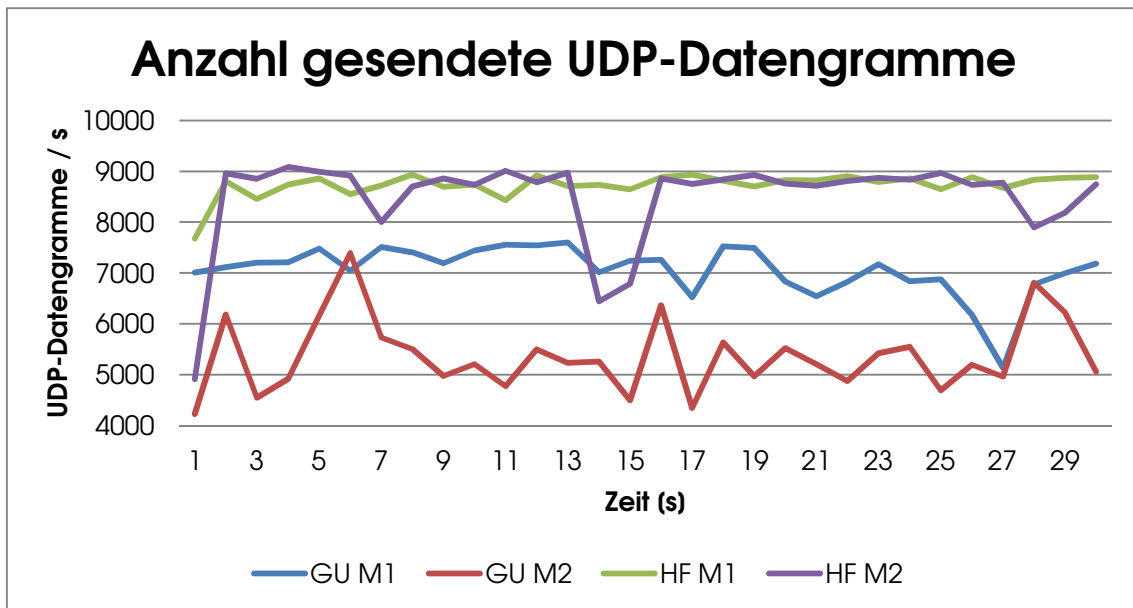


Unsere HF-Messung hat einen ähnlichen langsamen Anstieg der Anzahl UDP-Datengramme pro Sekunde durch den nicht vorhandenen Block-ACK-Mechanismus. Die Einbrüche, welche bei der HF-Messung von Fabian Beck bei Sekunde 10, 20 und 26 durch den nicht vorhandenen Block-ACK-Mechanismus verursacht wurden konnten bei uns nicht festgestellt werden.

Die Messung im gestörten Umfeld kann bis auf die Tatsache, der Differenz in der Bandbreite durch höhere Anzahl WLAN-Netzwerke, gleichgestellt werden.

NETGEAR



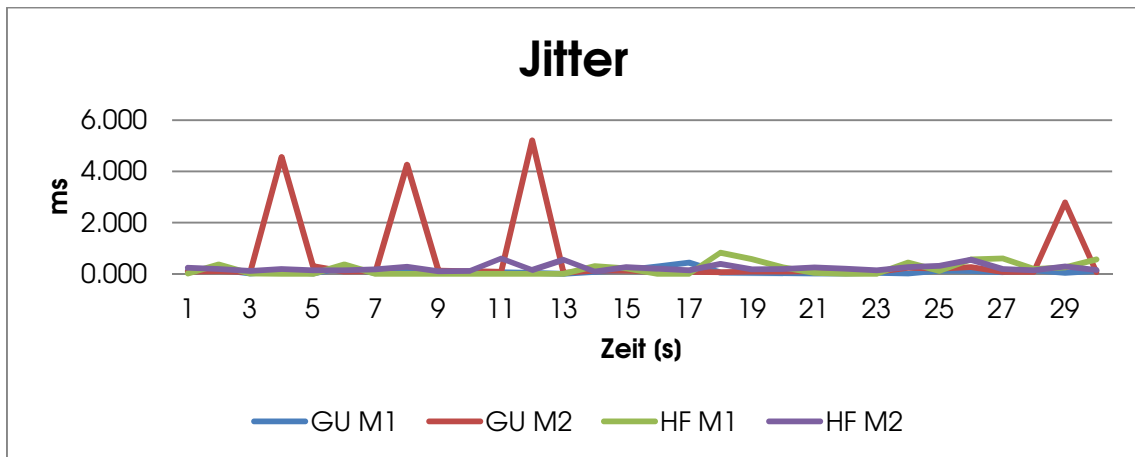
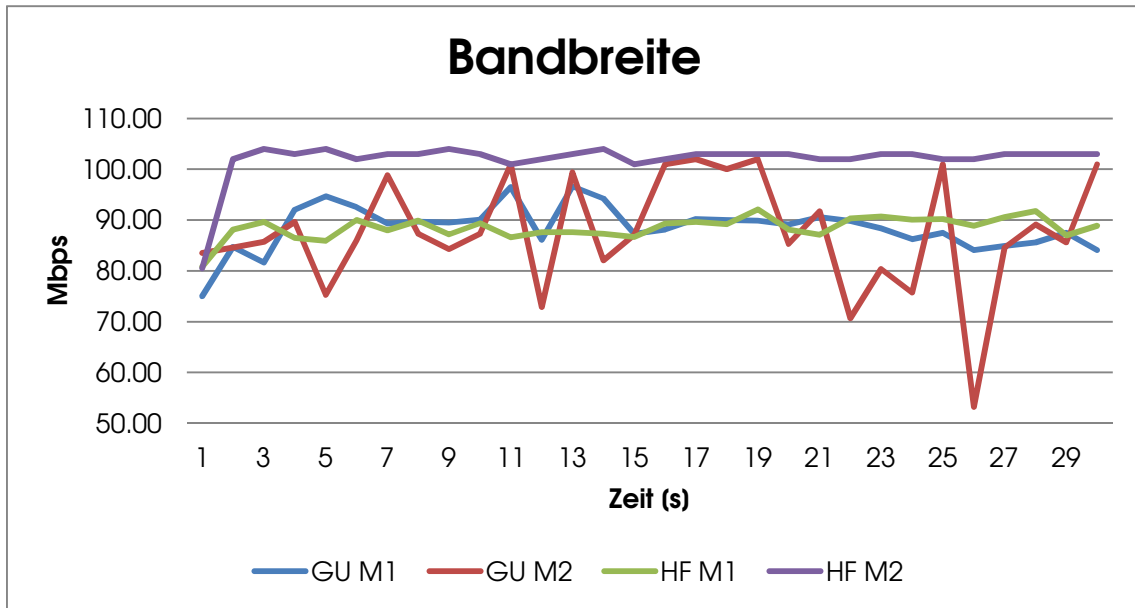


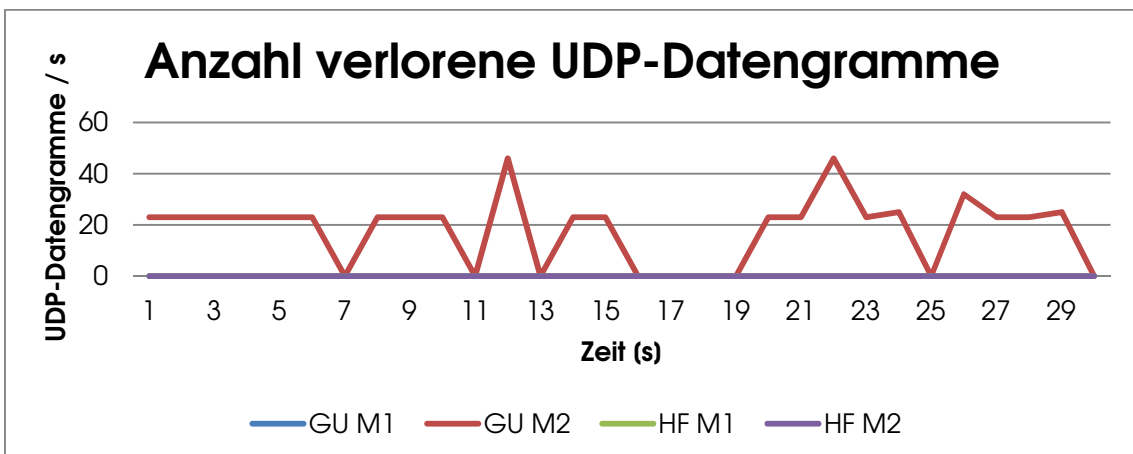
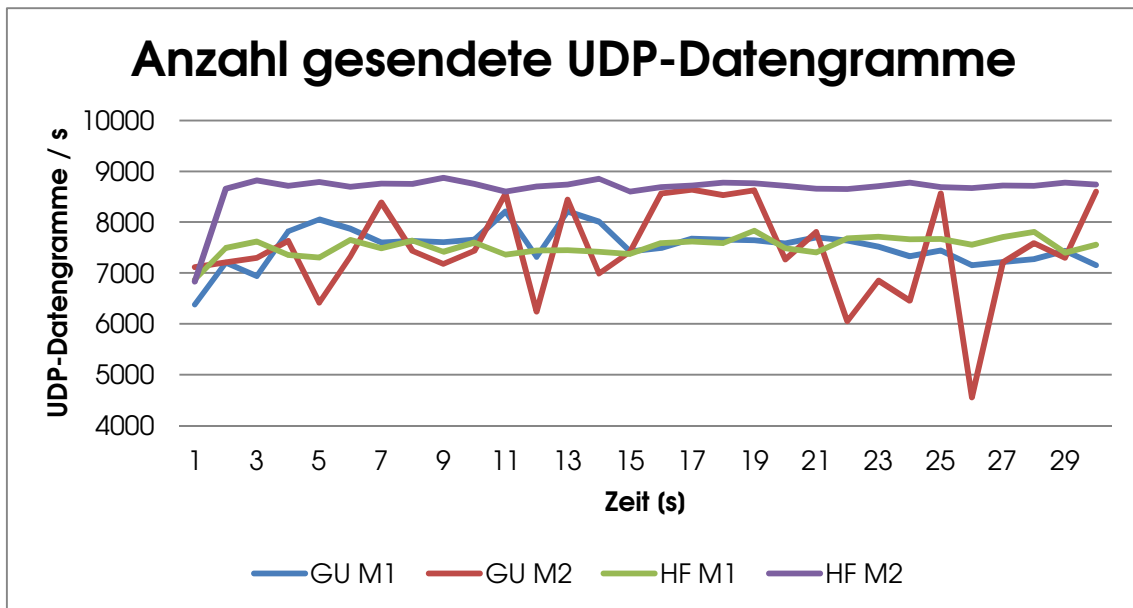
Auch hier wiederum ist in den HF-Messungen der langsame Anstieg durch den nicht vorhandenen Block-ACK-Mechanismus erkennbar.

Unsere höheren Resultate im gestörten Umfeld entstehen aus der Tatsache, dass die Jitter-Werte sehr tief sind. Daraus folgend haben wir auch keine UDP-Datengramm-Verluste.

SHORT GUARD, 40 MHZ KANALBREITE

CISCO



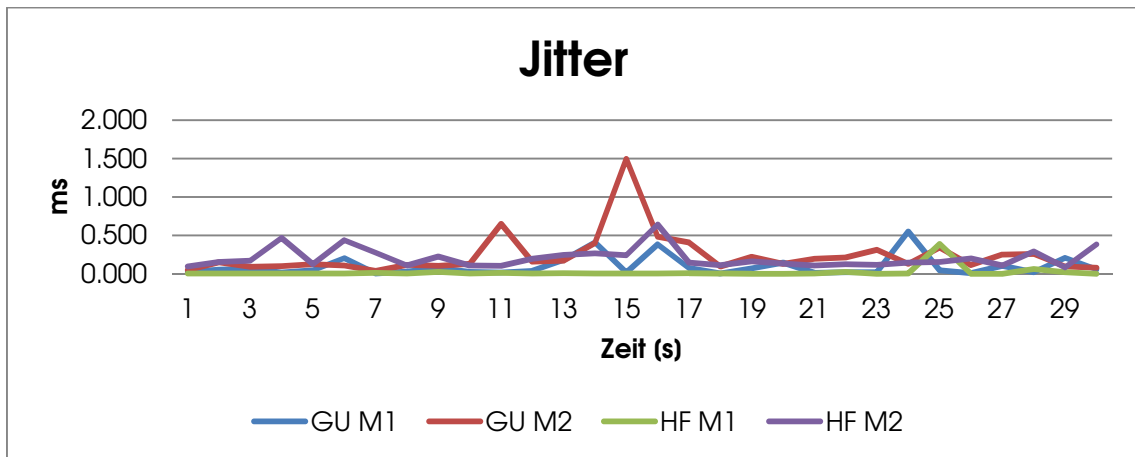
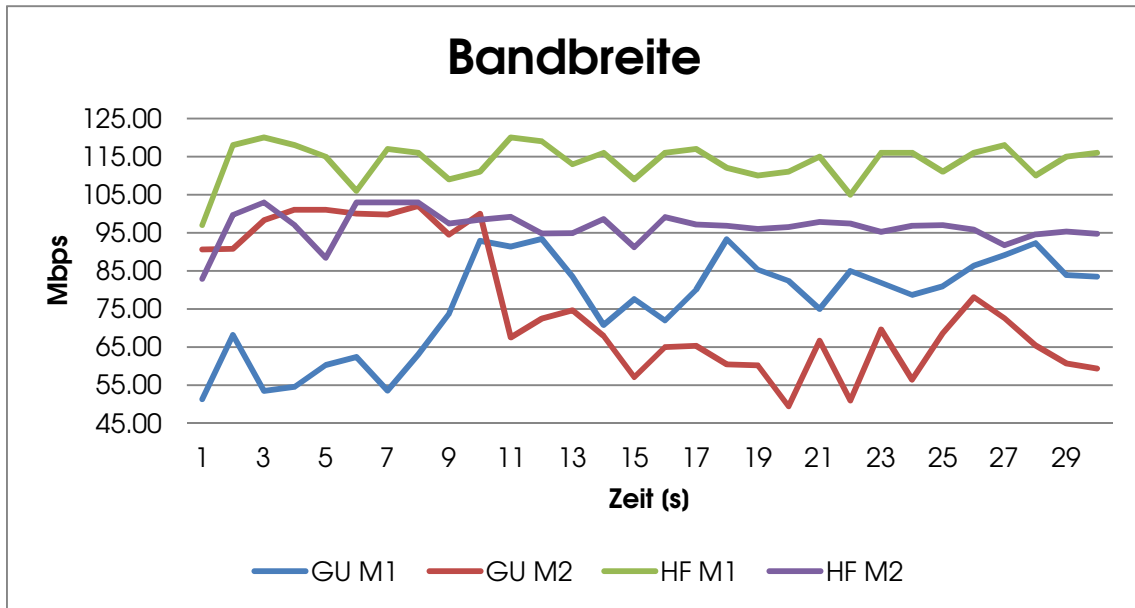


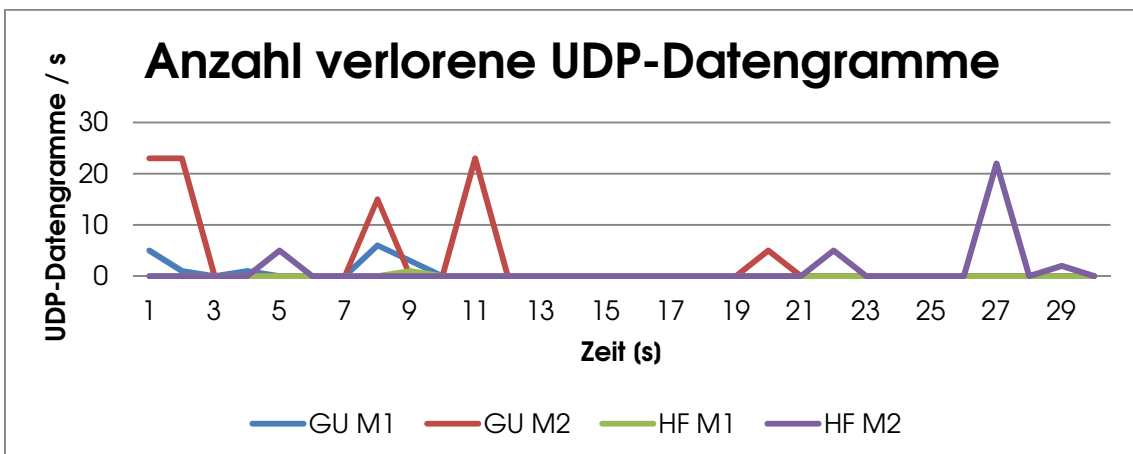
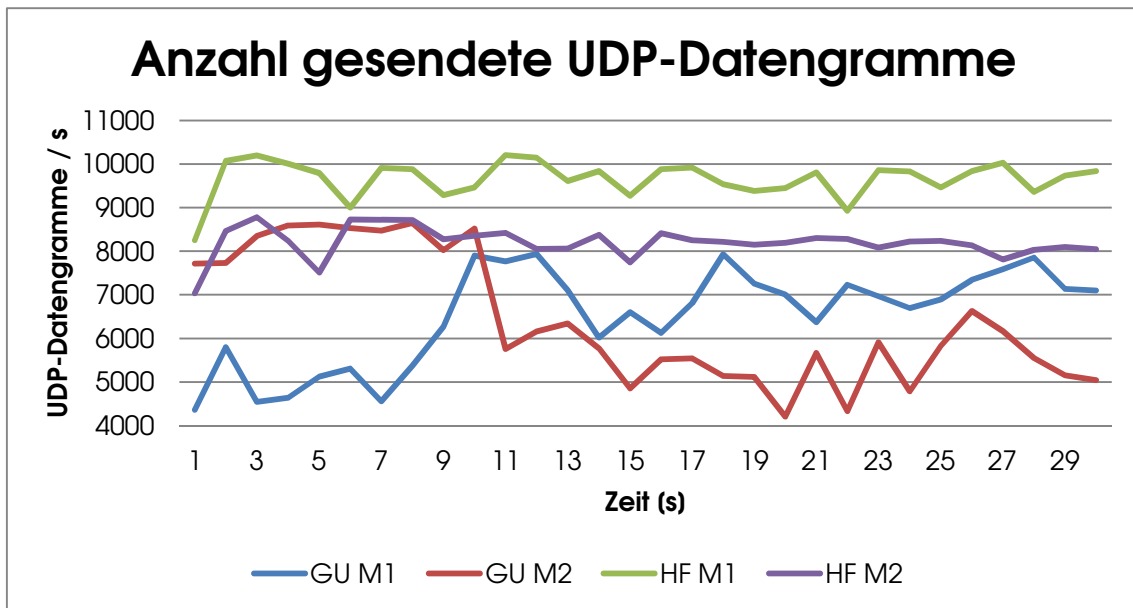
Obwohl die Einstellungen auf den Stationen wie auch im AP wiederhergestellt wurden, sind die Messergebnisse in der HF-Kammer deutlich tiefer als die Referenzergebnisse. Es konnte nicht festgestellt werden weshalb diese Differenz entstanden ist. Jedoch kann trotzdem erkannt werden, dass es sich um eine HF-Messung handelt, da die Übertragung der Daten konstant ist.

Die nicht so ausgeprägten Schwankungen wie auch die nicht existierenden UDP-Datengrammverluste sind von den tieferen Jitter-Werten abzuleiten.

LONG GUARD, 40 MHZ KANALBREITE

CISCO





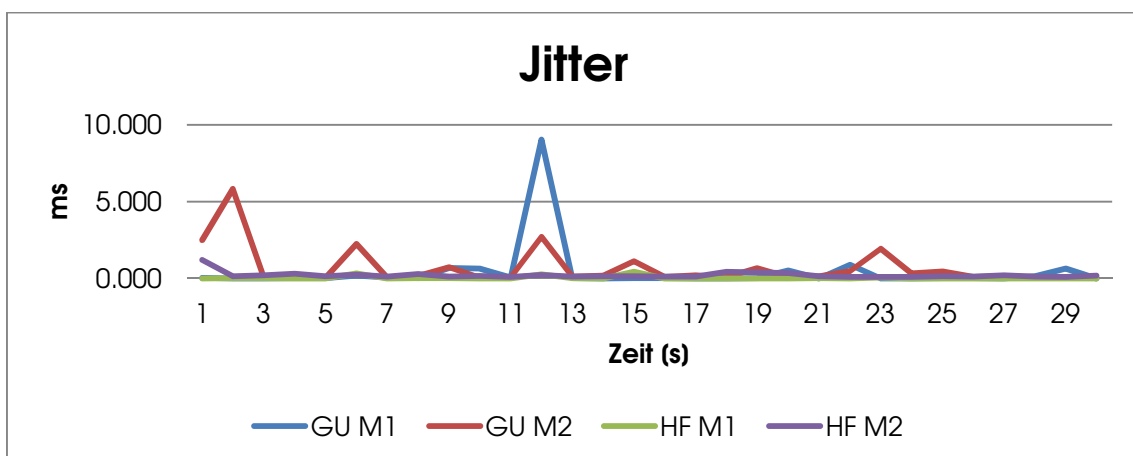
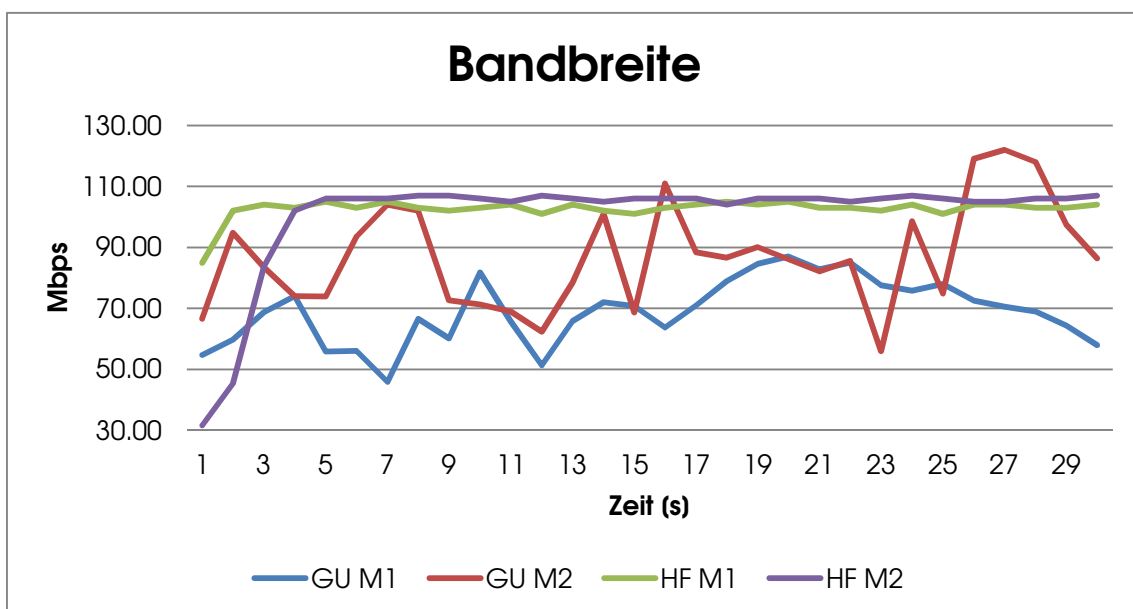
Durch allgemein tiefere Jitter-Werte sind Bandbreite und Anzahl gesendeter UDP-Datengramme höher und entsprechend Anzahl verlorener UDP-Datengramme tiefer.

