HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz

ita Institute for Internet Technologies and Applications

Leistungsmessung im WLAN

Bachelorarbeit

Abteilung Informatik

Hochschule für Technik Rapperswil

Frühjahrssemester 2013

Autor(en):	Angelique Vinkestijn
	Fabian Beck
Betreuer:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Rinkel
Projektpartner:	nicht definiert
Experte:	Dr. Andreas Jarosch
Gegenleser:	Prof. Stefan F. Keller

INHALTSVERZEICHNIS

Aufgabenstellung 6

Eigenständigkeit der Arbeit 7

Abstract 8

Ausgangslage 8

Vorgehen/Technologien 8

Ergebnis 8

Management Summary 9

Aufbau der Arbeit 10

Messstandards 12

RFC 2544[1] 12

ITU-T Y.1564[2] 22

Messungen Studienarbeiten 29

Allgemeines 29

Grundlegende Messungen 32

Messungen mit den Netzwerkverkehrsmustern 36

Vergleich Messungen Studienarbeiten mit Messstandards 44

Auswahl Messstandard 46

Messszenarien 48

Mechanismen 48

Theoretischer Durchsatz 49

Ethernet 49

Wireless 52
Messhardware 75
Access Points 75
Netzwerk WAN TestGerät 77
Clients 78
Messsoftware 79
IPerf 79
LAN Tornado[6] 81
LAN Tornado Agent[6] 81
Kali Debian GNU Linux-Distribution[7] 82
Messumgebung 85
Feldversuch im Unterrichtszimmer 85
Laborversuch HF-Kammer 87
Messaufbau 88
Layer 2 Messungen 88
Software Messungen 89
Messungen nach RFC 2544 Standard 90
JDSU MTS 6000A 90
IPerf 92
Messauswertung 94
Einleitung 94
G-Standard 96

Resultate G-Standard 102
E-Standard 103
Resultate E-Standard 115
N-Standard 2.4 GHz 116
Resultate N-Standard 2.4 GHz 125
N-Standard 5 GHz 126
Resultate N-Standard 5 GHz 138
Ergänzende Messungen 139
Messsetup 139
Messauswertung 140
Resultate 143
Anleitung zur Optimierung, Fehlersuche und Behebung von WLAN Netzen . 144
Layer 1 144
Layer 2 152
Probleme während der Arbeit 167
IPerf 167
LAN Tornado 168
HF-Kammer 168
Frameverlustrate mit Layer 2 Messgeräten 168
Latenz mit Layer 2 Messgeräten 169
KMU Messungen 169
Ausblick 170

Persönliche Berichte 171

Fabian Beck 171

Angelique Vinkestijn 172

Literaturverzeichnis 173

Projektdokumente 174

Projektplan 174

Risikoanalyse 182

AUFGABENSTELLUNG

Ausgehend von den Messergebnissen der Studienarbeiten von Fabian Beck, Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn sollen die durchgeführten Messungen durch Messstandards überprüft und unter Einbezug dieser Standards ein weiteres Mal durchgeführt und verglichen werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, Messstandards zu finden, diese zu beschreiben und aufgrund der Auswahl eines Standards Messungen durchzuführen, welche in den Studienarbeiten nicht vorliegen. Es soll eine Evaluation von Geräten und Software durchgeführt werden, mit denen man Messungen im WLAN-Bereich durchführen kann. Hierzu sollen kostenpflichtige als auch kostenlose Software getestet und die Leistungsfähigkeit der Tools miteinander verglichen werden. Es ist ein Messcomputer zu installieren, der es ermöglicht, ein bestehendes oder neues WLAN-Netzwerk zu analysieren und aufgrund der erhaltenen Ergebnisse eine Optimierung des WLAN-Netzwerkes anzusteuern.

Idealerweise liegen im Anschluss an die Arbeit Optimierungsmöglichkeiten von bestehenden und neuen WLAN-Netzwerken vor. Ergänzt werden soll die Arbeit durch eine Anleitung zur Fehlersuche und deren Behebung in WLAN Netzen. Das aus der Arbeit resultierende Wissen soll anschliessend in einem kurzen Paper veröffentlicht werden.