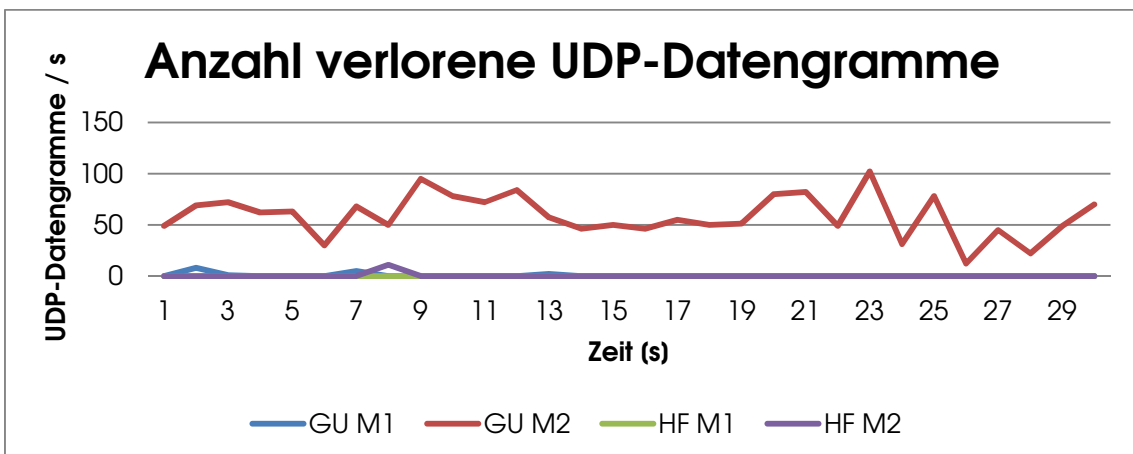
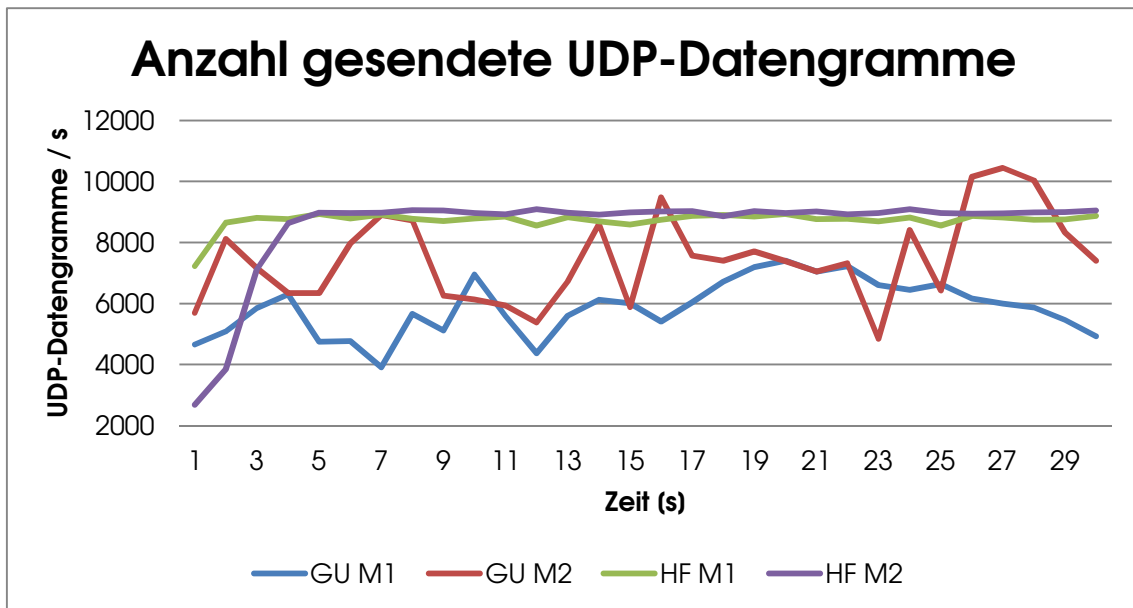
Die wenigen Ausschläge beim Jitter führen dazu, dass keine Einbussen entstehen.

## FRAME AGGREGATION

Da bei Cisco die Aggregation von Frames automatisch aktiviert ist, wird der Threshold erst bei 2347 Byte überschritten und die nachfolgenden Messungen können entsprechend nur im Netgear-WLAN-Netzwerk durchgeführt werden.

## 20 MHZ KANALBREITE





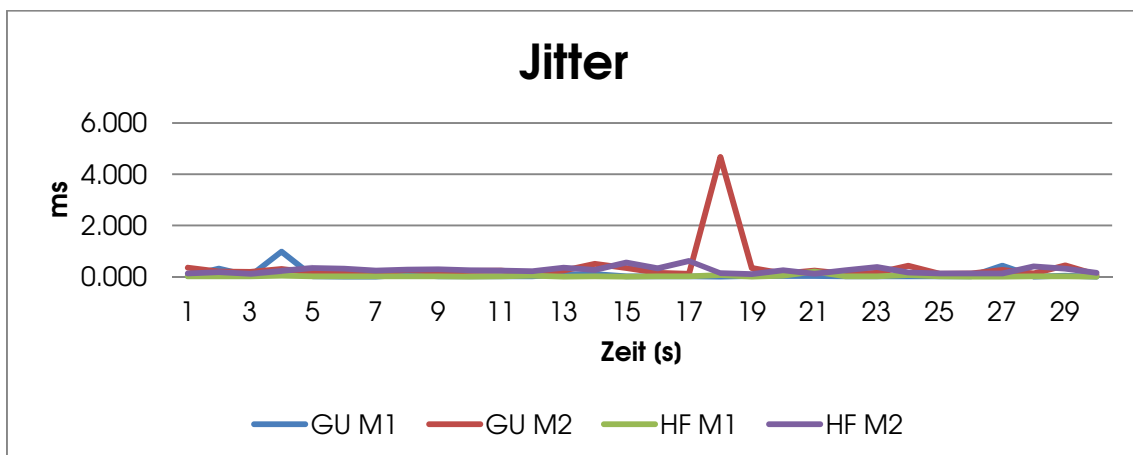
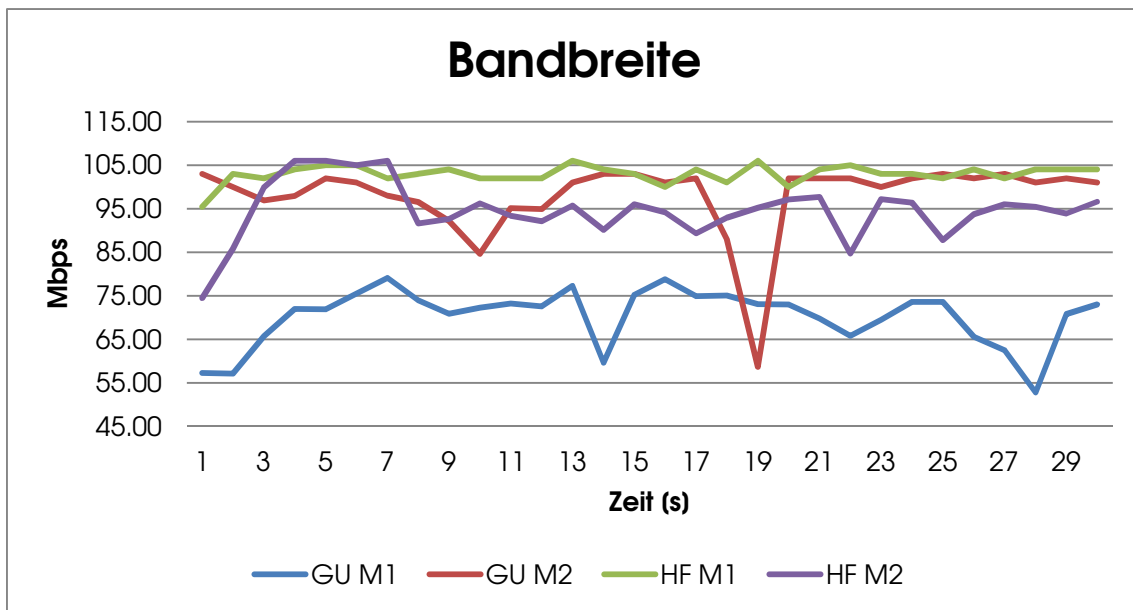
In der HF-Kammer wurde der Block-ACK-Mechanismus bei uns schon nach einer Sekunde aktiviert. Somit widerspiegelt sich der langsam Anstieg nur in der ersten Sekunde.

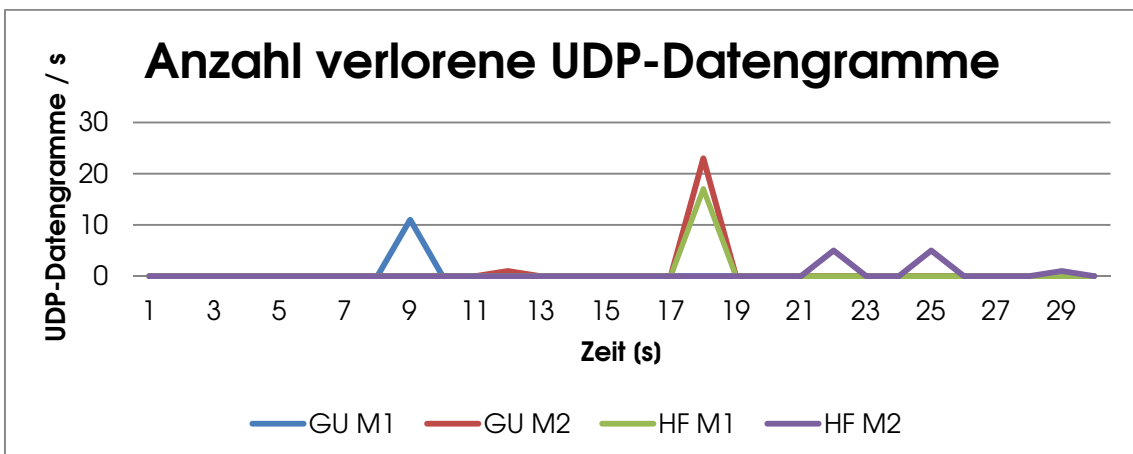
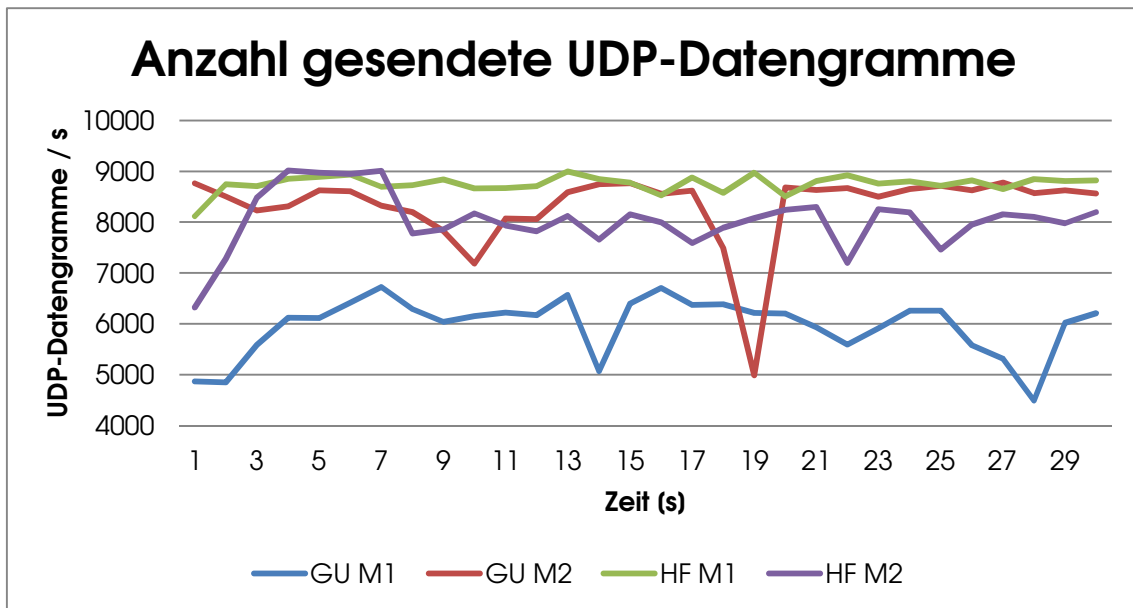
Bei den Messungen von Fabian Beck wurde in den Trace-Files erkannt, dass sehr viele Interferenzen aufgezeichnet wurden. Dies war in unseren Messungen nicht der Fall. Dadurch auch die grosse Differenz in der Anzahl verlorener UDP-Datengramme.

## RIFS

Auch hier ist durch die automatische Aktivierung von RIFS bei Cisco-Geräten die Messung nur mit Netgear möglich.

## 20 MHZ KANALBREITE





Wie bei den Messungen von Fabian Beck im gestörten Umfeld kann beim Vergleich auf die Messungen mit Frame Aggregation erkannt werden, dass mehr Frames gesendet werden konnten.

Diese Aussage stimmt in der HF-Kammer nicht, da in der HF-Kammer keine Interferenzen vorhanden sind und die Station immer Zugriff auf das Medium hat. Somit ist auch die Aggregation bei Frames sehr effizient.

Die massive Schwankung in der Messung von Fabian Beck im gestörten Umfeld kann auf Interferenzen zurückgeführt werden.

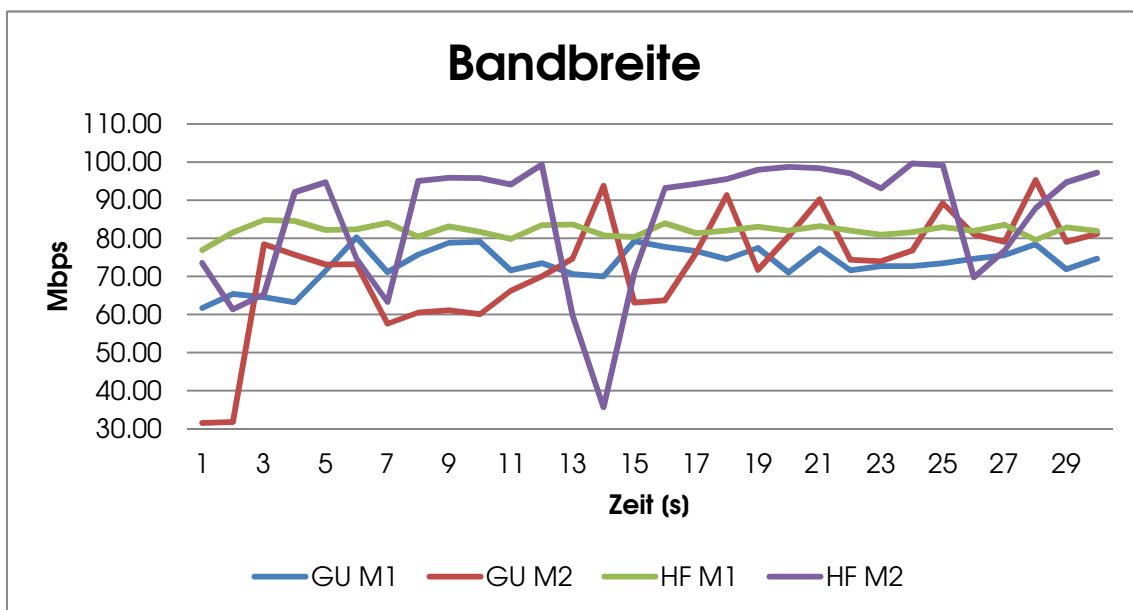
## 5-GHZ-FREQUENZBAND

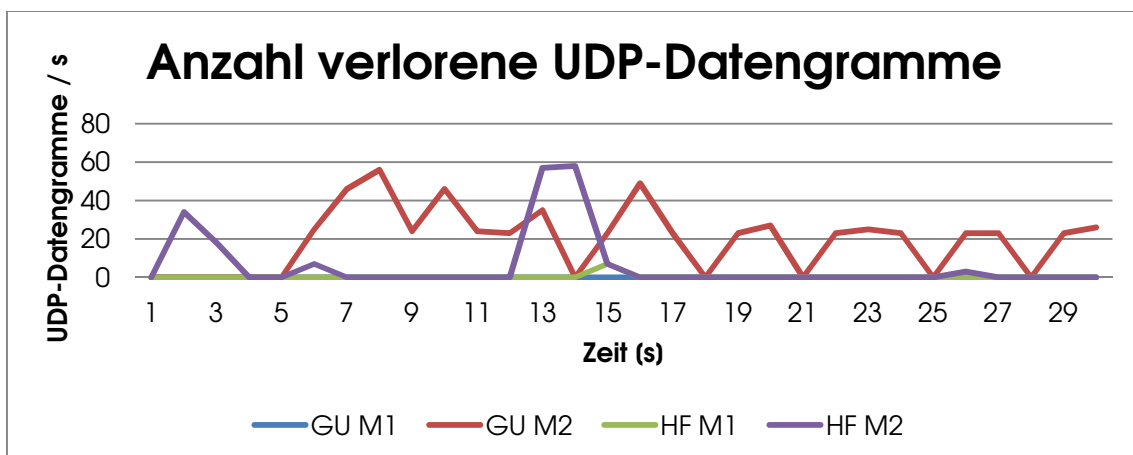
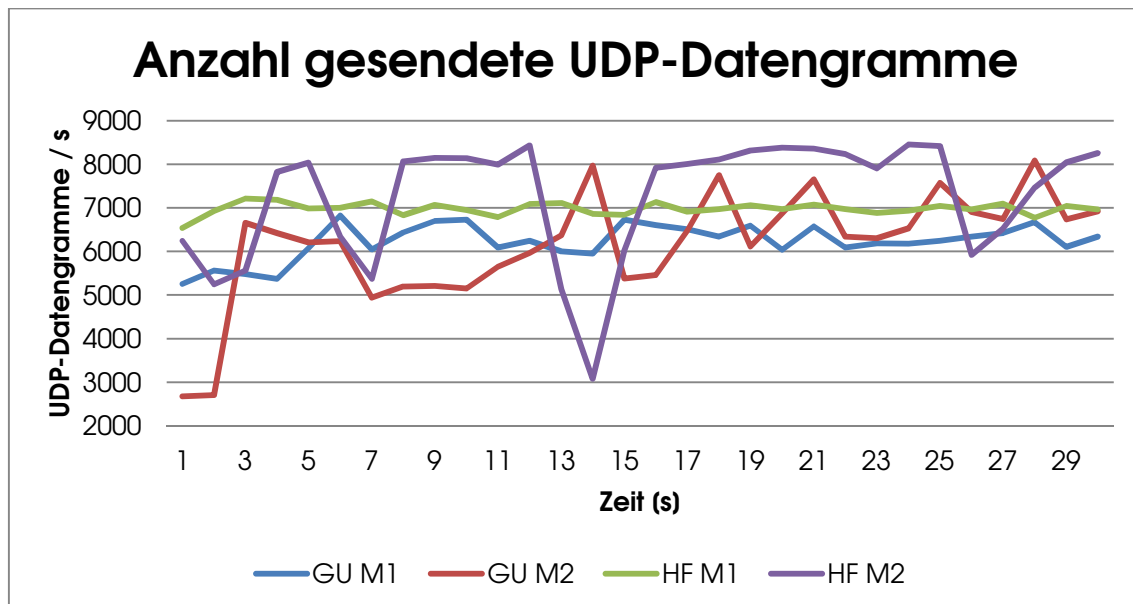
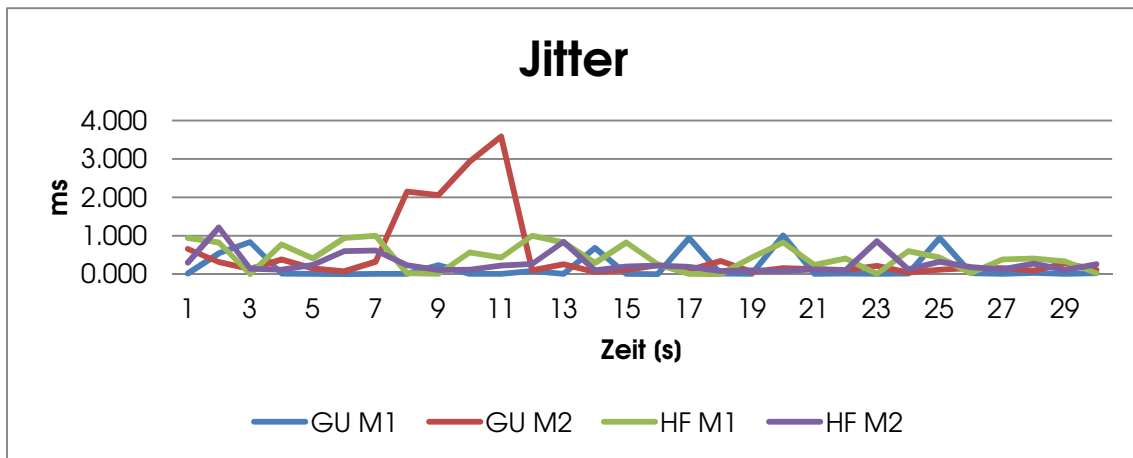
Im 5-GHz-Frequenzband wurden die Messungen nur mit dem Netgear Access Point durchgeführt, weil der Cisco Access Point das 5-GHz-Frequenzband nicht unterstützt.

Auch hier muss beachtet werden, dass durch die Verwendung der MIMO-Technologie die Reflexion in der HF-Kammer durch die Dämpfung der Absorber-Pyramiden nicht stattfinden konnte.

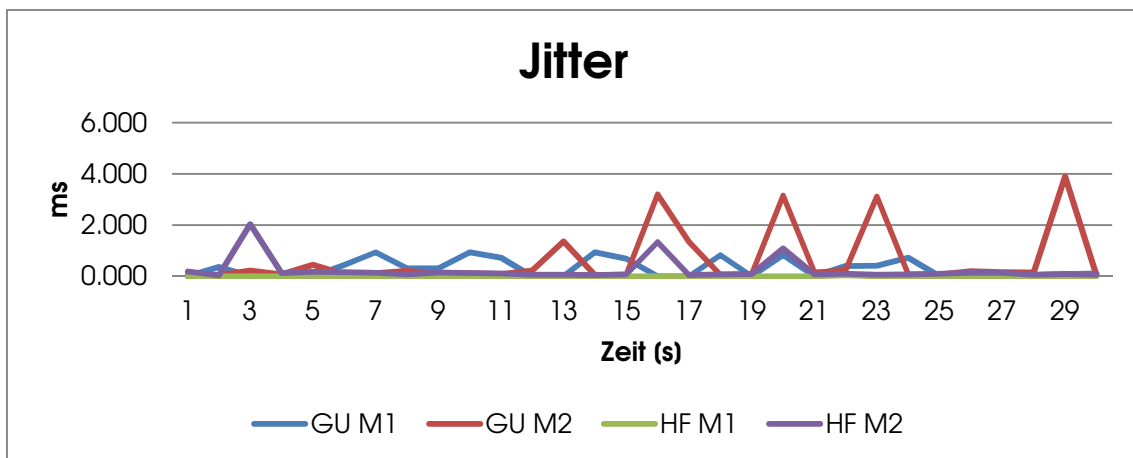
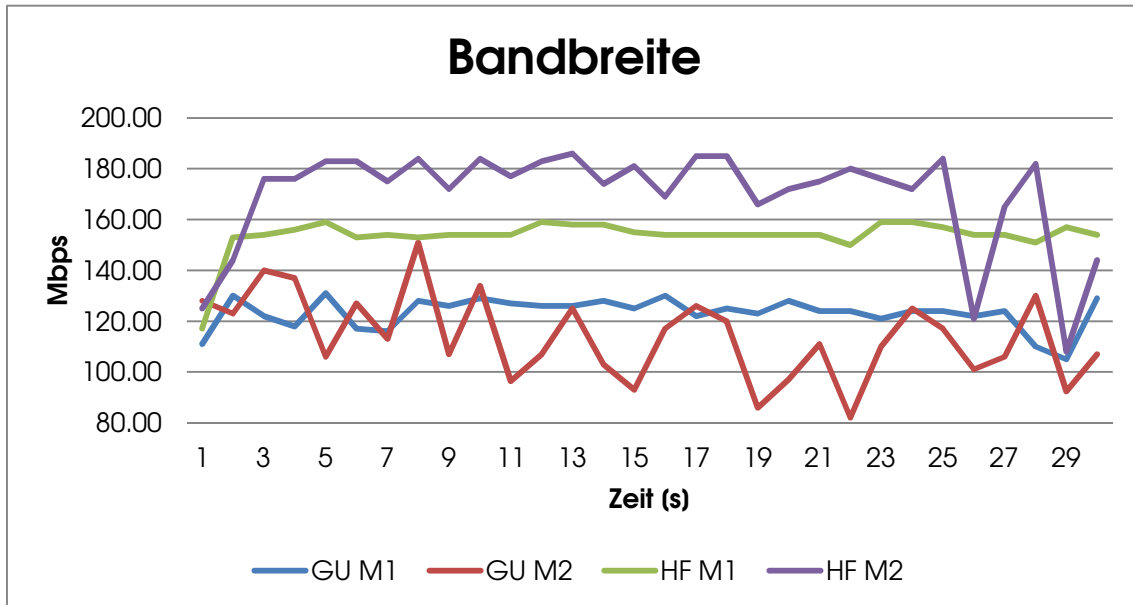
## SHORT GUARD

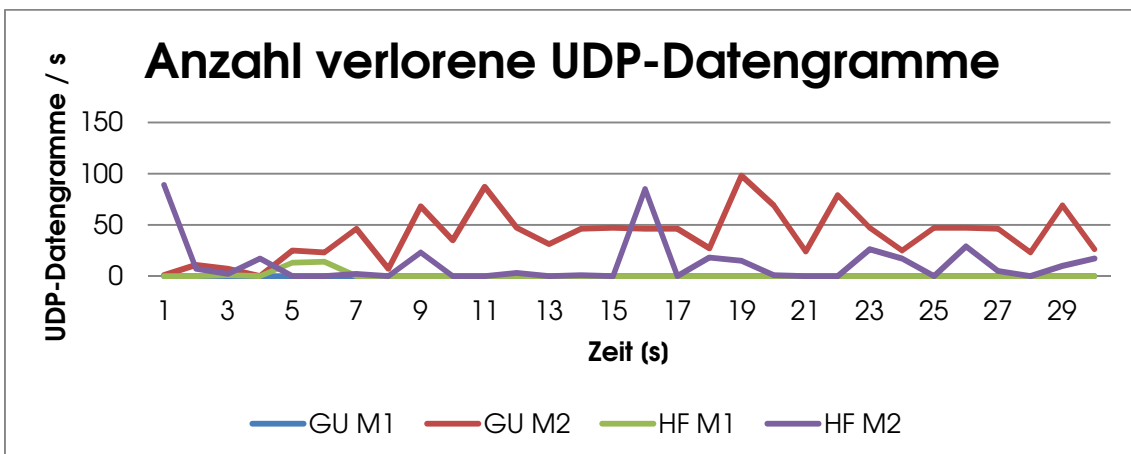
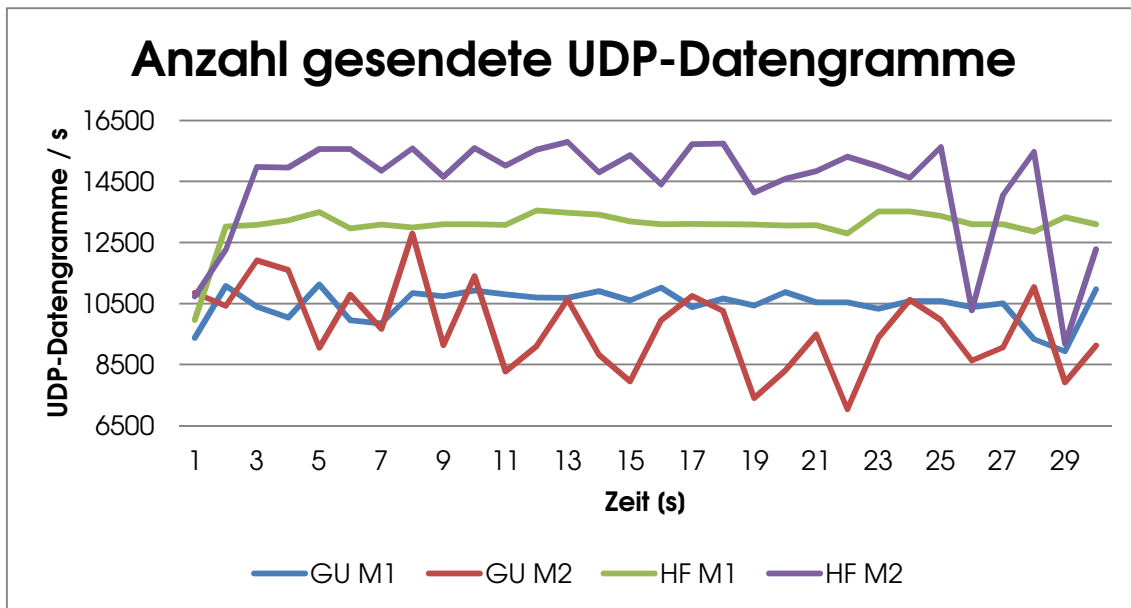
### 20 MHZ KANALBREITE





## 40 MHZ KANALBREITE





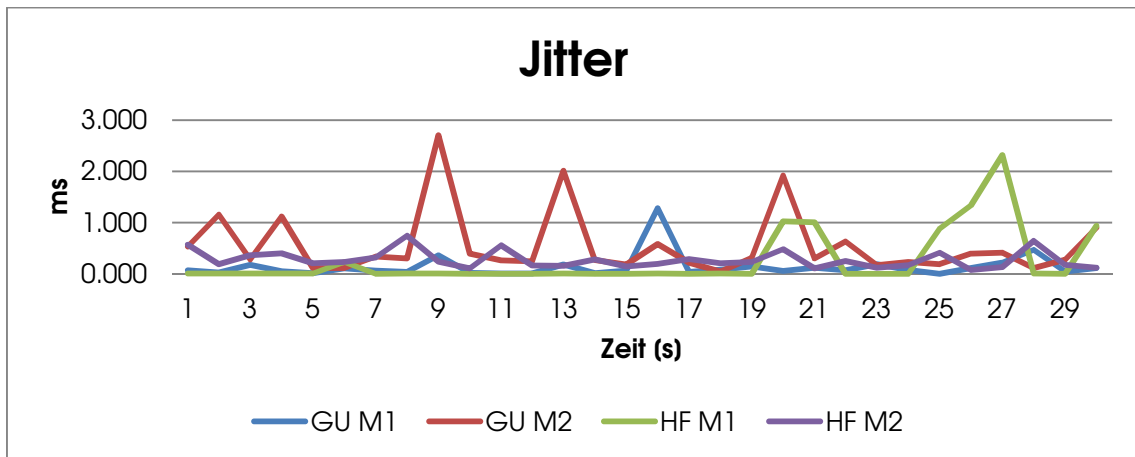
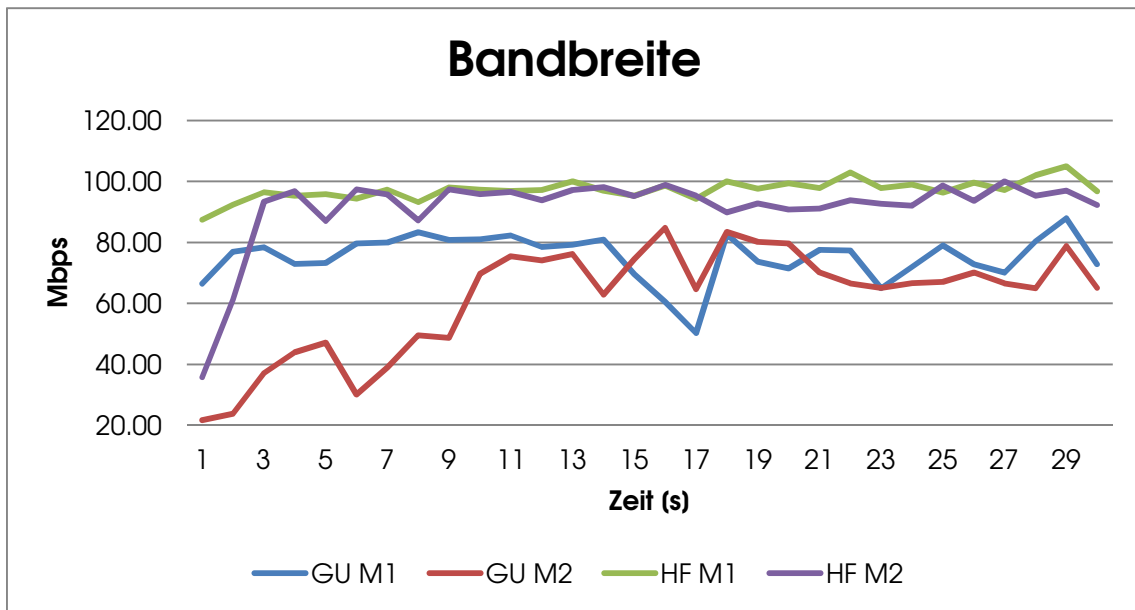
Wie bei der Messung von Fabian Beck kann bei der Verwendung einer Kanalbreite von 40 MHz fast eine Verdoppelung des Durchsatzes erreicht werden.

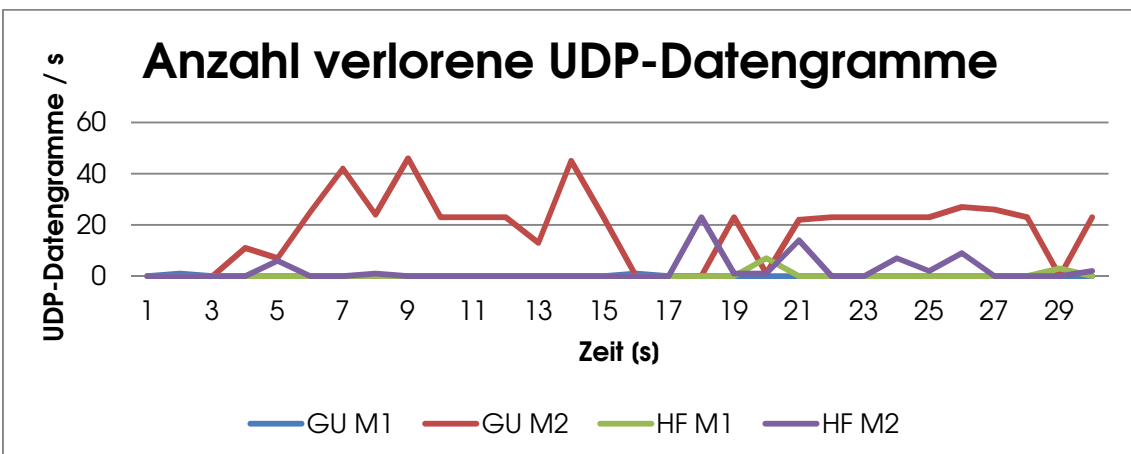
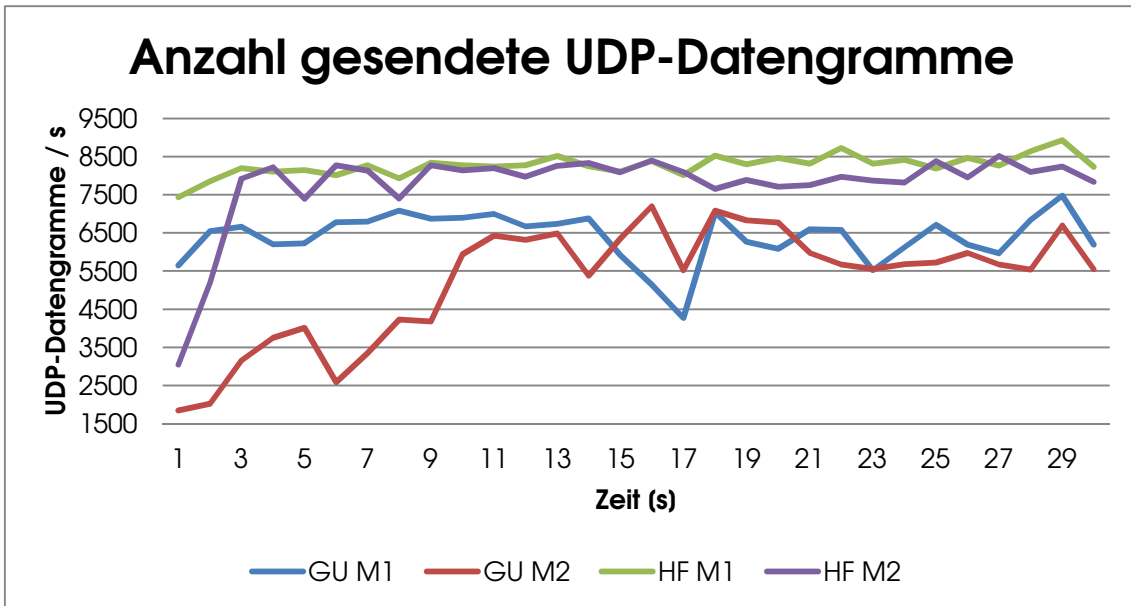
Die Schwankungen bei den Messungen von Fabian Beck können auf wiederholte Versendung und entsprechende Jitterwerte zurückgeführt werden.

Durch die tiefen Jitterwerte bei unseren Messungen entstanden keine UDP-Datengrammverluste.

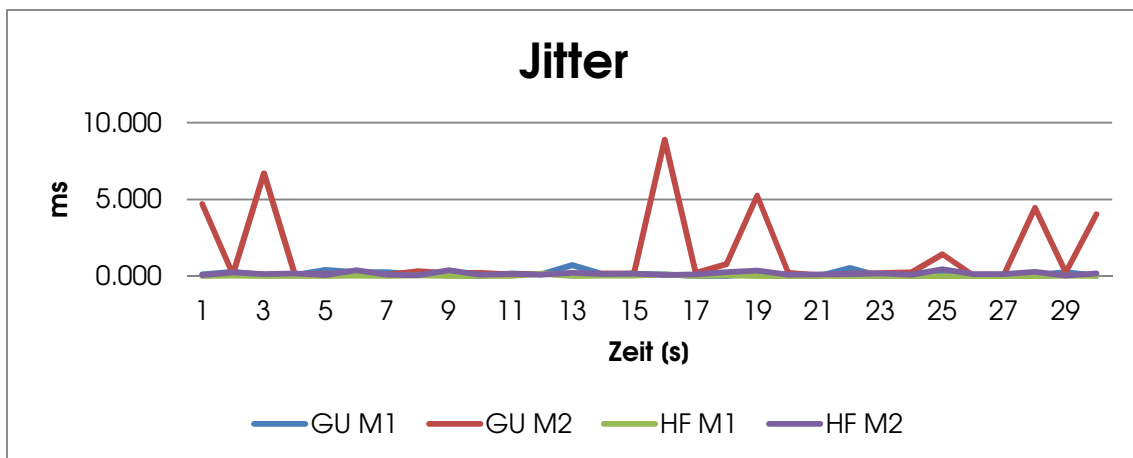
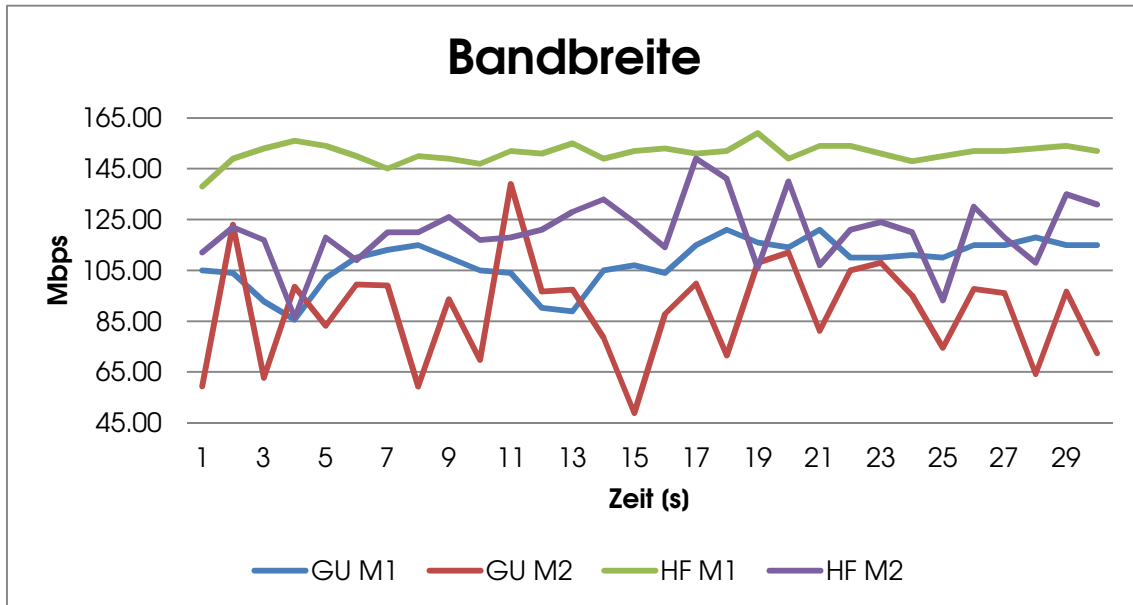
LONG GUARD

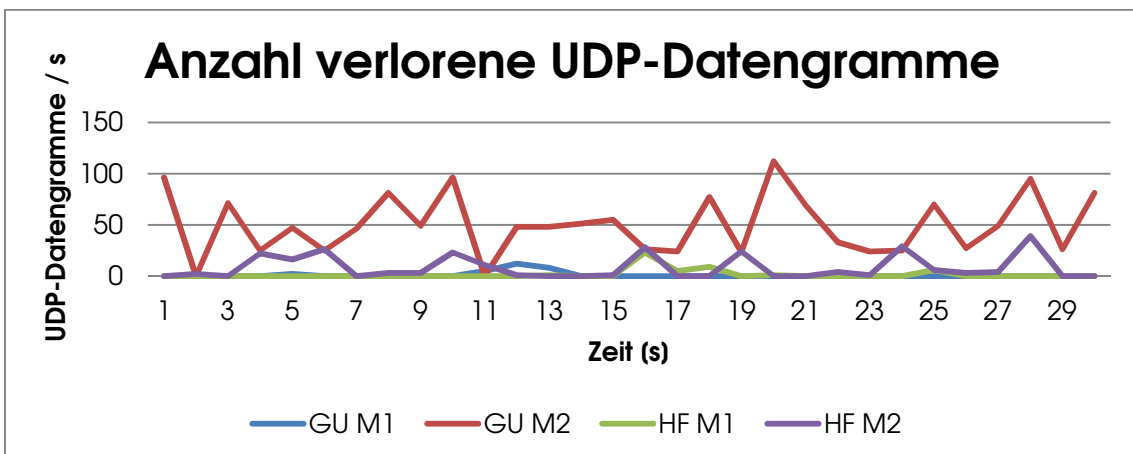
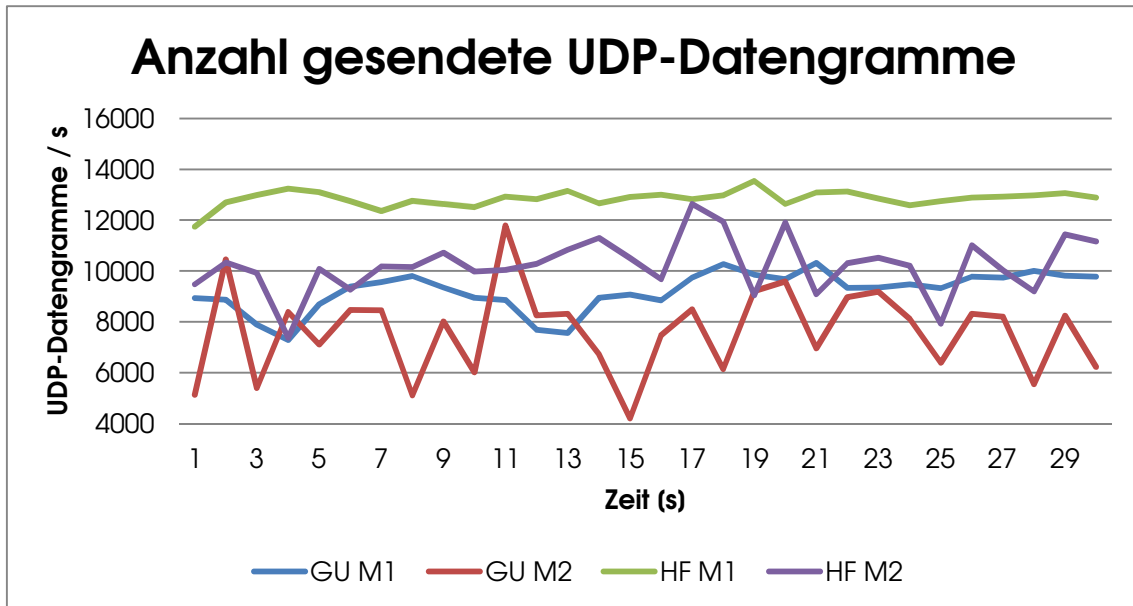
20 MHZ KANALBREITE