Rapperswil, 04.03.2013

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, 04.03.2013

Angelique Vinkestijn

Fabian Beck

ABSTRACT

AUSGANGSLAGE

Im WLAN-Umfeld existieren zur Zeit keine vertraulichen, standardisierten Referenzmessungen bzgl. des Durchsatzverhaltens und der jeweilig verwendeten Protokollversion. Daher werden im Rahmen der Bachelorarbeit, auf Basis der Studienarbeiten von Fabian Beck, Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn, Referenzmessungen erstellt, die die Bewertung von WLAN Netzen deutlich vereinfachen soll.

VORGEHEN/TECHNOLOGIEN

In dieser Arbeit werden WLAN-Messungen des G-, E- und N-Standards mit dem Ziel einer Referenzimplementierung unter Einbezug des Messstandards RFC2544 durchgeführt. Die wesentlichen Konzepte des verwendeten Messstandards werden erläutert, analysiert und bewertet.

Auf Basis der Messstandards werden anschliessend Verkehrsszenarien für unterschiedliche Lastsituationen entworfen. Die praktisch durchgeführten Messungen erfolgen sowohl in dem störungsfreien Umfeld der HF-Kammer, als auch in einem gestörten Umfeld (Feldversuche). Zur Durchführung der Messungen werden sowohl dedizierte Messgeräte der Marke JDSU der Firma ISA-TEL Electronic AG als auch frei verfügbare Messsoftware eingesetzt. Ferner werden die Messungen mit zwei Testgeräten, den Access-Points Cisco WAP4410N und Netgear WNDAP350, durchgeführt.

ERGEBNIS

Schlussendlich werden die Messergebnisse untereinander und gegen die theoretisch berechneten Grenzwerte verglichen und bewertet. Hieraus können letztlich Vertrauensintervalle der im Feld erreichbaren Durchsatzraten sowie Optimierungsmöglichkeiten abgeleitet werden.

MANAGEMENT SUMMARY

Die Resultate aus dieser Arbeit geben einem WLAN-Entwickler Kennzahlen und ethernet konforme Messanleitungen an, um ein konkretes Netzwerk schneller zu analysieren und zu optimieren.

Dies wurde ermöglicht, indem Referenzmessungen von unterschiedlichen WLAN-Standards unter Einbezug von Messstandards durchgeführt wurden.

Aktuell gibt es keine WLAN Messungen, welche nach einem Messstandard wie RFC 2544 oder ITU-T Y.1564 durchgeführt sind. In dieser Arbeit wird spezifisch der Messstandard RFC 2544 evaluiert, mit welchem auch WLAN Messungen durchgeführt werden können.

Auf Grundlage dessen werden in dieser Arbeit Messungen im WLAN nach dem Messstandard RFC 2544 durchgeführt. Die erhaltenen Ergebnisse werden nach Standard dargestellt.

Diese Referenzmessungen und Schlussfolgerungen sollen KMUs bei der Umsetzung von WLAN Installationen helfen, da nun die Durchsätze von WLANs von unterschiedlichen Standards vorliegen. KMUs können somit mithilfe dieser Werte WLANs besser planen, installieren und erweitern.

Die WLAN Messungen werden in einem gestörten als auch in einer optimalen Umgebung durchgeführt. Dies führt zu einem umfangreichen Wissen bezüglich praktischer wie auch theoretischer Durchsätze von WLANs.

Es wird auch ersichtlich, welche Protokollmechanismen aktiviert werden müssen, um den Durchsatz von WLANs zu erhöhen.

AUFBAU DER ARBEIT

Im ersten Kapitel „Messstandards“ werden die gefundenen Messstandards RFC 2544 und ITU-T Y.1564 beschrieben. Die Standards definieren jeweils, wie die Messungen durchgeführt werden sollen und welche Werte zu messen sind. Zusätzlich wird beschrieben, wie die erhaltenen Resultate zu dokumentieren sind.

Das Kapitel „Messungen Studienarbeiten“ beschreibt die bereits durchgeführten Messungen der Studienarbeiten von Fabian Beck, Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn und liefert eine kurze Zusammenfassung der vorhandenen Resultate.

„Vergleich Messungen Studienarbeiten mit Messstandards“ zeigt die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der durchgeführten Messungen der Studienarbeiten mit den Standards.