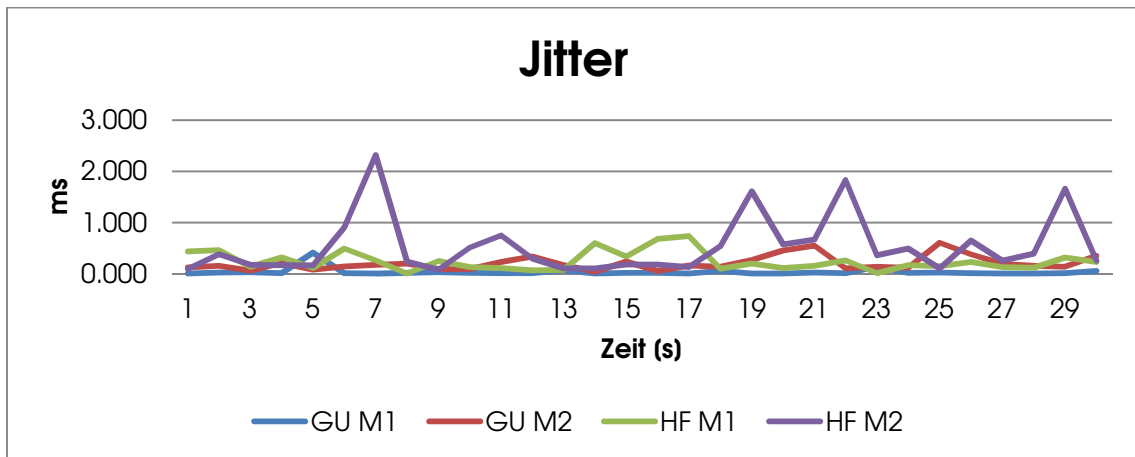
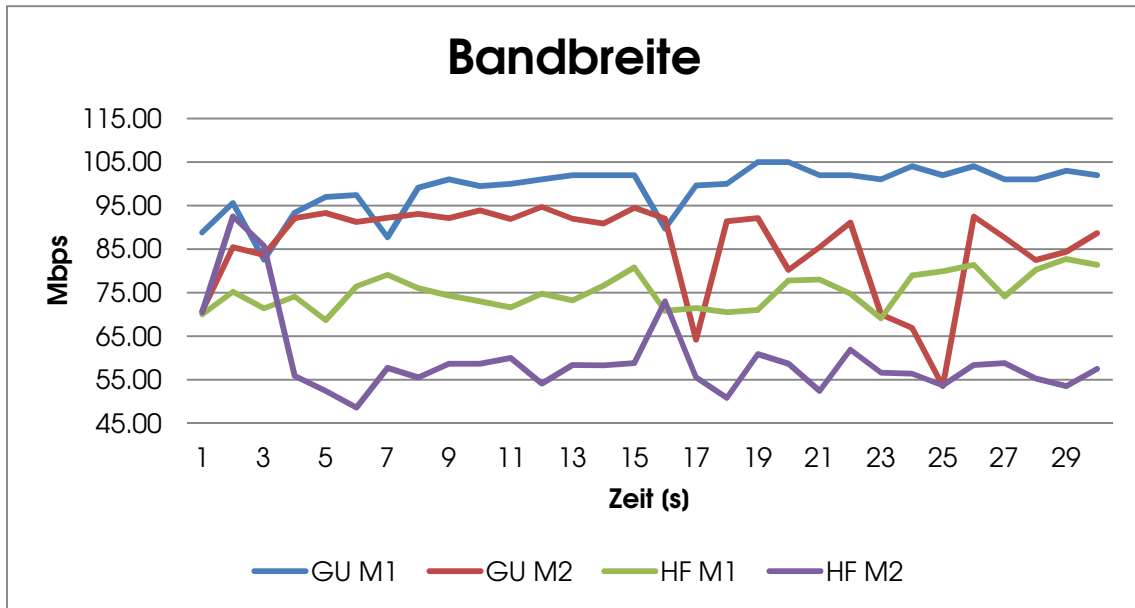
## 40 MHZ KANALBREITE

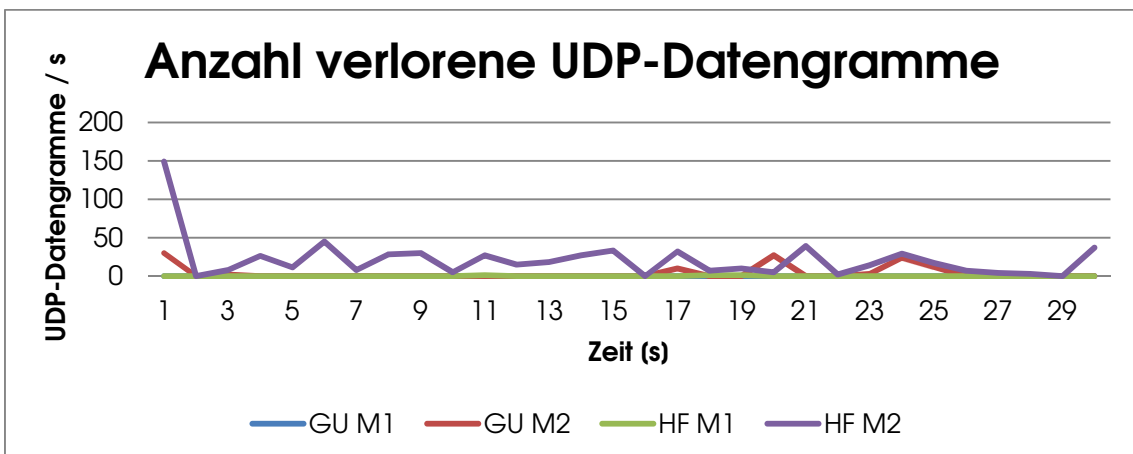
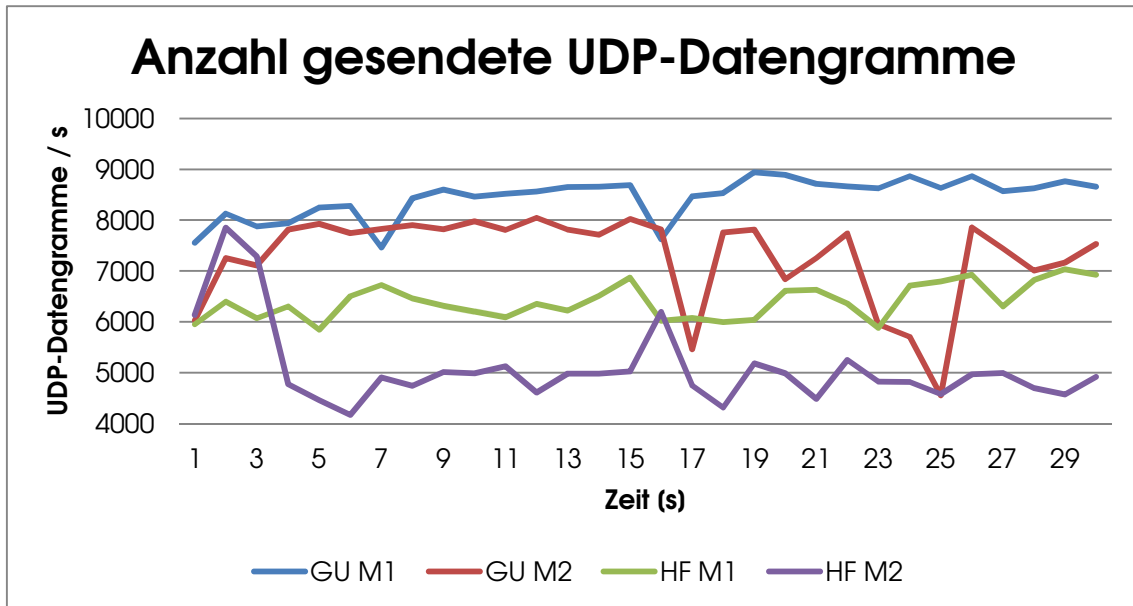




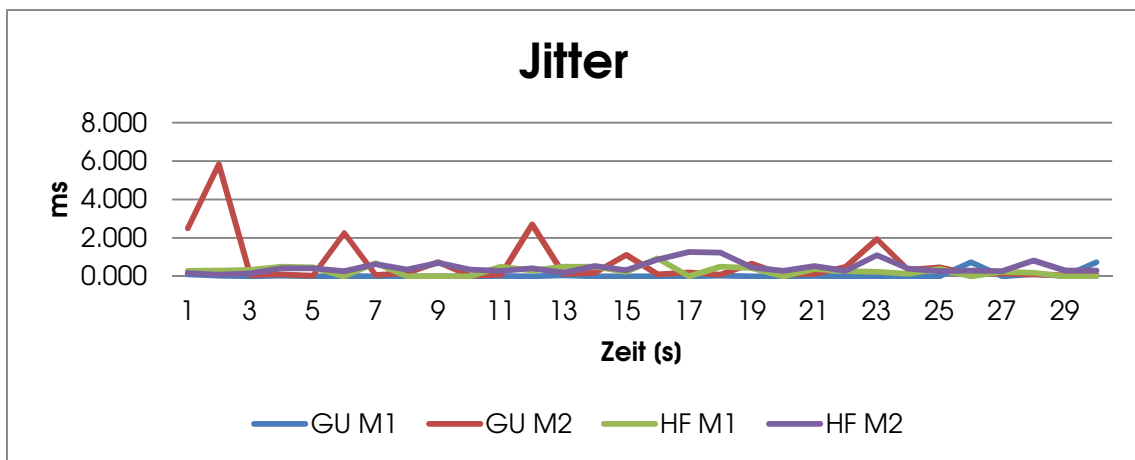
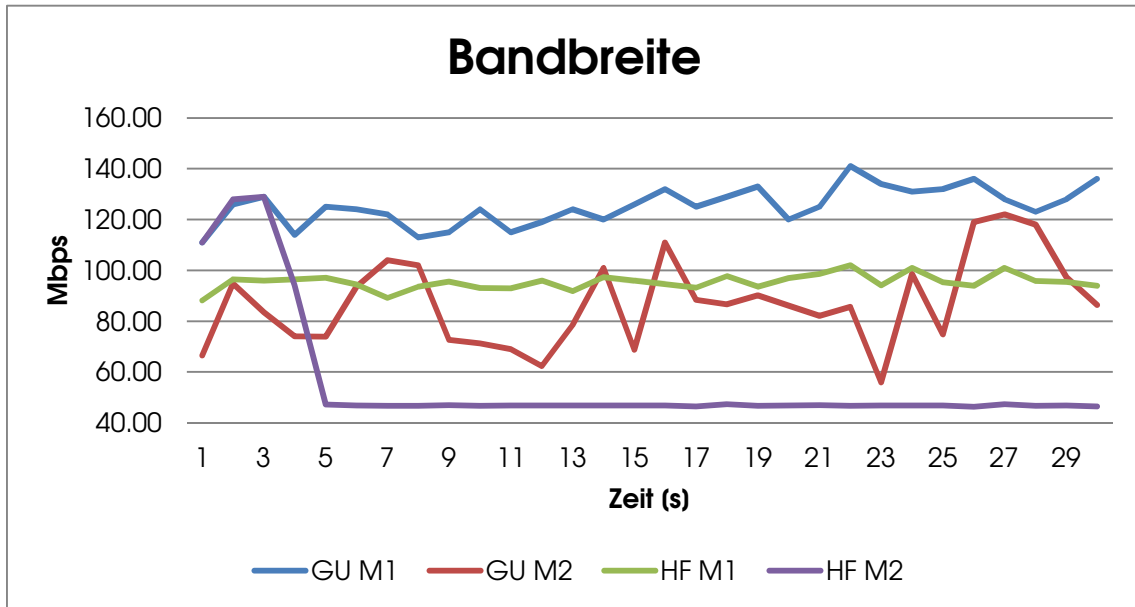
FRAME AGGREGATION

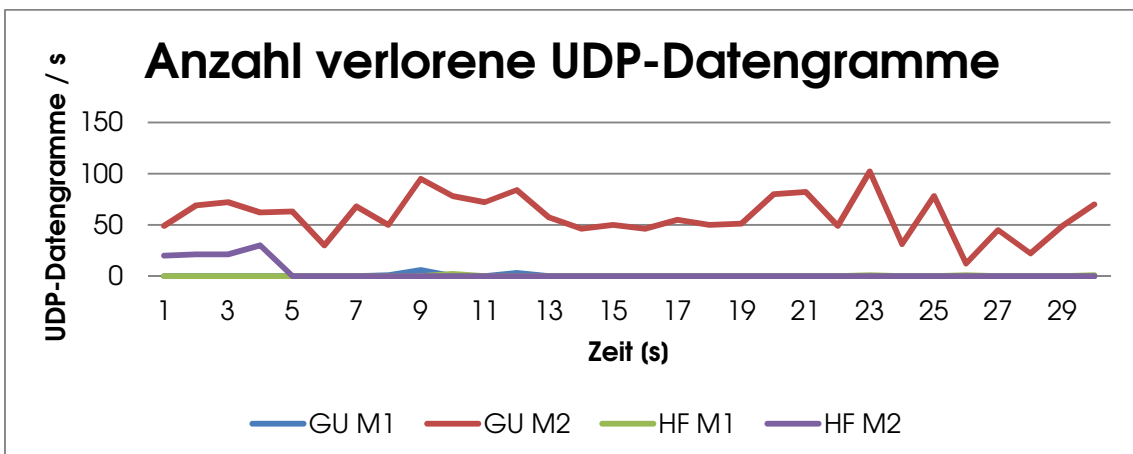
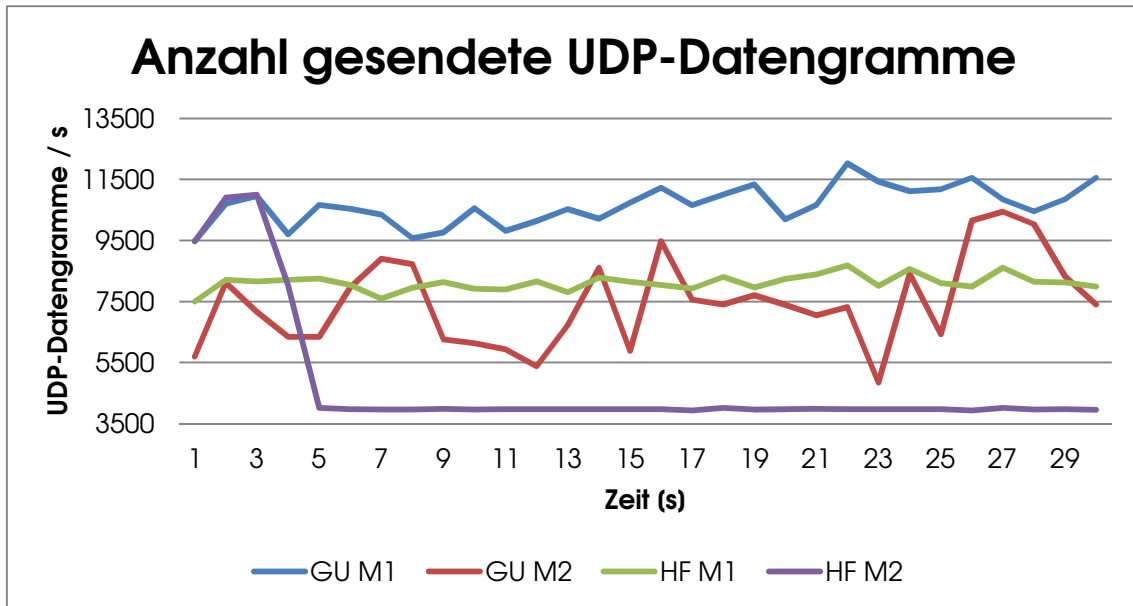
20 MHZ





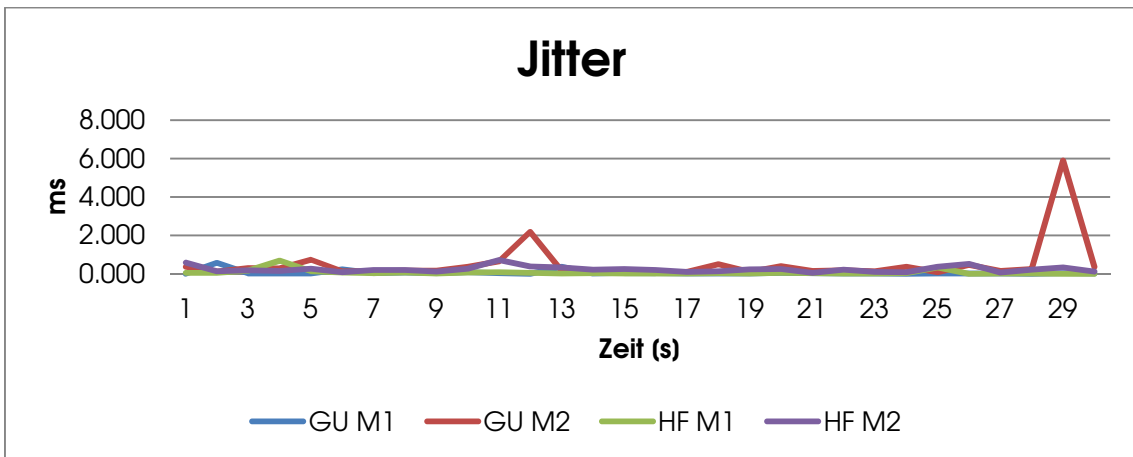
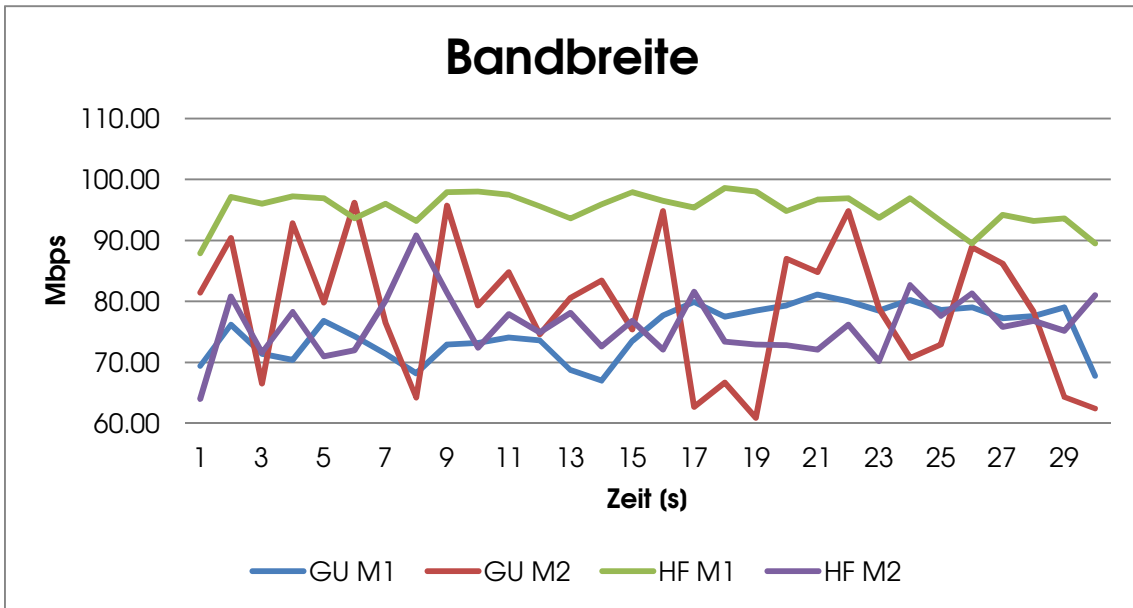
40 MHz

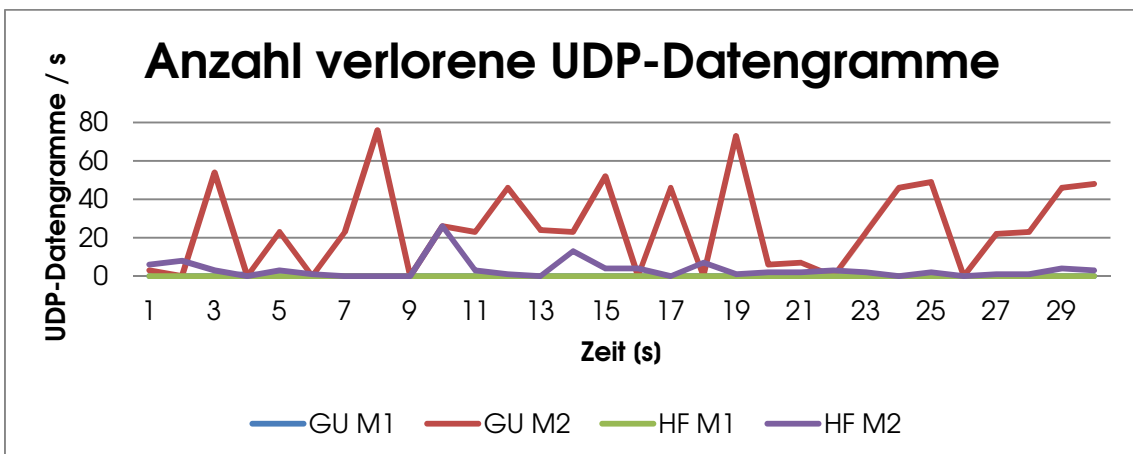
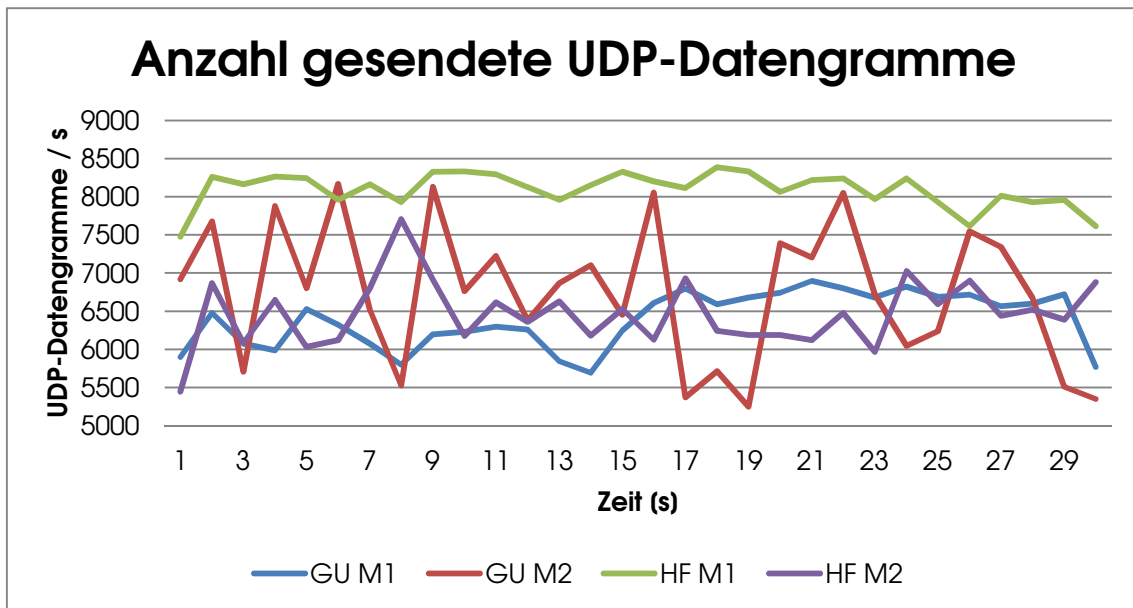




RIFS

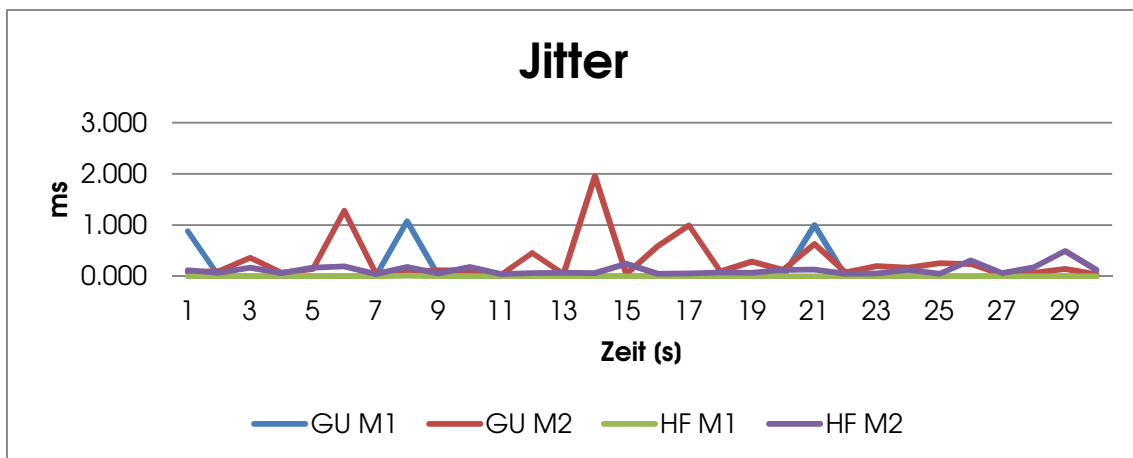
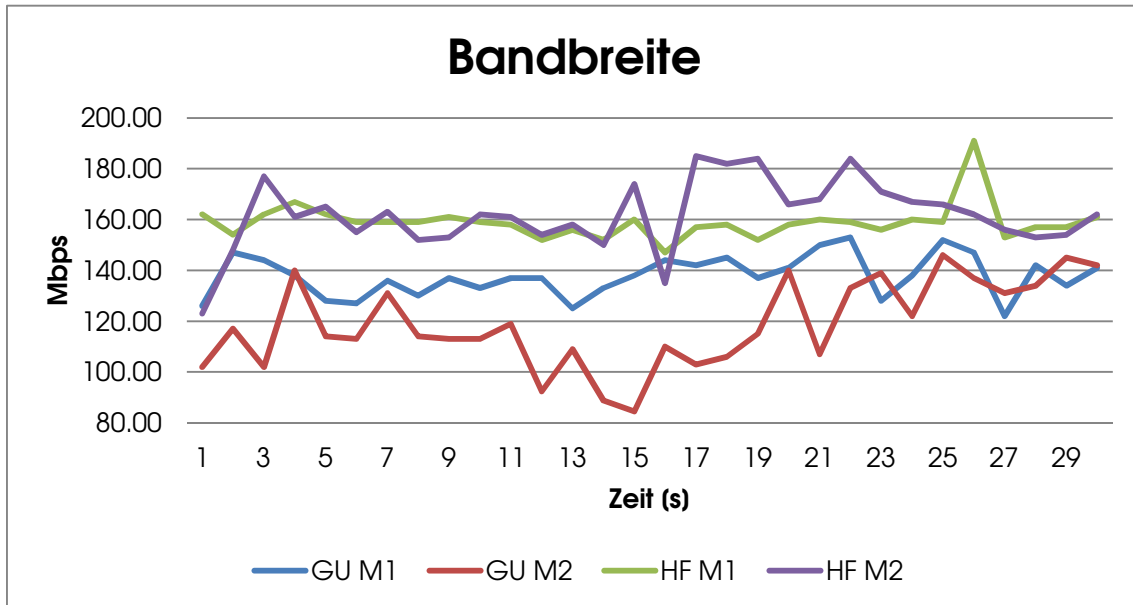
20 MHZ KANALBREITE

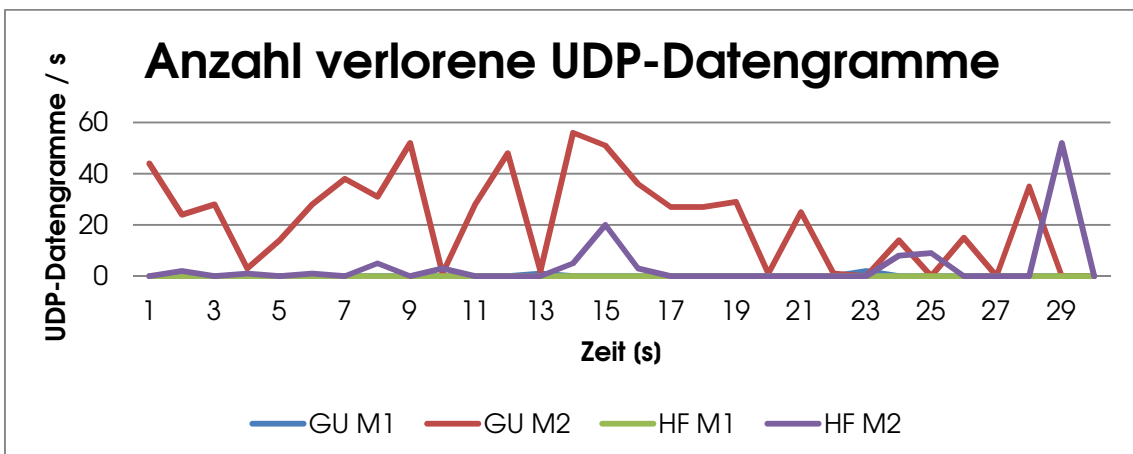
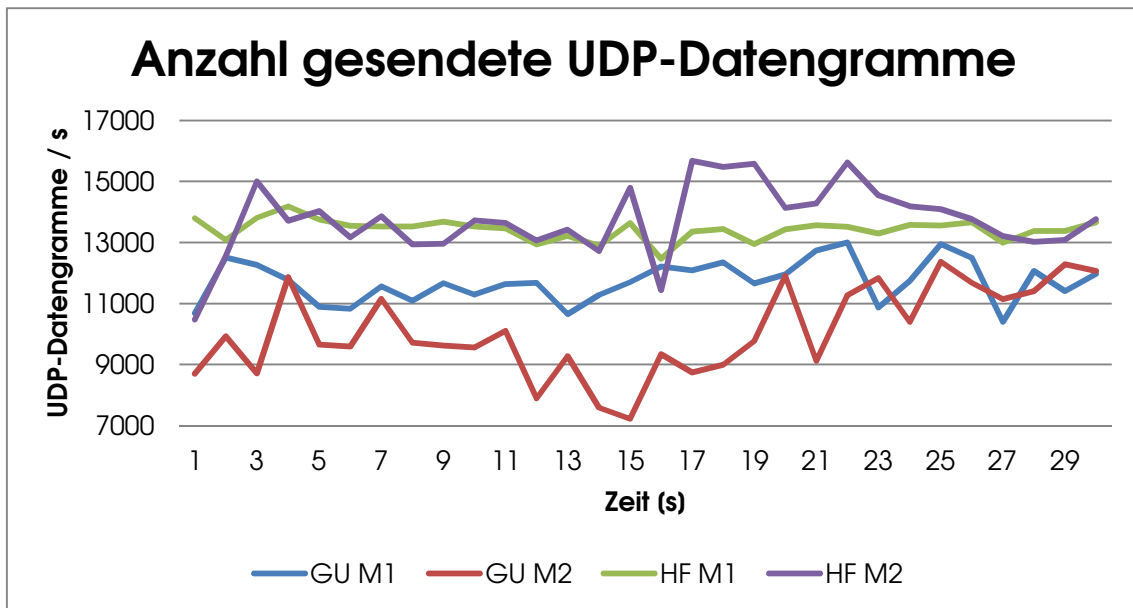




Durch die Verwendung der MIMO-Technologie kann in dieser Messung sehr schön gesehen werden, dass weniger UDP-Datengramme versendet wurden.

## 40 MHZ KANALBREITE





Obwohl auch hier die MIMO-Technologie verwendet wird zeigt sich auch wieder, dass höhere Werte erreicht wurden.

## MESSAUSWERTUNG - KMU MESSUNGEN

In den folgenden Grafiken werden die Messungen im Bereich eines KMU Umfeldes dargestellt.

Dazu werden folgende Abkürzungen verwendet:

<b>VoIP GU</b>	Gestörtes Umfeld Messung nur mit VoIP
<b>VoIP HF</b>	HF-Kammer Messung nur mit VoIP
<b>Data GU</b>	Gestörtes Umfeld Messung nur mit Daten
<b>Data HF</b>	HF-Kammer Messung nur mit Daten
<b>All GU</b>	Gestörtes Umfeld Messung mit VoIP und Daten
<b>All HF</b>	HF-Kammer Messung mit VoIP und Daten

Alle Messungen werden in der WLAN-Kategorie > Infrastruktur-Modus durchgeführt.

In dieser Studienarbeit wird von einer Zelle ausgegangen und es werden alle Teilnehmer als quasistationär betrachtet.

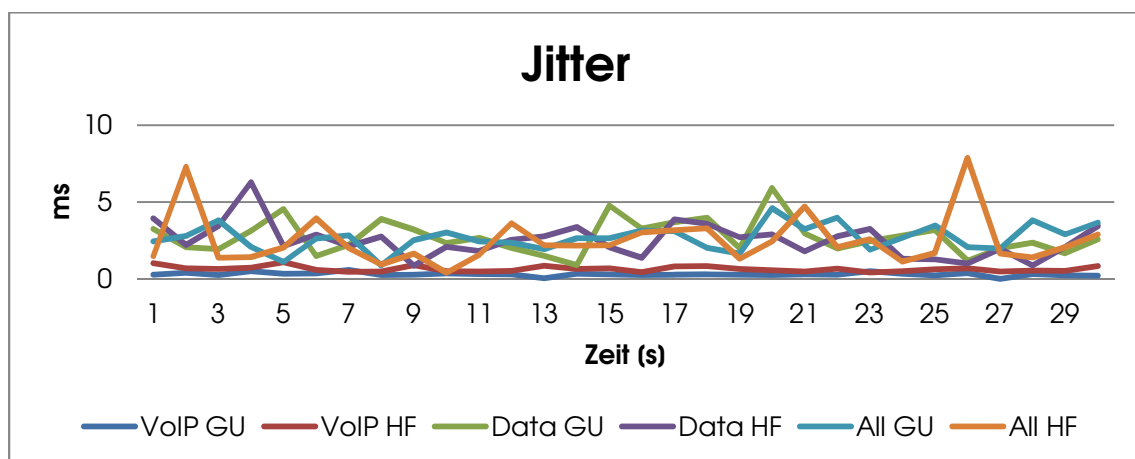
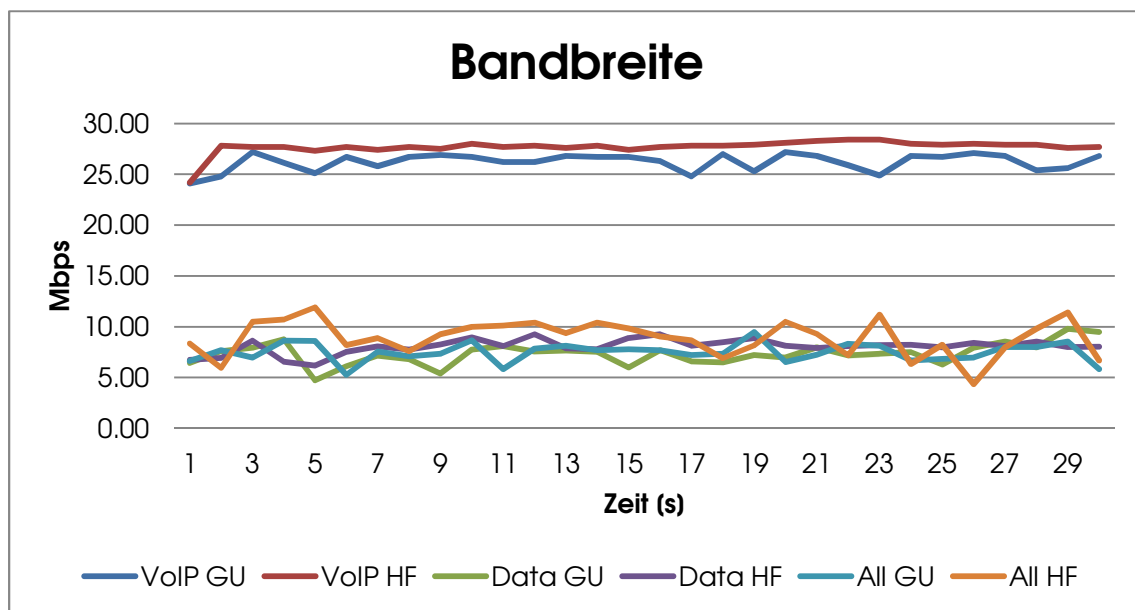
Die Messungen werden in Windows 8 ausgeführt.

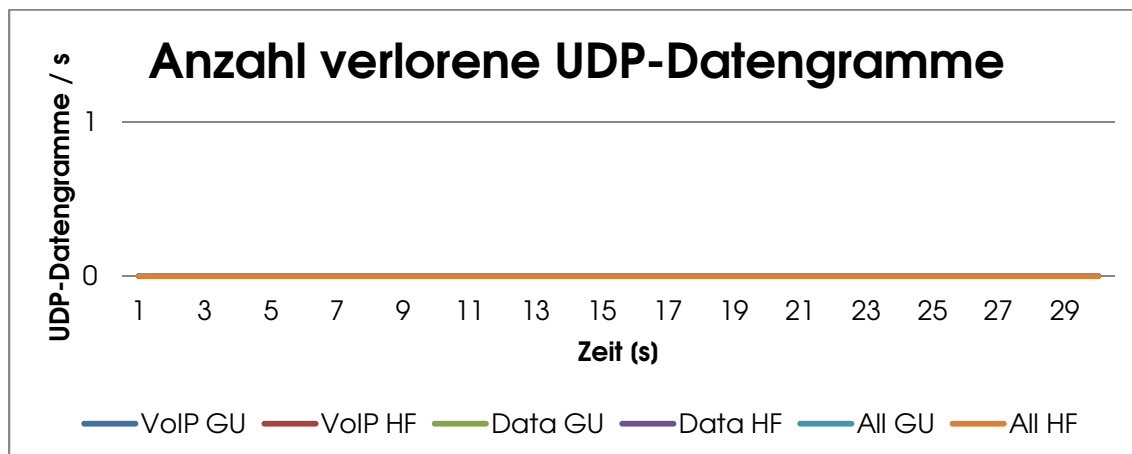
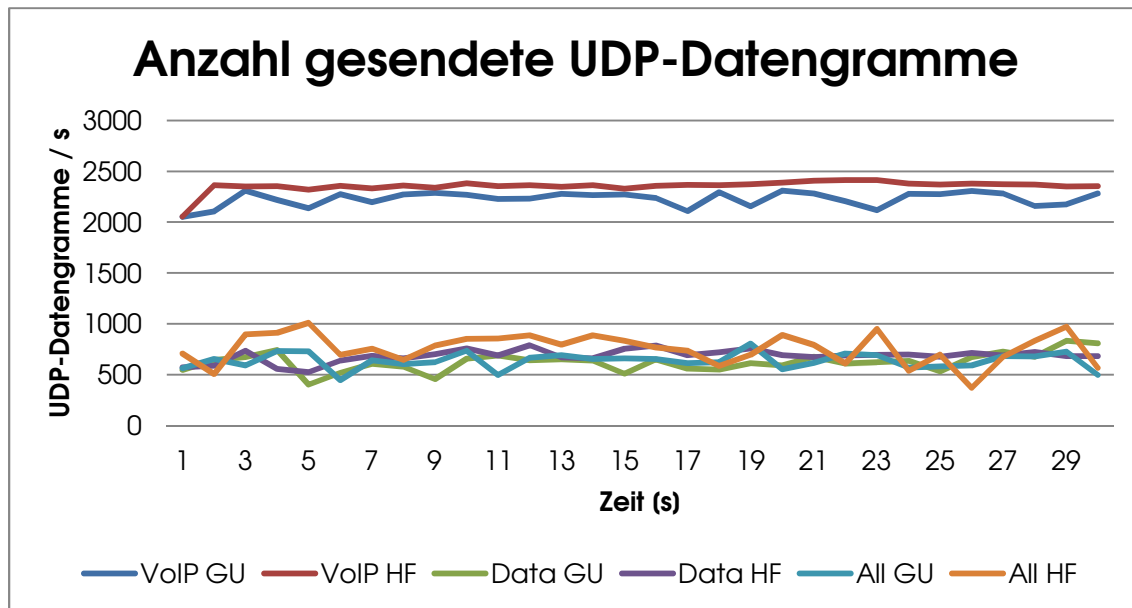
Als Grundlage für diese Studienarbeit wird bei den Verkehrsmustern mit einer KMU (zehn Mitarbeiter) gerechnet.

## G-STANDARD

Die KMU-Messungen im G-Standard wurden ohne RTC/CTS und nur mit Short Preamble durchgeführt.

### CISCO



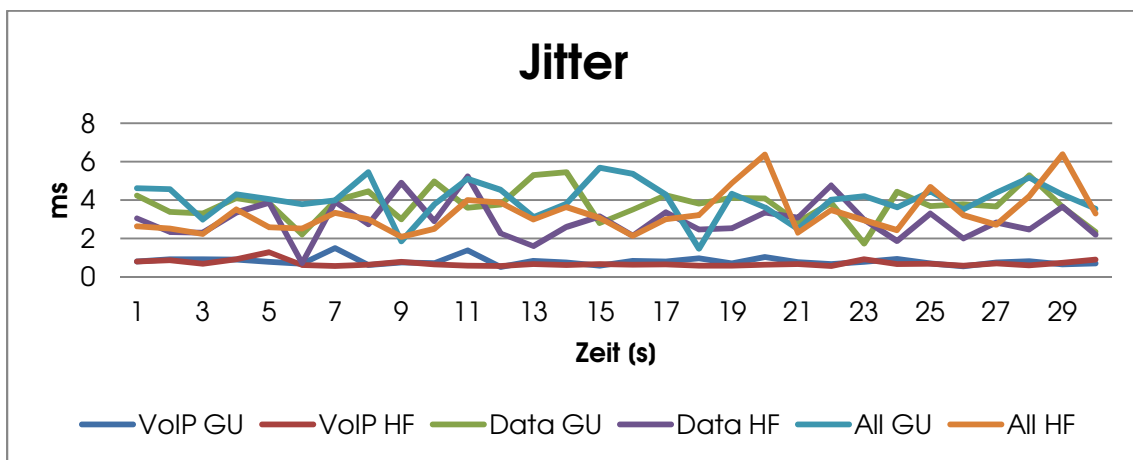
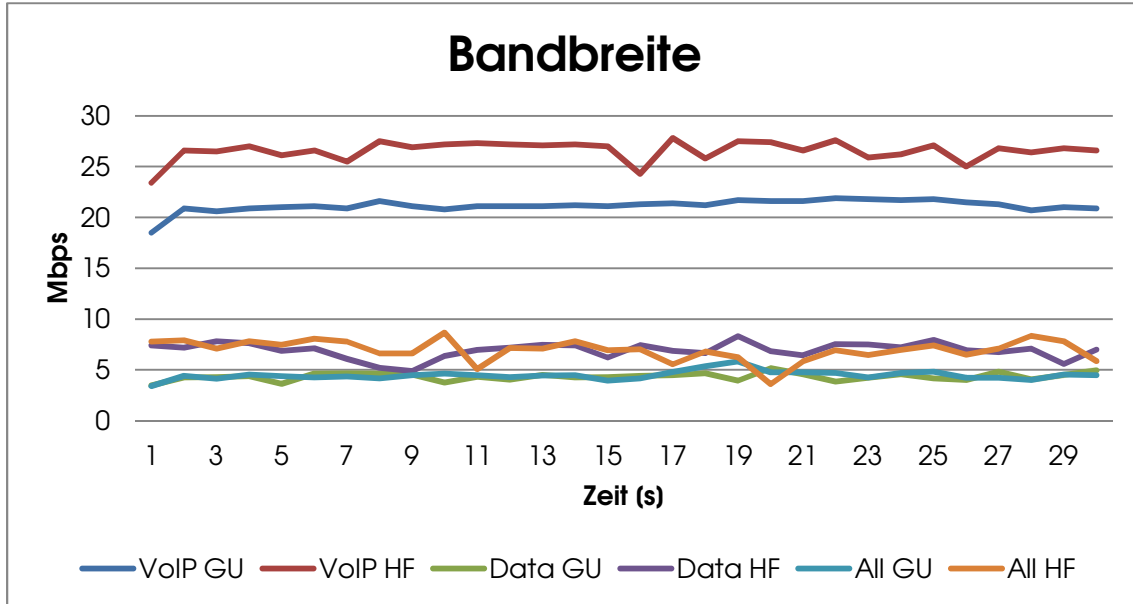


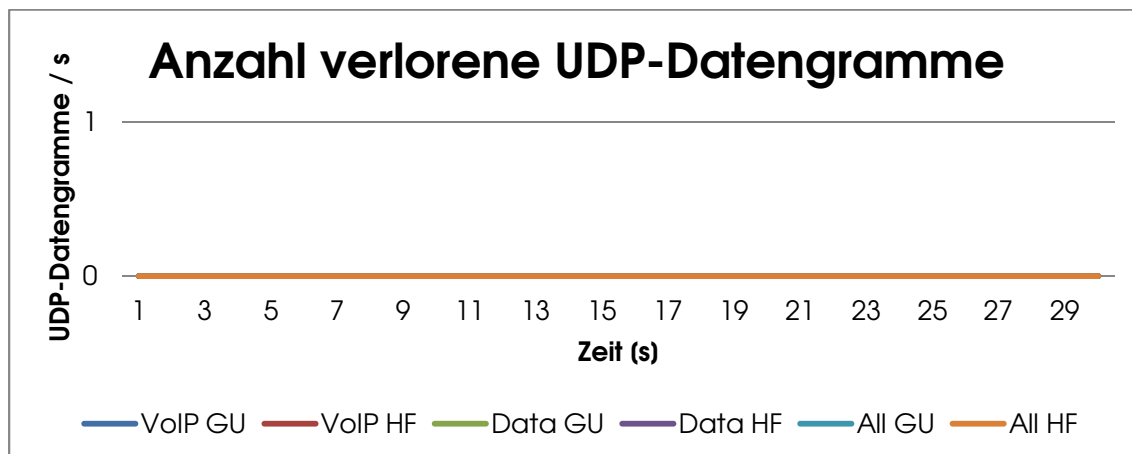
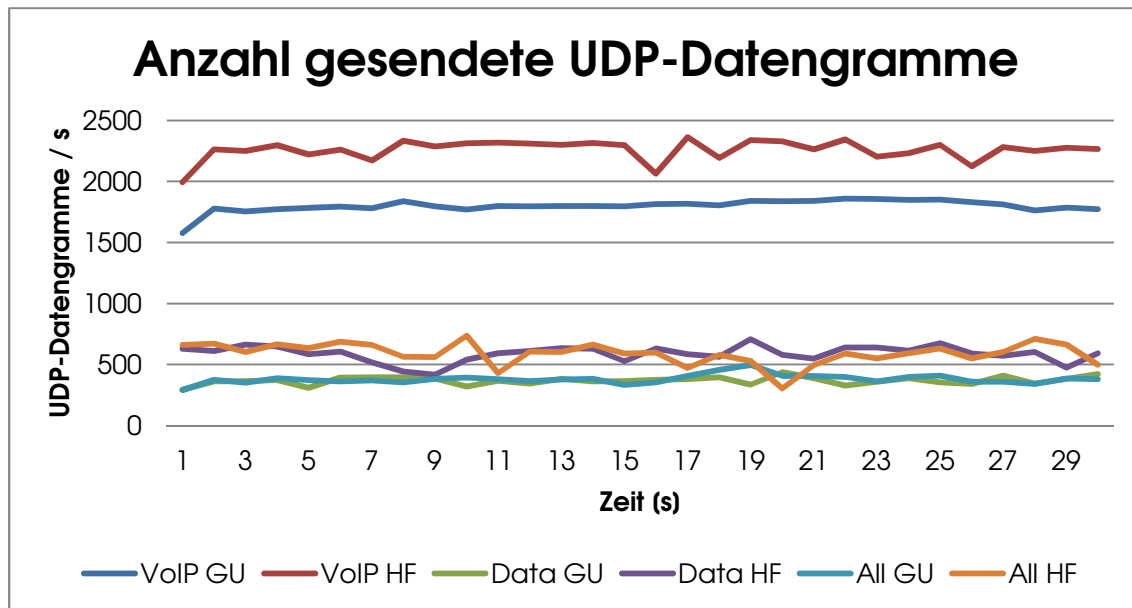
Mit nur VoIP kann festgestellt werden, dass keine Einbussen in der Bandbreite und der Anzahl gesendeter UDP-Datengramme entsteht.