Im Kapitel „Auswahl Messstandard“ wird beschrieben warum der Messstandard RFC 2544 für die Durchführung der Messungen mit den Layer 2 Messgeräten in dieser Bachelorarbeit ausgewählt wurde. Auch werden die durchzuführenden Tests definiert und es wird darauf eingegangen, warum einzelne durch den Messstandard vorgeschriebene Tests nicht durchgeführt werden.

In den „Messszenarien“ wird beschrieben mit welchen WLAN-Standards und eingesetzten Technologien die Messungen durchgeführt werden.

Der ausgewählte Messstandard schreibt vor, dass der maximale theoretische Datendurchsatz angegeben wird. Dazu werden im Kapitel „Theoretischer Durchsatz“ alle theoretischen Durchsätze der ausgewählten WLAN-Standards berechnet.

Die in dieser Bachelorarbeit verwendete Hardware wird im Kapitel „Messhardware“ beschrieben. Dazu gehören die Access-Points, die Clients und auch das evaluierte Layer 2 Messgerät der Marke JDSU der Firma isatel AG.

Im Kapitel „Messsoftware“ wird die eingesetzte Software beschrieben. Neben den Messungen mit professionellen Geräten wurde auch kostenlose Software evaluiert. In diesem Kapitel werden zwei kostenlose Programme beschrieben,

mit denen man theoretisch Messungen nach RFC 2544 durchführen könnte. Des Weiteren wird das auf den Clients eingesetzte Betriebssystem Kali näher erläutert.

Die Messungen nach Messstandard wurden jeweils in einem Feldversuch als auch in einem Laborversuch durchgeführt. Diese Umgebungen werden im Kapitel „Messumgebung“ genauer dargestellt.

Der Aufbau der Messungen wird im Kapitel „Messaufbau“ beschrieben. Für die Messungen mit den professionellen Geräten wurde ein anderer Aufbau benötigt als bei den Messungen mit der kostenlosen Software IPerf.

Im Kapitel „Messungen nach RFC 2544 Standard“ werden alle ausgewählten Messausführungen und daraus erhaltenen Resultate aufgezeigt und kommentiert.

Der Durchsatzeinbruch einer Station, wenn zusätzliche Stationen im selben WLAN Daten zu übertragen beginnen, wird im Kapitel „Ergänzende Messungen“ veranschaulicht.

Um schlussendlich verschiedene Möglichkeiten für die Analysierung und Optimierung von WLANs wiederzugeben, sieht man im Kapitel „Anleitung zur Optimierung, Fehlersuche und Behebung von WLAN Netzen“, wie auf die Probleme bzw. Fehlersuche und deren Behebung auf Layer 1 und Layer 2 eingegangen werde können. Ergänzt wird dieses Kapitel mit Softwarevorschlägen, welche zur Optimierung und Fehlersuche benutzt werden können.

Das Kapitel „Probleme während der Arbeit“ beschreibt die während dieser Arbeit aufgetretenen Probleme.

MESSSTANDARDS

RFC 2544[1]

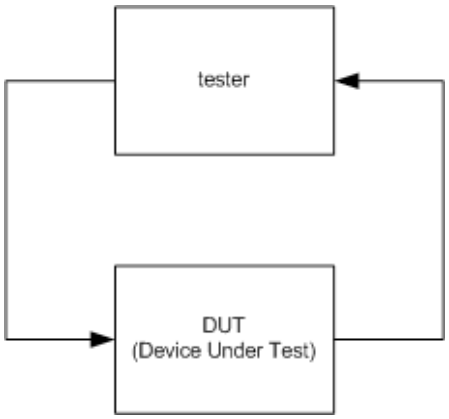
Der RFC 2544 Standard wurde 1999 durch die IETF - Internet Engineering Task Force entwickelt und beschreibt Testverfahren zur Leistungsbewertung von Ethernet-Netzwerken.

Zu diesen Tests gehört das Prüfen des Durchsatzes, der Latenz, der Frameverlustrate, als auch der Empfangsreihenfolge von Frames. Zusätzlich legt der RFC 2544 fest, mit welchen Kennzahlen die entsprechenden Tests durchgeführt werden müssen. Dazu gehört beispielsweise die Framelänge, die Zeitdauer, wie lange ein bestimmter Test durchzuführen ist und wie oft ein einzelner Test durchgeführt werden soll.