Wenn nur Daten gesendet werden wird ein massiv schlechterer Durchsatz erreicht. Dies trifft auch auf die Kombination VoIP mit Daten zu.

Obwohl sich der Jitter zum Vergleich mit nur VoIP vergrößert entsteht kein UDP-Datengrammverlust.

NETGEAR





Wie bei Cisco kann auch bei Netgear festgestellt werden, dass nur mit VoIP fast keine Einbußen in der Bandbreite und dementsprechend der Anzahl gesendeter UDP-Datengrammen entsteht.

Sehr auffällig ist, dass wenn Daten und Daten mit VoIP gesendet werden ein kleinerer Durchsatz erzielt wird als beim Cisco-Gerät.

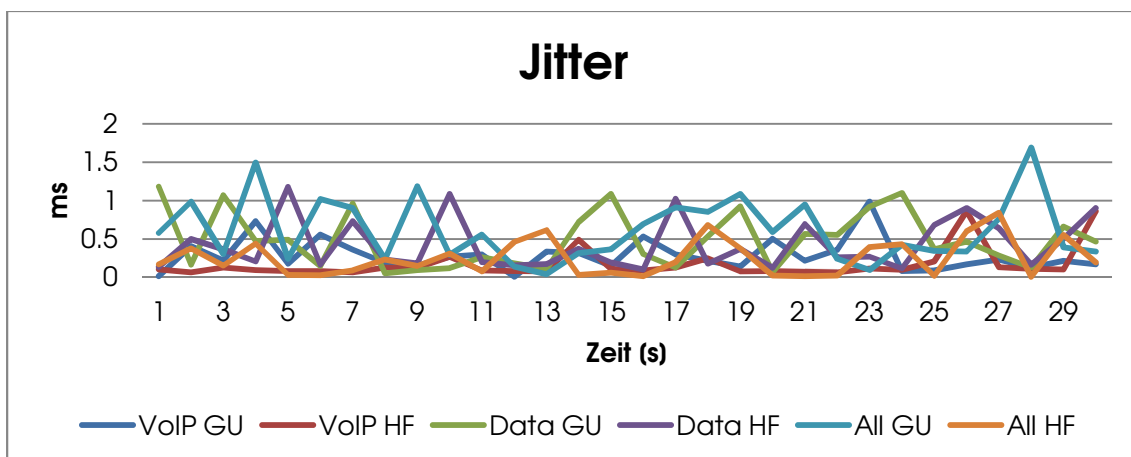
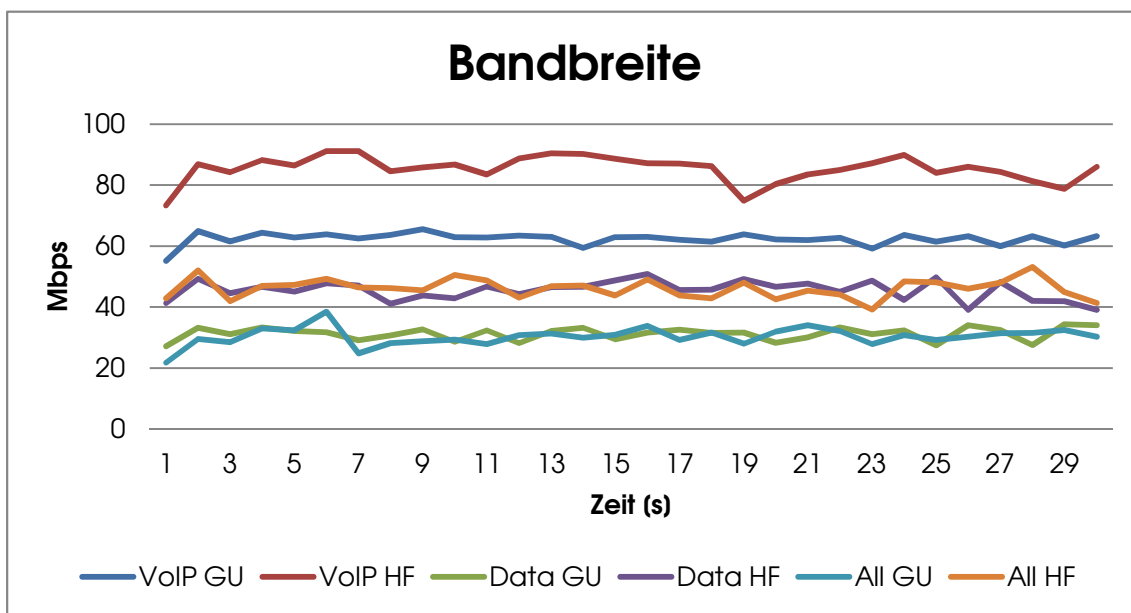
Auch hier ist kein UDP-Datengrammverlust durch den vorhandenen Jitter zu verzeichnen.

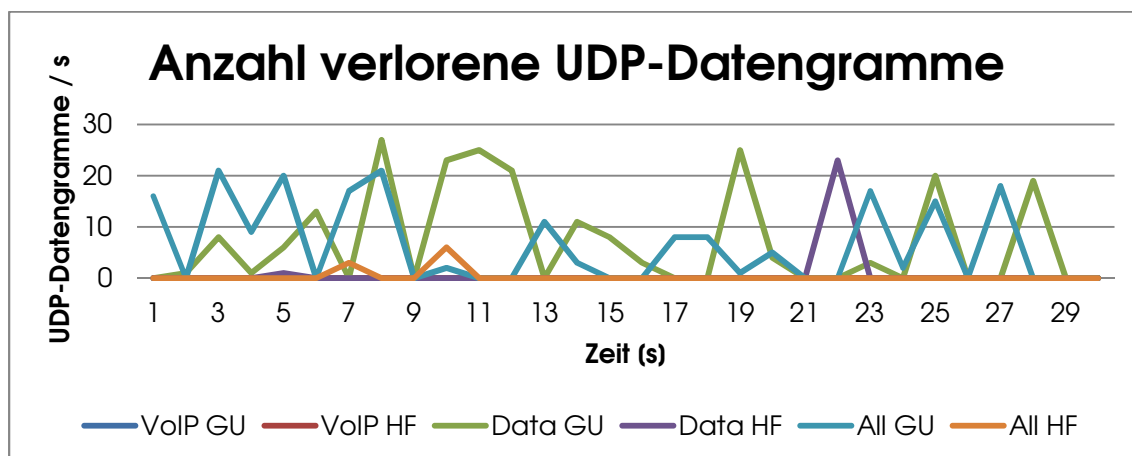
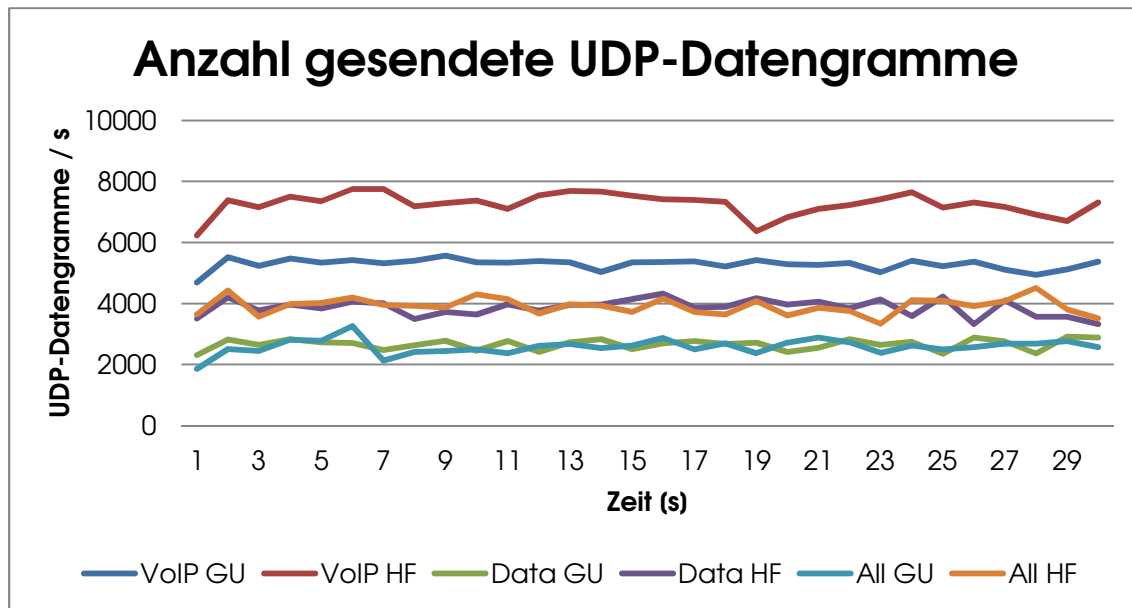
N-STANDARD

2.4-GHZ-FREQUENZBAND

SHORT GUARD, 20 MHZ KANALBREITE

CISCO



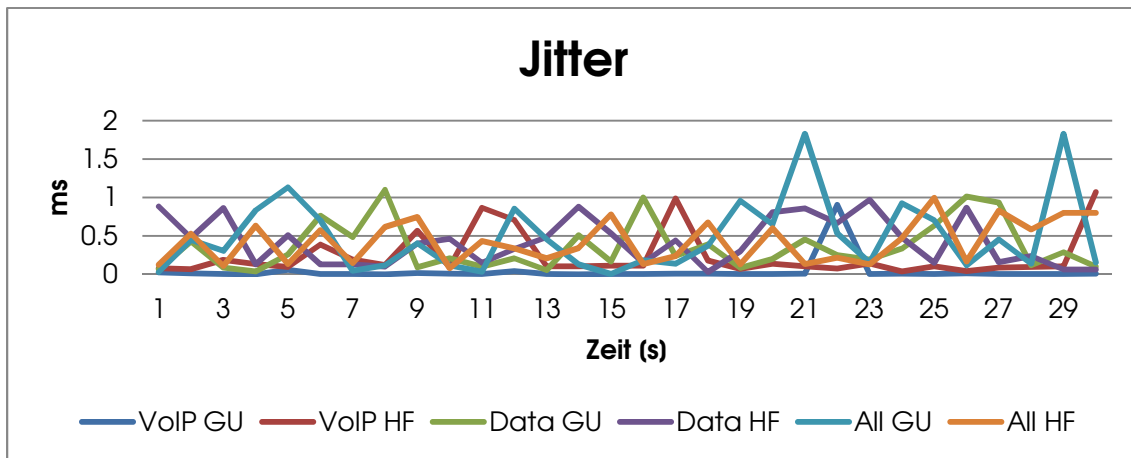
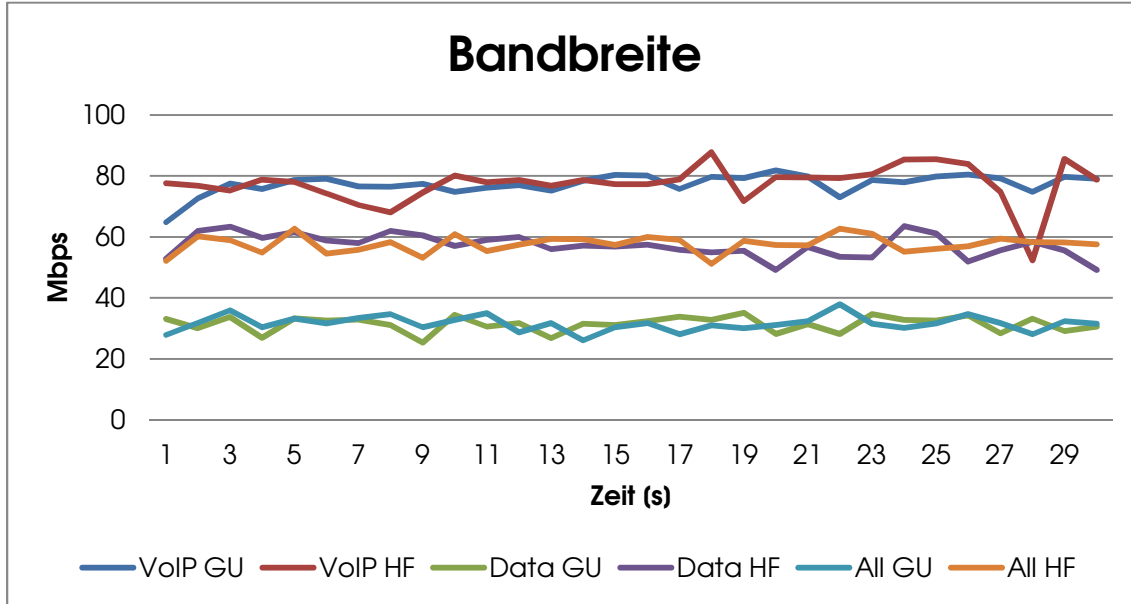


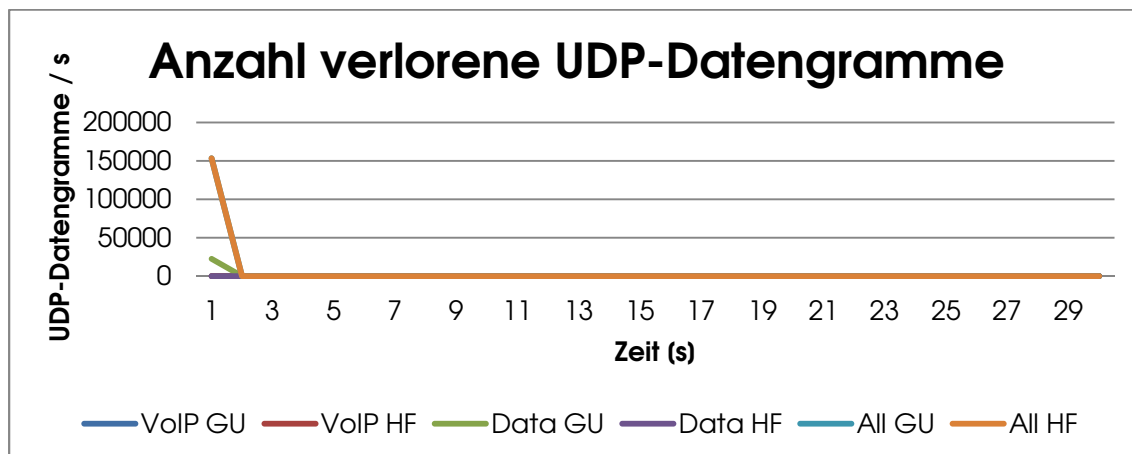
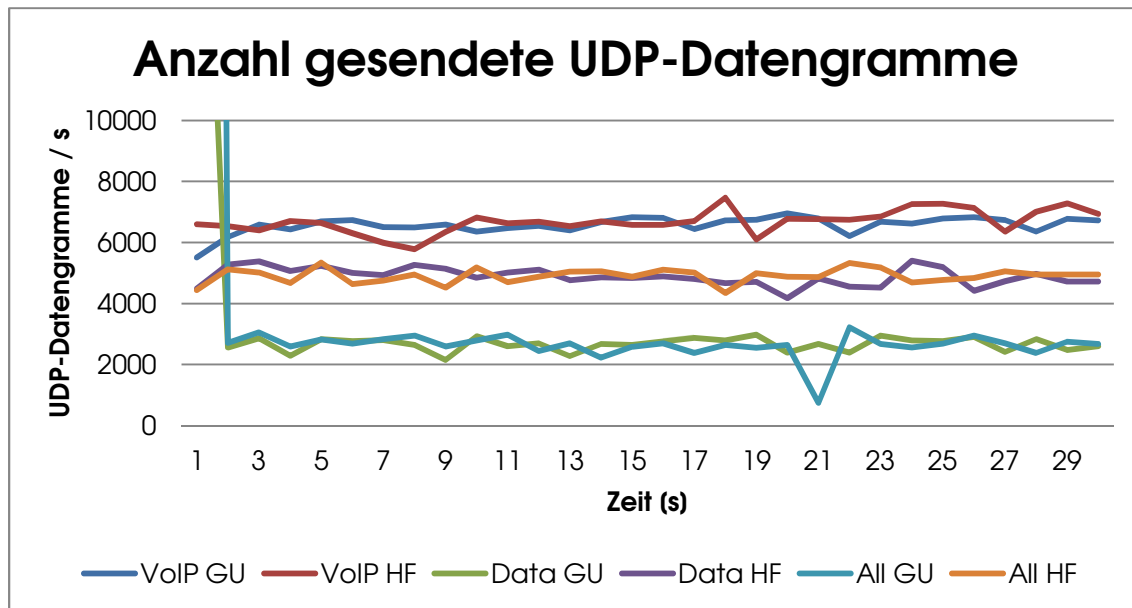
Im gestörten Umfeld ist deutlich erkennbar, dass durch die Interferenzen mit anderen N-Standard-Netzwerken eine höhere UDP-Datengramm-Verlustrate entsteht.

Es ist jedoch im Vergleich zum G-Standard bei den Messungen mit nur VoIP ein Verlust in Bandbreite von ungefähr 10 Mbps zu verzeichnen sowohl in der HF-Kammer als auch im gestörten Umfeld.

Dies hat zur Folge, dass auch die Anzahl der gesendeten UDP-Datengramme um etwa 1000 tiefer ist.

NETGEAR





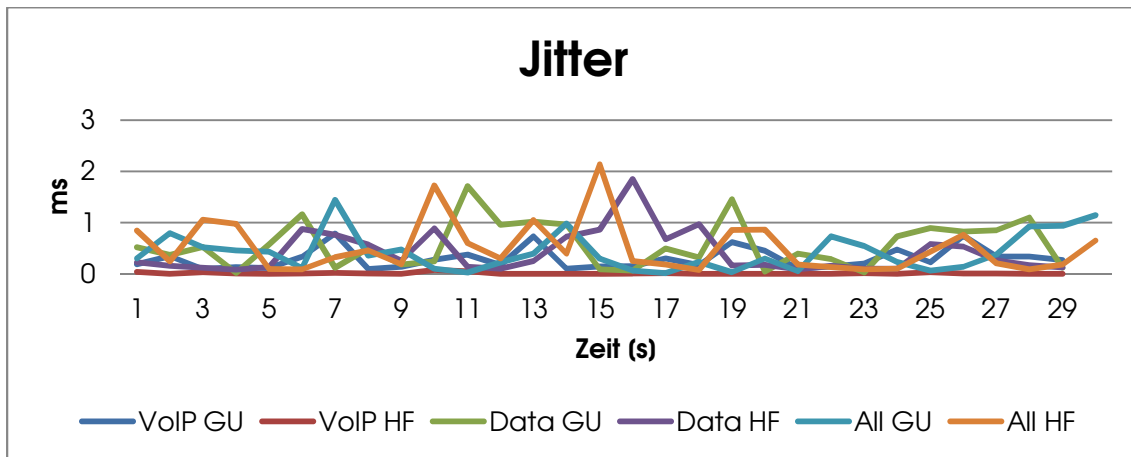
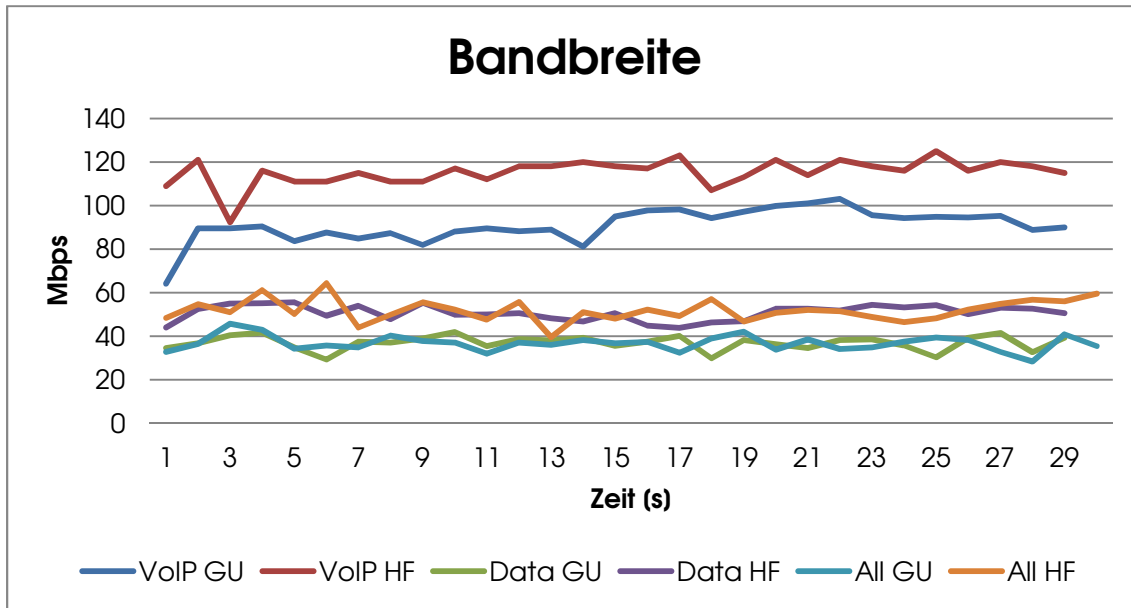
Wiederum ist bei den VoIP-Messungen im Vergleich zum G-Standard ein Verlust in der Bandbreite von ungefähr 10 Mbps zu verzeichnen.

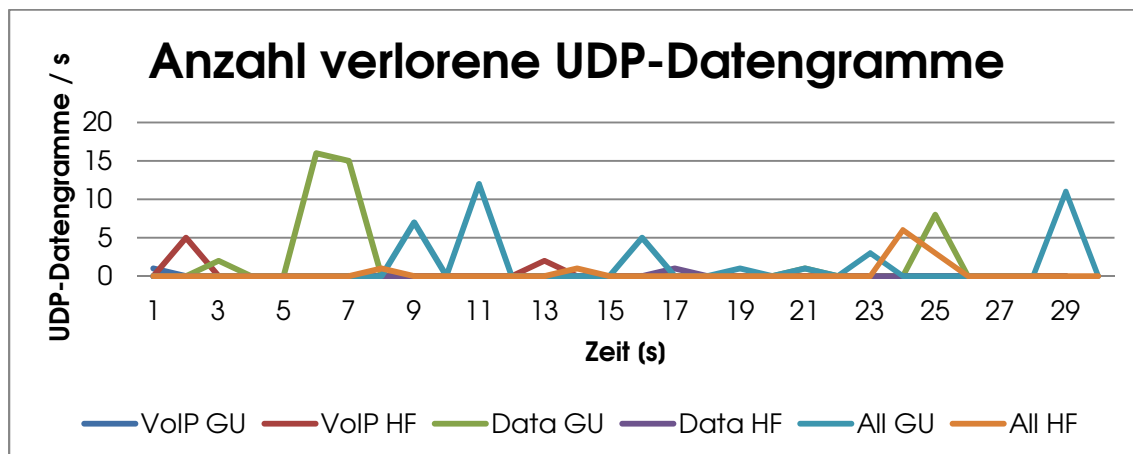
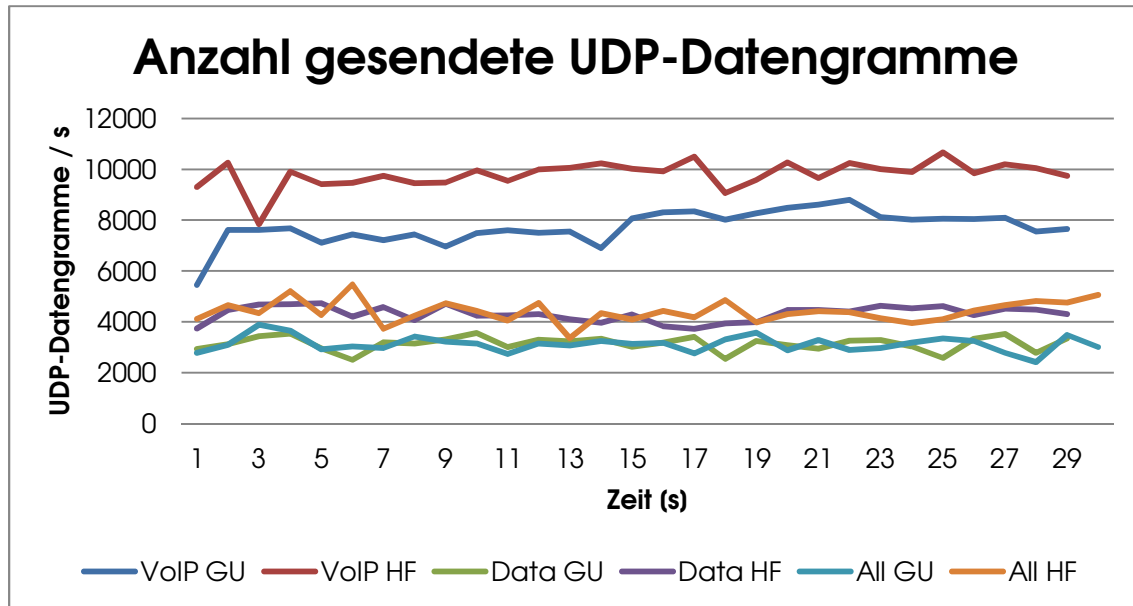
Im gestörten Umfeld mit Daten und VoIP kann eine erhöhte Jitter gemessen werden. Dies führt entsprechend zu einer niedrigeren Anzahl gesendeter UDP-Datengramme.

Sehr merkwürdig bei dieser Messung ist, dass zu Beginn der Messung eine immense Anzahl UDP-Datengramme versendet wurden und entsprechend verloren gingen.

SHORT GUARD, 40 MHZ KANALBREITE

CISCO

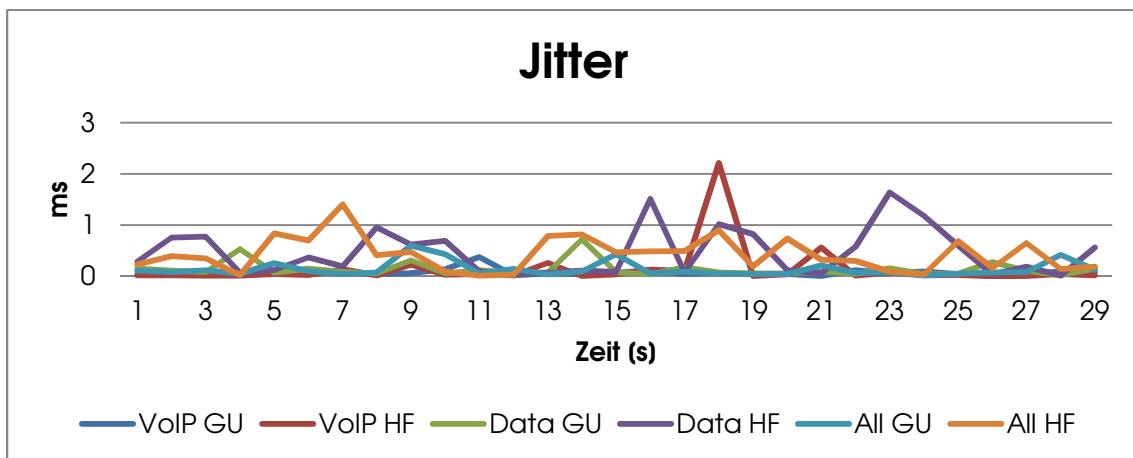
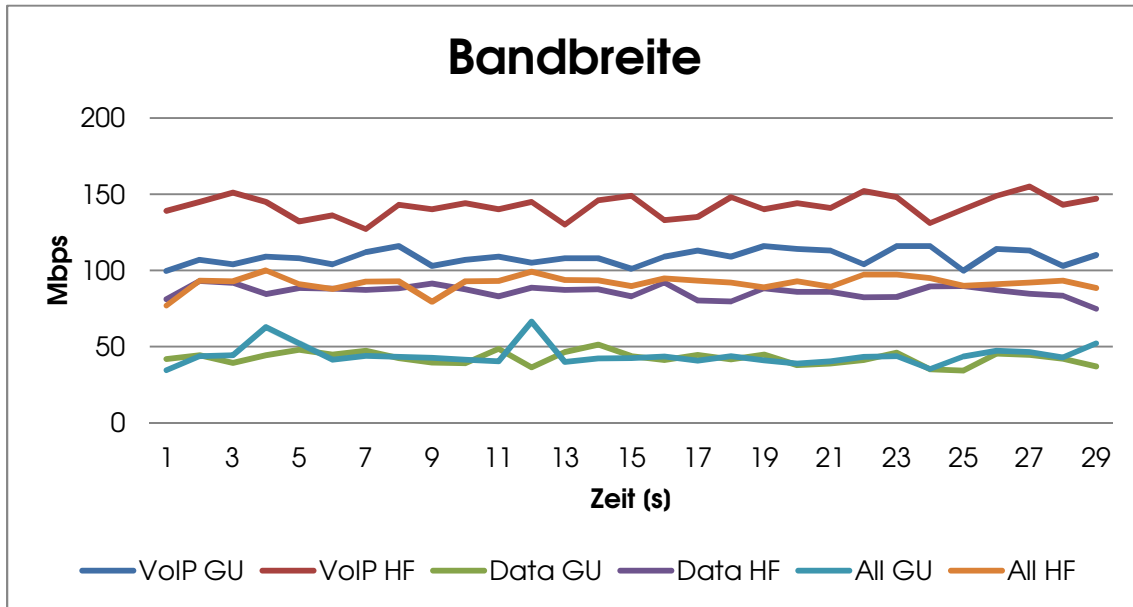


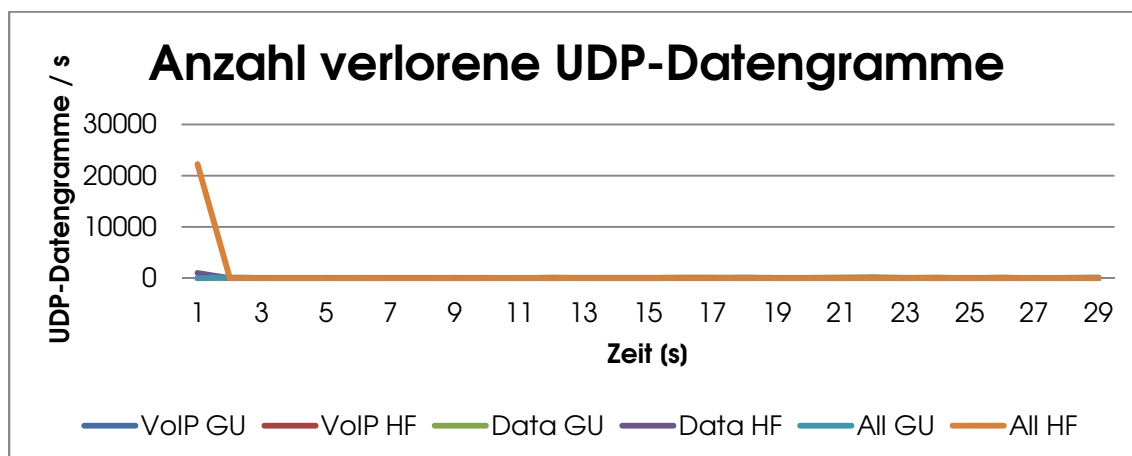
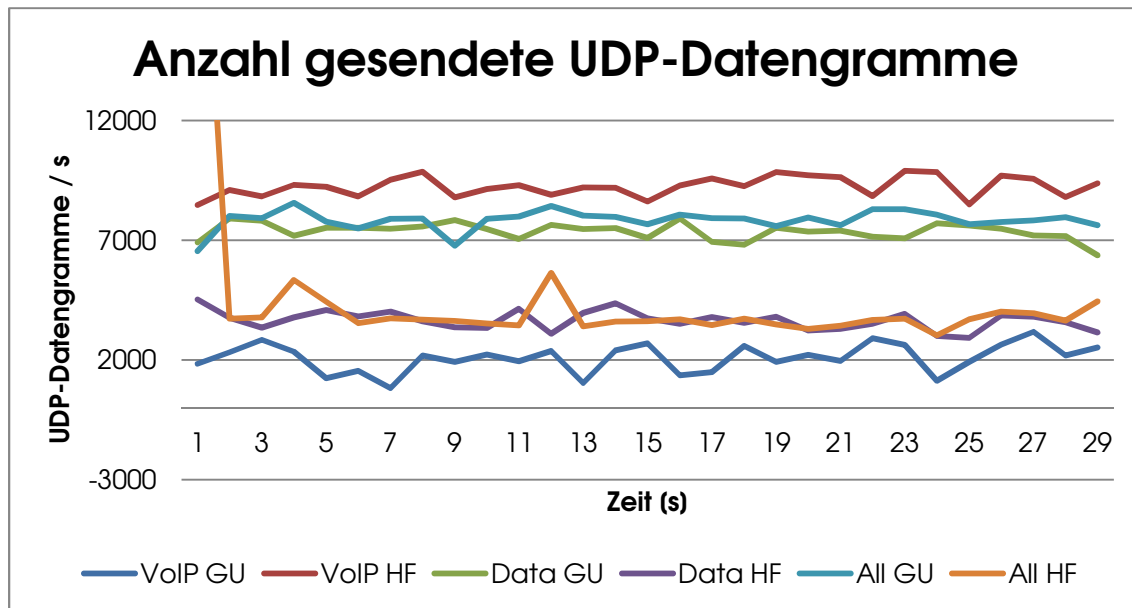


Bei den VoIP-Messungen können keine grossen Differenzen zu den normalen Messungen festgestellt werden.

Durch den konstanten Datenfluss, welcher von uns für die KMU-Umgebung simuliert wurde, entstehen hier wie auch bei den anderen Messungen keine grösseren Schwankungen. Natürlich muss beachtet werden, dass die Interferenzen im gestörten Umfeld eventuell grössere Schwankungen durch Jitter auslösen.

NETGEAR





Die Darstellungen zeigen sehr gut, dass die Performance des Netgear-Geräts im Short Guard 40MHz Kanalbreite Modus um einiges besser sind als das Vergleichsgerät.

Auch in dieser Messung ist zu Beginn eine immense Anzahl UDP-Datengramme versendet worden, welche auch wieder grösstenteils verloren ging.

## FAZIT FÜR KMUS

Mit den von uns erarbeiteten Netzwerkverkehrsmustern und entsprechend resultierenden KMU-Messungen können nun verschiedene Fazits für ein völlig neues Netzwerk, eine Weiterentwicklung oder eine Analyse eines bestehenden Netzwerks erstellt werden.

Unsere Fazits sprechen die Szenarien und deren Teilnehmer in einer quasistatistischen Zelle an.

## GRÜNE WIESE

Unsere Annahme eines KMUs mit zehn Mitarbeitern legt dar, dass bei einer Neuplanung eines Netzwerks es von Interesse sein könnte VoIP und Datenverkehr zu trennen. Im Genaueren heisst dies, dass durch unsere Referenzdaten festgestellt wurde, dass der Durchsatz von Datenverkehr mit zehn Mitarbeitern das Netzwerk schon stark belasten kann.

Als Schlussfolgerung daraus empfehlen wir, da Jitter zu möglichen Verzögerungen in VoIP-Konversationen führen kann, das VoIP-Netzwerk auf ein anderes WLAN-Netzwerk oder entsprechend physikalisches Netzwerk zu separieren.

Während den Messungen wurden Netzwerkverkehrsmuster verwendet, welche der Annahme einer „Internet Usage Policy“ zu Grunde lagen. Dies bedeutet, dass wenn eine solche Policy und eventuell entsprechendes Proxy-Umfeld im WLAN-Netzwerk nicht vorhanden sind, ist die Verkehrslast erhöht. Folglich kann der verfügbare Durchsatz für die gegebenen Aufgaben nicht mehr genügend sein.

## WEITERENTWICKLUNG

Bei einer Weiterentwicklung eines Netzwerks kann nun mit guter Sicherheit gesagt werden, dass der Datenverkehr von zehn Mitarbeitern das Netzwerk sehr stark belastet. Falls nun zusätzlich der VoIP-Service auf das gleiche WLAN-Netzwerk geschaltet wird kann eine entsprechende Teilnehmererweiterung nicht mehr gewährleistet werden. Wenn nun eine solche Teilnehmererweiterung erwünscht ist sollte nicht nur darauf geachtet werden, dass die Datenverkehrslast durch die grössere Anzahl Teilnehmer eventuell verdoppelt sondern auch die Jitterverzögerungen verändert werden.

Daraus resultierend müssen neue Jitter-Messungen erstellt werden. Entsprechen dadurch kann eine Entscheidung zur Verwendung des VoIP-Services über das gleiche WLAN-Netzwerk oder über ein separiertes Netzwerk getroffen werden.

Unsere Referenzdaten legen dar, dass es möglich ist mit zehn Mitarbeitern ohne Probleme bis zu zehn gleichzeitige Telefonate (mit jeweils zwei Teilnehmern) zu führen.

## ANALYSE

Wenn in einem bestehenden Netzwerk ein Problem auftritt kann mit iperf sehr gut festgestellt werden ob der Durchsatz d.h. die Bandbreite und die entsprechende Jitterverzögerungen ungewohnte Werte aufweisen.

Mit unseren Referenzdaten wurde sehr gut ersichtlich, dass der Datenverkehr eine grosse jedoch der VoIP-Verkehr eine kleine Last darstellen.

Eine Änderung von bereits vorhandenen VoIP- und Datenverkehr auf zwei separierte WLANs ist entsprechend bei zehn Mitarbeitern pro Access Point nicht nötig.

## PERSÖNLICHE BERICHTE

### ANGELIQUE VINKESTIJN

Die Studienarbeit als Projekt über ein ganzes Semester war eine neue Erfahrung für mich. Bisher konnte ich zwar über ein ganzes Semester in einer Gruppe kleinere Projekte durchführen, jedoch war die Selbstständigkeit durch die Grösse der Gruppe und die vorgegebene Aufgabe sehr limitiert. Bei dieser Studienarbeit musste ich selber das „Zepter“ in die Hand nehmen und durfte selbstständig entscheiden, wie z.B. die Messungen auszusehen haben oder z.B. welcher Umfang entstehen durfte.

In der HF-Kammer zu arbeiten war sehr interessant für mich. Zu sehen, wie wenn man selbst in der HF-Kammer steht, der Service-Provider Empfang vom Mobiltelefon langsam zu schwinden beginnt und diese Kammer somit wirklich das bietet was sie verspricht. Nämlich ein Umfeld in welchem Messungen durchgeführt werden können, ohne das Störindikatoren vorhanden sind.

Obwohl bei den Netbooks vorzeitig überprüft wurde, dass der N-Standard verfügbar ist, wurde erst bei den Messungen im KMU Umfeld realisiert, dass kein 5 GHz Band unterstützt wird. Somit konnten die Verkehrslastmessungen des N-Standards nur auf dem 2.4 GHz Band durchgeführt werden.

Des Weiteren hätten wir den „Mirror“-Switch für die Verarbeitungszeitmessungen früher bei Herr Rinkel bestellen müssen. Dadurch, dass wir diesen in der letzten Woche der HF-Kammer-Messungen erhalten haben, konnten wir leider diese Messungen nicht erledigen.

Für die Zukunft werde ich sicherlich drauf achten, dass die geplanten Arbeitspakete auch an dem Tag oder der Woche durchgeführt werden, wann diese geplant wurden. Durch eine kleinere Verschiebung in der Mitte der Studienarbeit, wurde unsere Reservezeit teilweise ganz gestrichen. Wir rechneten mit dieser Sicherheit und dies sollte nicht gemacht werden. Die Reservezeit darf nicht eingerechnet werden und muss aussen vor gelassen werden.

Organisatorisch habe ich es sehr positiv empfunden, dass ich mindestens einmal wöchentlich mit Herrn Rinkel zusammensitzen konnte und entsprechend konstant eine Ansprechperson hatte, welche sich Zeit für mich nahm.

Die Arbeit mit Fabian Schweizer hat gut funktioniert und wir konnten vor allem während den Messungen unsere Arbeit gut aufteilen.

## FABIAN SCHWEIZER

Diese Arbeit und die dazugehörige Erfahrung stupe ich als sehr positiv ein. Es war mir möglich viel über verschiedene WLAN-Techniken zu lernen und dieses Wissen auch direkt in den Messungen entsprechend anzuwenden. Mir war es möglich den Aufbau von Messungen zu erlernen, durchzuführen und abschliessend zu analysieren.

Besonders gut an der Arbeit war, dass ich mich einbringen konnte. Die Idee ein KMU-Umfeld zu simulieren und damit zu experimentieren war für mich sehr interessant und aufschlussreich.

Vor dieser Arbeit war mir der Begriff "Traffic Patterns" nicht bekannt. Insofern war es Neuland für mich Netzwerke in verschiedene Lasttypen zu unterteilen und zu sehen wie sich diese auf den Durchsatz auswirken.

Die Zusammenarbeit mit Angelique Vinkestijn gestaltete sich angenehm, sowohl die Aufteilung der Arbeit als auch die Arbeit selbst ging dadurch leicht von der Hand. Die Arbeitsteilung geschah fast von alleine aus der Tatsache heraus, dass Angelique Vinkestijn besser in der Bearbeitung von Dokumenten ist und ich mich lieber um praktische Dinge kümmere. Das Arbeitsklima war stets freundlich.

Unser Betreuer Herr Rinkel war uns stets eine gute Ansprechperson. Die Zusammenarbeit und die wöchentlichen Sitzungen gaben stets Anlass zur Hinterfragung und Vertiefung. Insbesondere die "Traffic Patterns" wurden mir gut erläutert. Das zur Verfügung gestellte Material stand uns rechtzeitig zur Verfügung und war einsatzfähig.

Für mich negativ war, dass die Messungen und deren Analyse mehr Zeit in Anspruch genommen haben als angenommen. Mir war von vorherein bewusst, dass diese Aufgaben zeitaufwändig sind, dennoch hatte ich den Aufwand unterschätzt.

Teils waren Messungen unvollständig oder nicht korrekt und mussten wiederholt durchgeführt werden. Als Lehre daraus ziehe ich, dass ich die Messresultate einzeln überprüfen muss bevor ich die Konfiguration ändere. Dies hatte ich nicht nach jedem Durchgang gemacht weshalb Messungen erneut durchgeführt werden mussten, was viel Zeit beanspruchte.

Auch als negativ empfand ich, dass ich ausserhalb der Studienzeit sehr wenig Zeit finden konnte um an dieser Arbeit zu arbeiten.