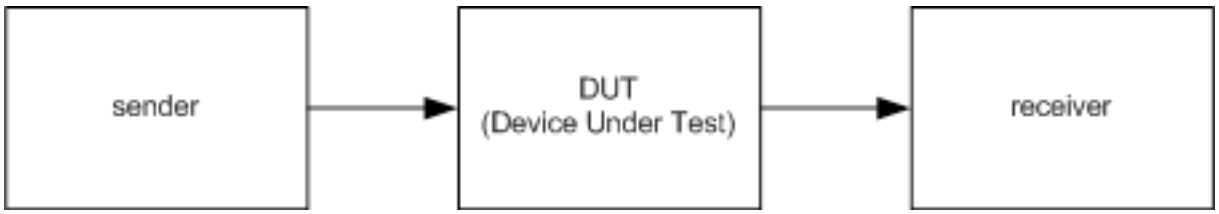
TESTAUFBAU

Der RFC 2544 Standard stellt drei mögliche Testaufbauten vor. Der ideale Aufbau, um die verschiedenen Tests durchzuführen sieht folgendermassen aus.

Der Tester wird an das Gerät, welches getestet werden soll (DUT), angeschlossen. Wichtig ist, dass der Tester die Pakete an das DUT sendet und diese nach der Verarbeitung vom DUT wieder an den Tester gesendet werden. Somit besteht für den Tester die Möglichkeit zu überprüfen, ob alle Pakete, welche er ausausgesendet hat auch wieder empfangen wurden. Zusätzlich kann er verifizieren, ob die Pakete fehlerfrei empfangen wurden.

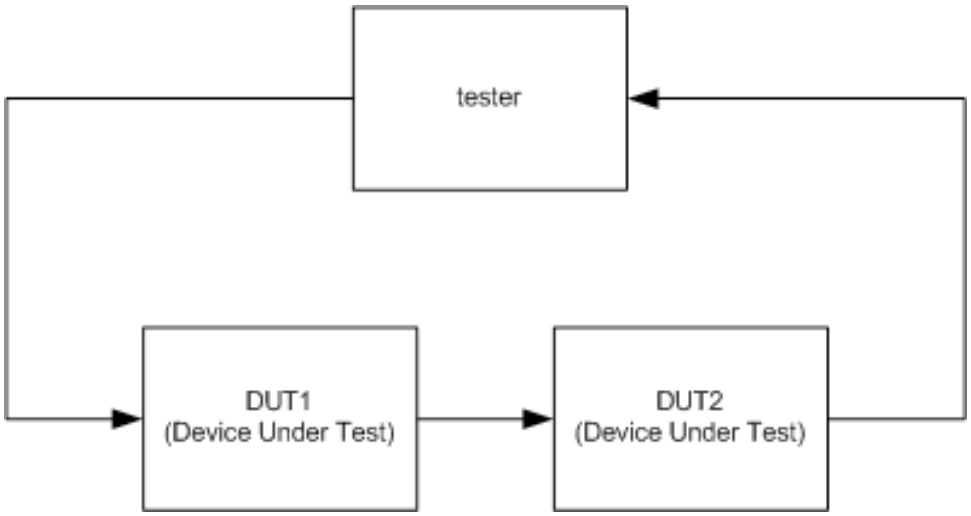


Der zweite Testaufbau unterscheidet sich zum ersten Aufbau nur dadurch, dass der Tester in einen separaten Sender und Empfänger unterteilt wird. Die Unterteilung des Testers kann kostenintensiv sein, da zwei Testgeräte benötigt werden.



Die oben genannten Testaufbauten können laut Standard auch dann verwendet werden, wenn unterschiedliche Übertragungsmedien vorliegen. Beispielsweise sendet der Tester die Pakete über Ethernet und empfängt diese über Wireless-LAN.

Der dritte Aufbau dient dazu, die „echte Welt“ für Firmen zu simulieren. Diese haben oft mehrere LANs, welche beispielsweise aufgrund der Geografie über einen WAN-Link miteinander verbunden sind. Um solche Aufbauten testen zu können, sollte folgender Messaufbau verwendet werden.



FRAME FORMAT

Für die Durchführung der Tests sieht der Standard die Verwendung des TCP/IP Stacks vor. Zur Übertragung der Daten soll das Transportprotokoll UDP verwendet werden. Das Frame Format, welches für einen spezifischen Test verwendet wird, muss in der Auswertung der Resultate enthalten sein.