Für zukünftige Arbeiten bleibt mir, dass ich mehr Zeit für Unerwartetes sowie für Auswertungen und Dokumentation einplanen muss. Auch nehme ich mit, dass Arbeiten jeweils direkt danach kontrolliert werden sollten um Mehraufwand zu vermeiden.

## LITERATURVERZEICHNIS

- (1) Fabian Beck, „Aufbau und Entwicklung einer WLAN-Messumgebung zur Untersuchung de QoS des G- und N-Standards“, Juni 2012
- (2) Cisco, Traffic analysis for Voice over IP, Juni 2007  
[http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/solutions\\_docs/voip\\_solutions/TA\\_ISD.html](http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/solutions_docs/voip_solutions/TA_ISD.html)
- (3) Chen-Chi Wu, Kuan-Ta Chen, Yu-Chun Chang und Chin-Laung Lei, Detecting VoIP Traffic Based on Human Conversation Patterns, 2008  
[http://mmnet.iis.sinica.edu.tw/pub/wu08\\_voip.pdf](http://mmnet.iis.sinica.edu.tw/pub/wu08_voip.pdf)
- (4) Bundesamt für Kommunikation BAKOM, Amtliche Fernmeldestatistik 2010, 3. April 2012
- (5) Stackoverflow, September 2009  
<http://stackoverflow.com/questions/1378476/http-get-request-packet-size-in-bytes>
- (6) Federal Communications Commision, Broadband Speed Guide, July 2012  
<http://www.fcc.gov/guides/broadband-speed-guide>
- (7) Neal Müller, My E-Mail Usage, Dezember 2009  
<http://www.nealmueller.com/2009/12/my-email-usage/>
- (8) Princeton University, Print Statistics, November 2012  
<http://printquota.princeton.edu/Public.aspx>
- (9) CISCO, „Administrator Guide – WAP4410N Wireless-N Access Point with Power Over Ethernet“, 2009
- (10) Netgear, Data Sheet, 2009
- (11) NLANR/DAST, iperf, 18. März 2008  
<http://iperf.sourceforge.net/>
- (12) Vistumbler, 18. Oktober 2012  
<http://www.vistumbler.net/>

PROJEKTDOKUMENTE

PROJEKTPLAN

	SOLL	IST	17.09.12	18.09.12	19.09.12	20.09.12	21.09.12	22.09.12	23.09.12	24.09.12	25.09.12	26.09.12	27.09.12	28.09.12	29.09.12
<b>Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn</b>	<b>238.00</b>	<b>231.00</b>													
<b>Verfügbarkeit - Fabian Schweizer</b>	<b>238.00</b>	<b>189.00</b>													
<b>Besprechungen</b>	<b>28.00</b>	<b>26.00</b>													
Angelique Vinkestijn		13.00										1.00			
Fabian Schweizer		13.00									1.00				
<b>Projektarbeit</b>	<b>64.00</b>	<b>52.00</b>													
Erstellung Aufgabenbeschrieb															
Angelique Vinkestijn		8.00			2.00	2.00									2.00
Fabian Schweizer		4.00			2.00	2.00									
Projektplan, Zeiterfassung, Arbeitspakete, Risikoanalyse															
Angelique Vinkestijn		13.00									2.00	4.00	2.00		
Fabian Schweizer		8.00									2.00	4.00	2.00		
Durcharbeitung SA Dokumentation Fabian Beck															
Angelique Vinkestijn		8.00									2.00	2.00	2.00		
Fabian Schweizer		8.00									2.00	2.00	2.00		
Theorie- & Konfigurationsbeschreibungen															
Angelique Vinkestijn		2.00													
Fabian Schweizer		1.00													
<b>Wiederherstellung Umgebung &amp; zusätzliche Messungen</b>	<b>160.00</b>	<b>116.00</b>													
Wiederherstellung Messumgebung															
Angelique Vinkestijn		30.00													
Fabian Schweizer		18.00													
Zusätzliche Messungen															
RTT Messungen															
Angelique Vinkestijn		6.00													
Fabian Schweizer		8.00													
Durchsatzmessungen															
Angelique Vinkestijn		33.00													
Fabian Schweizer		21.00													
<b>Umgebung &amp; Messungen KMU</b>	<b>112.00</b>	<b>87.00</b>													
Umgebung KMU															
Angelique Vinkestijn		15.00													
Fabian Schweizer		11.00													
Messungen KMU															
Angelique Vinkestijn		36.00													
Fabian Schweizer		25.00													
<b>Messungen im HF</b>	<b>48.00</b>	<b>41.00</b>													
Durchsatzmessungen															
Angelique Vinkestijn		9.00													
Fabian Schweizer		11.00													
Messungen KMU															
Angelique Vinkestijn		11.00													
Fabian Schweizer		10.00													
<b>Fazit für KMUs</b>	<b>32.00</b>	<b>30.00</b>													
Angelique Vinkestijn		14.00													
Fabian Schweizer		16.00													
<b>Projektabschluss</b>	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>													
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten															
Angelique Vinkestijn		33.00													
Fabian Schweizer		35.00													

	SOLL	IST	30.09.12	01.10.12	02.10.12	03.10.12	04.10.12	05.10.12	06.10.12	07.10.12	08.10.12	09.10.12	10.10.12	11.10.12
<b>Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn</b>	<b>238.00</b>	<b>231.00</b>												
<b>Verfügbarkeit - Fabian Schweizer</b>	<b>238.00</b>	<b>189.00</b>												
<b>Besprechungen</b>	<b>28.00</b>	<b>26.00</b>												
Angelique Vinkestijn		13.00		1.00							1.00			1.00
Fabian Schweizer		13.00		1.00							1.00			1.00
<b>Projekteinarbeitung</b>	<b>64.00</b>	<b>52.00</b>												
Erstellung Aufgabenbeschrieb														
Angelique Vinkestijn		8.00		2.00										
Fabian Schweizer		4.00												
Projektplan, Zeiterfassung, Arbeitspakete, Risikoanalyse														
Angelique Vinkestijn		13.00		0.50										
Fabian Schweizer		8.00												
Durcharbeitung SA Dokumentation Fabian Beck														
Angelique Vinkestijn		8.00		2.00										
Fabian Schweizer		8.00		2.00										
Theorie- & Konfigurationsbeschreibungen														
Angelique Vinkestijn		2.00		2.00										
Fabian Schweizer		1.00		1.00										
<b>Wiederherstellung Umgebung &amp; zusätzliche Messungen</b>	<b>160.00</b>	<b>116.00</b>												
Wiederherstellung Messumgebung														
Angelique Vinkestijn		30.00			5.00	4.00						5.00	6.00	
Fabian Schweizer		18.00			5.00	4.00						5.00	4.00	
Zusätzliche Messungen														
RTT Messungen														
Angelique Vinkestijn		6.00				2.00						2.00	2.00	
Fabian Schweizer		8.00			2.00	2.00						2.00	2.00	
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		21.00												
<b>Umgebung &amp; Messungen KMU</b>	<b>112.00</b>	<b>87.00</b>												
Umgebung KMU														
Angelique Vinkestijn		15.00										1.00	1.00	
Fabian Schweizer		11.00										1.00	1.00	
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		36.00												
Fabian Schweizer		25.00												
<b>Messungen im HF</b>	<b>48.00</b>	<b>41.00</b>												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		9.00												
Fabian Schweizer		11.00												
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		11.00												
Fabian Schweizer		10.00												
<b>Fazit für KMUs</b>	<b>32.00</b>	<b>30.00</b>												
Angelique Vinkestijn		14.00												
Fabian Schweizer		16.00												
<b>Projektabschluss</b>	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>												
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		35.00												

	SOLL	IST	12.10.12	13.10.12	14.10.12	15.10.12	16.10.12	17.10.12	18.10.12	19.10.12	20.10.12	21.10.12	22.10.12	23.10.12
<b>Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn</b>	<b>238.00</b>	<b>231.00</b>												
<b>Verfügbarkeit - Fabian Schweizer</b>	<b>238.00</b>	<b>189.00</b>												
<b>Besprechungen</b>	<b>28.00</b>	<b>26.00</b>												
Angelique Vinkestijn		13.00				1.00							1.00	
Fabian Schweizer		13.00				1.00								
<b>Projekteinarbeitung</b>	<b>64.00</b>	<b>52.00</b>												
Erstellung Aufgabenbeschrieb														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		4.00												
Projektplan, Zeiterfassung, Arbeitspakete, Risikoanalyse														
Angelique Vinkestijn		13.00			1.50	3.00								
Fabian Schweizer		8.00												
Durcharbeitung SA Dokumentation Fabian Beck														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Theorie- & Konfigurationsbeschreibungen														
Angelique Vinkestijn		2.00												
Fabian Schweizer		1.00												
<b>Wiederherstellung Umgebung &amp; zusätzliche Messungen</b>	<b>160.00</b>	<b>116.00</b>												
Wiederherstellung Messumgebung														
Angelique Vinkestijn		30.00			2.00			2.00					3.00	
Fabian Schweizer		18.00												
Zusätzliche Messungen														
RTT Messungen														
Angelique Vinkestijn		6.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		33.00						5.00	5.00					
Fabian Schweizer		21.00						5.00	4.00					
<b>Umgebung &amp; Messungen KMU</b>	<b>112.00</b>	<b>87.00</b>												
Umgebung KMU														
Angelique Vinkestijn		15.00												
Fabian Schweizer		11.00												
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		36.00												
Fabian Schweizer		25.00												
<b>Messungen im HF</b>	<b>48.00</b>	<b>41.00</b>												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		9.00												
Fabian Schweizer		11.00												
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		11.00												
Fabian Schweizer		10.00												
<b>Fazit für KMUs</b>	<b>32.00</b>	<b>30.00</b>												
Angelique Vinkestijn		14.00												
Fabian Schweizer		16.00												
<b>Projektabschluss</b>	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>												
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		35.00												

	SOLL	IST	24.10.12	25.10.12	26.10.12	27.10.12	28.10.12	29.10.12	30.10.12	31.10.12	01.11.12	02.11.12	03.11.12	04.11.12
<b>Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn</b>	<b>238.00</b>	<b>231.00</b>												
<b>Verfügbarkeit - Fabian Schweizer</b>	<b>238.00</b>	<b>189.00</b>												
<b>Besprechungen</b>	<b>28.00</b>	<b>26.00</b>												
Angelique Vinkestijn		13.00						1.00						
Fabian Schweizer		13.00						1.00						
<b>Projekteinarbeitung</b>	<b>64.00</b>	<b>52.00</b>												
Erstellung Aufgabenbeschrieb														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		4.00												
Projektplan, Zeiterfassung, Arbeitspakete, Risikoanalyse														
Angelique Vinkestijn		13.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Durcharbeitung SA Dokumentation Fabian Beck														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Theorie- & Konfigurationsbeschreibungen														
Angelique Vinkestijn		2.00												
Fabian Schweizer		1.00												
<b>Wiederherstellung Umgebung &amp; zusätzliche Messungen</b>	<b>160.00</b>	<b>116.00</b>												
Wiederherstellung Messumgebung														
Angelique Vinkestijn		30.00						3.00						
Fabian Schweizer		18.00												
Zusätzliche Messungen														
RTT Messungen														
Angelique Vinkestijn		6.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		33.00	3.00	3.00						8.00	6.00			3.00
Fabian Schweizer		21.00								8.00	4.00			
<b>Umgebung &amp; Messungen KMU</b>	<b>112.00</b>	<b>87.00</b>												
Umgebung KMU														
Angelique Vinkestijn		15.00	1.00	1.00										
Fabian Schweizer		11.00												
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		36.00												
Fabian Schweizer		25.00												
<b>Messungen im HF</b>	<b>48.00</b>	<b>41.00</b>												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		9.00												
Fabian Schweizer		11.00												
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		11.00												
Fabian Schweizer		10.00												
<b>Fazit für KMUs</b>	<b>32.00</b>	<b>30.00</b>												
Angelique Vinkestijn		14.00												
Fabian Schweizer		16.00												
<b>Projektabschluss</b>	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>												
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		35.00												

	SOLL	IST	05.11.12	06.11.12	07.11.12	08.11.12	09.11.12	10.11.12	11.11.12	12.11.12	13.11.12	14.11.12	15.11.12	16.11.12
<b>Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn</b>	<b>238.00</b>	<b>231.00</b>												
<b>Verfügbarkeit - Fabian Schweizer</b>	<b>238.00</b>	<b>189.00</b>												
<b>Besprechungen</b>	<b>28.00</b>	<b>26.00</b>												
Angelique Vinkestijn		13.00				1.00							1.00	
Fabian Schweizer		13.00				1.00							1.00	
<b>Projekteinarbeitung</b>	<b>64.00</b>	<b>52.00</b>												
Erstellung Aufgabenbeschrieb														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		4.00												
Projektplan, Zeiterfassung, Arbeitspakete, Risikoanalyse														
Angelique Vinkestijn		13.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Durcharbeitung SA Dokumentation Fabian Beck														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Theorie- & Konfigurationsbeschreibungen														
Angelique Vinkestijn		2.00												
Fabian Schweizer		1.00												
<b>Wiederherstellung Umgebung &amp; zusätzliche Messungen</b>	<b>160.00</b>	<b>116.00</b>												
Wiederherstellung Messumgebung														
Angelique Vinkestijn		30.00												
Fabian Schweizer		18.00												
Zusätzliche Messungen														
RTT Messungen														
Angelique Vinkestijn		6.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		21.00												
<b>Umgebung &amp; Messungen KMU</b>	<b>112.00</b>	<b>87.00</b>												
Umgebung KMU														
Angelique Vinkestijn		15.00		5.00	6.00									
Fabian Schweizer		11.00		5.00	4.00									
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		36.00										6.00	4.00	
Fabian Schweizer		25.00										6.00	4.00	
<b>Messungen im HF</b>	<b>48.00</b>	<b>41.00</b>												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		9.00												
Fabian Schweizer		11.00												
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		11.00												
Fabian Schweizer		10.00												
<b>Fazit für KMUs</b>	<b>32.00</b>	<b>30.00</b>												
Angelique Vinkestijn		14.00												
Fabian Schweizer		16.00												
<b>Projektabschluss</b>	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>												
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		35.00												

	SOLL	IST	17.11.12	18.11.12	19.11.12	20.11.12	21.11.12	22.11.12	23.11.12	24.11.12	25.11.12	26.11.12	27.11.12	28.11.12
<b>Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn</b>	<b>238.00</b>	<b>231.00</b>												
<b>Verfügbarkeit - Fabian Schweizer</b>	<b>238.00</b>	<b>189.00</b>												
<b>Besprechungen</b>	<b>28.00</b>	<b>26.00</b>												
Angelique Vinkestijn		13.00												
Fabian Schweizer		13.00					1.00							
<b>Projekteinarbeitung</b>	<b>64.00</b>	<b>52.00</b>												
Erstellung Aufgabenbeschrieb														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		4.00												
Projektplan, Zeiterfassung, Arbeitspakete, Risikoanalyse														
Angelique Vinkestijn		13.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Durcharbeitung SA Dokumentation Fabian Beck														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Theorie- & Konfigurationsbeschreibungen														
Angelique Vinkestijn		2.00												
Fabian Schweizer		1.00												
<b>Wiederherstellung Umgebung &amp; zusätzliche Messungen</b>	<b>160.00</b>	<b>116.00</b>												
Wiederherstellung Messumgebung														
Angelique Vinkestijn		30.00												
Fabian Schweizer		18.00												
Zusätzliche Messungen														
RTT Messungen														
Angelique Vinkestijn		6.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		21.00												
<b>Umgebung &amp; Messungen KMU</b>	<b>112.00</b>	<b>87.00</b>												
Umgebung KMU														
Angelique Vinkestijn		15.00												
Fabian Schweizer		11.00												
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		36.00	3.00	3.00			3.00	3.00						3.00
Fabian Schweizer		25.00					3.00	2.00						3.00
<b>Messungen im HF</b>	<b>48.00</b>	<b>41.00</b>												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		9.00					3.00	3.00						3.00
Fabian Schweizer		11.00					3.00	2.00				3.00		3.00
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		11.00												
Fabian Schweizer		10.00												
<b>Fazit für KMUs</b>	<b>32.00</b>	<b>30.00</b>												
Angelique Vinkestijn		14.00												
Fabian Schweizer		16.00												
<b>Projektabschluss</b>	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>												
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		35.00												

	SOLL	IST	29.11.12	30.11.12	01.12.12	02.12.12	03.12.12	04.12.12	05.12.12	06.12.12	07.12.12	08.12.12	09.12.12	10.12.12
<b>Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn</b>	<b>238.00</b>	<b>231.00</b>												
<b>Verfügbarkeit - Fabian Schweizer</b>	<b>238.00</b>	<b>189.00</b>												
<b>Besprechungen</b>	<b>28.00</b>	<b>26.00</b>												
Angelique Vinkestijn		13.00	1.00						1.00					
Fabian Schweizer		13.00	1.00						1.00					
<b>Projekteinarbeitung</b>	<b>64.00</b>	<b>52.00</b>												
Erstellung Aufgabenbeschrieb														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		4.00												
Projektplan, Zeiterfassung, Arbeitspakete, Risikoanalyse														
Angelique Vinkestijn		13.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Durcharbeitung SA Dokumentation Fabian Beck														
Angelique Vinkestijn		8.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Theorie- & Konfigurationsbeschreibungen														
Angelique Vinkestijn		2.00												
Fabian Schweizer		1.00												
<b>Wiederherstellung Umgebung &amp; zusätzliche Messungen</b>	<b>160.00</b>	<b>116.00</b>												
Wiederherstellung Messumgebung														
Angelique Vinkestijn		30.00												
Fabian Schweizer		18.00												
Zusätzliche Messungen														
RTT Messungen														
Angelique Vinkestijn		6.00												
Fabian Schweizer		8.00												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		21.00												
<b>Umgebung &amp; Messungen KMU</b>	<b>112.00</b>	<b>87.00</b>												
Umgebung KMU														
Angelique Vinkestijn		15.00												
Fabian Schweizer		11.00												
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		36.00	3.00	1.00	1.00				3.00	3.00				
Fabian Schweizer		25.00	2.00						3.00	2.00				
<b>Messungen im HF</b>	<b>48.00</b>	<b>41.00</b>												
Durchsatzmessungen														
Angelique Vinkestijn		9.00												
Fabian Schweizer		11.00												
Messungen KMU														
Angelique Vinkestijn		11.00	3.00	1.00	1.00				3.00	3.00				
Fabian Schweizer		10.00	2.00						3.00	2.00				
<b>Fazit für KMUs</b>	<b>32.00</b>	<b>30.00</b>												
Angelique Vinkestijn		14.00												
Fabian Schweizer		16.00										3.00	3.00	
<b>Projektabschluss</b>	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>												
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten														
Angelique Vinkestijn		33.00												
Fabian Schweizer		35.00												

	SOLL	IST	11.12.12	12.12.12	13.12.12	14.12.12	15.12.12	16.12.12	17.12.12	18.12.12	19.12.12	20.12.12	21.12.12
<b>Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn</b>	<b>238.00</b>	<b>231.00</b>											
<b>Verfügbarkeit - Fabian Schweizer</b>	<b>238.00</b>	<b>189.00</b>											
<b>Besprechungen</b>	<b>28.00</b>	<b>26.00</b>											
Angelique Vinkestijn		13.00		1.00								1.00	
Fabian Schweizer		13.00		1.00								1.00	
<b>Projekteinarbeitung</b>	<b>64.00</b>	<b>52.00</b>											
Erstellung Aufgabenbeschrieb													
Angelique Vinkestijn		8.00											
Fabian Schweizer		4.00											
Projektplan, Zeiterfassung, Arbeitspakete, Risikoanalyse													
Angelique Vinkestijn		13.00											
Fabian Schweizer		8.00											
Durcharbeitung SA Dokumentation Fabian Beck													
Angelique Vinkestijn		8.00											
Fabian Schweizer		8.00											
Theorie- & Konfigurationsbeschreibungen													
Angelique Vinkestijn		2.00											
Fabian Schweizer		1.00											
<b>Wiederherstellung Umgebung &amp; zusätzliche Messungen</b>	<b>160.00</b>	<b>116.00</b>											
Wiederherstellung Messumgebung													
Angelique Vinkestijn		30.00											
Fabian Schweizer		18.00											
Zusätzliche Messungen													
RTT Messungen													
Angelique Vinkestijn		6.00											
Fabian Schweizer		8.00											
Durchsatzmessungen													
Angelique Vinkestijn		33.00											
Fabian Schweizer		21.00											
<b>Umgebung &amp; Messungen KMU</b>	<b>112.00</b>	<b>87.00</b>											
Umgebung KMU													
Angelique Vinkestijn		15.00											
Fabian Schweizer		11.00											
Messungen KMU													
Angelique Vinkestijn		36.00											
Fabian Schweizer		25.00											
<b>Messungen im HF</b>	<b>48.00</b>	<b>41.00</b>											
Durchsatzmessungen													
Angelique Vinkestijn		9.00											
Fabian Schweizer		11.00											
Messungen KMU													
Angelique Vinkestijn		11.00											
Fabian Schweizer		10.00		3.00									
<b>Fazit für KMUs</b>	<b>32.00</b>	<b>30.00</b>											
Angelique Vinkestijn		14.00	2.00	6.00	6.00								
Fabian Schweizer		16.00		6.00	4.00								
<b>Projektabschluss</b>	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>											
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten													
Angelique Vinkestijn		33.00					6.00	6.00		8.00	9.00	4.00	
Fabian Schweizer		35.00		2.00			6.00	6.00		8.00	9.00	4.00	

## RISIKOANALYSE

Risikoanalyse									
Risk ID	Risiko	Auswirkung	Massnahme	Kosten der Massnahmen in Zeit	Max. Schaden	Wahrscheinlichkeit des Eintreffens	Gewichteter Schaden in h	Priorität	
R01	Messgeräte stehen für Messungen nicht zur Verfügung	Messungen verspäten sich	Termin für Messungen bekannt geben	30 Minuten	40	15%	6	mittel	
R02	Messgeräte funktionieren nicht	Messungen verspäten sich		-	40	5%	2	niedrig	
R03	Messgeräte werden gestohlen	Messungen verspäten sich	Messgeräte in persönlichem Spint einschliessen	5 Min. / Tag	40	10%	4	mittel	
R04	HF-Kammer steht nicht zur Verfügung	Messungen verspäten sich	Termine frühzeitig festlegen	10 Minuten	40	5%	2	hoch	
R05	Ausfall persönlicher Computer	SA Dokumente nicht mehr vorhanden	BackUps der Daten machen	5 Min. / Tag	10	10%	1	niedrig	
R06	Aufwand falsch eingeschätzt	Mehr Arbeitszeit als geplant		-	40	20%	8	hoch	
<b>Total Kosten in Arbeitspaketen enthalten (Angaben in h)</b>				<b>5</b>					
<b>Total Rückstellungen</b>					<b>210</b>		<b>23</b>		