FRAMELÄNGEN

ETHERNET

Damit sichergestellt werden kann, dass ein Ethernet-Netzwerk fähig ist, eine Vielzahl von verschiedenen Services wie beispielsweise VoIP, Video oder Daten zu unterstützen, sieht der RFC 2544 Framelängen von 64, 128, 256, 512, 1024, 1280 und 1518 Byte vor. Diese Längen beinhalten die minimale als auch die maximale Länge eines Frames, wie es bei Ethernet unterstützt wird. Durch die unterschiedliche Anzahl an Framelängen, welche getestet werden, ist es möglich, eine Vielzahl von Verkehrsbedingungen zu simulieren.

TOKEN RING

Für Token-Ring-Netzwerke empfiehlt der Standard Framelängen von 54, 64, 128, 256, 1024, 1518, 2048 und 4472 Byte.

FDDI

Für FDDI-Netzwerke sollten die selben Framelängen verwendet werden, wie bei Token-Ring-Netzwerken.

UNTERSCHIEDLICHE MTU'S

Wenn das DUT verschiedene Medien unterstützt, welche unterschiedliche MTUs haben, soll die höhere Framelänge verwendet werden. Als Beispiel wäre hier ein Switch, welcher Ethernet und FDDI Schnittstellen besitzt. In diesem Fall sollten die Tests mit den Framelängen des FDDI-Netzwerkes durchgeführt werden.

FRAMERATE

Der Standard schlägt vor, dass die theoretisch maximale Framerate, welche zu erwarten ist, in der Auswertung aufgeführt ist. Daher soll für jedes verwendete Medium als auch für jede Framelänge die theoretisch maximale Framerate berechnet und aufgeführt werden.

TESTDURCHFÜHRUNG

Ein RFC 2544 Test besteht aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Tests, welche durchgeführt werden müssen. Nur so kann sichergestellt werden, dass das Netzwerk den Anforderungen entspricht. Für die Sicherstellung der Anforderungen wird der Durchsatz, die Latenz, als auch die Frameverlustrate gemessen und überprüft.

DURCHSATZ-TEST

Der Durchsatz beschreibt die maximale Anzahl an Frames pro Sekunde, die von der Quelle zum Ziel übertragen werden können, ohne dass Frames verloren werden. Die Durchführung soll so gestartet werden, dass als erstes die maximale Framerate übertragen werden soll. Dabei soll dann die Anzahl gesendeter und empfangener Frames ermittelt werden. Sollte die Anzahl an gesendeter zu empfangener Frames nicht gleich sein, sind Frames verloren gegangen. Dann muss die Übertragungsrate halbiert werden und der Test noch

einmal durchgeführt werden. Kommt es bei diesem Test zu keinen verlorenen Frames, soll die Übertragungsrate, bei der es zu keinen Frameverlusten kam, um fünfzig Prozent erhöht werden. Dies wird so lange durchgeführt, bis man die maximale Übertragungsrate ermittelt hat, bei der keine Frames mehr verloren gingen.

Der Durchsatz-Test muss für jede Framelänge einzeln durchgeführt werden. Die Testdauer für jeden Test muss mindestens 60 Sekunden betragen.

Die Testresultate des Durchsatzes sollten in Form eines Diagrammes dargestellt werden. Dabei sollte die X-Achse die Framelänge und die Y-Achse die Übertragungsrate (in Frames pro Sekunde oder Bit pro Sekunde) sein. Zusätzlich sollte im Diagramm die theoretisch maximale Übertragungsrate entsprechend der Framelänge unter Einbezug des verwendeten Mediums dargestellt sein.

LATENZ-TEST

Die Latenz gibt an, wie lange ein Frame benötigt, um von der Quelle durch das Netzwerk zum Ziel zu gelangen. Diese Zeit berechnet sich aus der Summe der Verarbeitungszeiten des Frames in den Netzwerkkomponenten, als auch der Signallaufzeiten. Die Latenz sollte möglichst konstant sein. Wenn die Latenz zu stark variiert, kann es bei Echtzeitdiensten wie VoIP zu Problemen kommen. Hier hätte es vor allem Auswirkungen auf die Sprachqualität. So könnte man meinen, dass man ein Satellitentelefonat führt.

Bevor ein Latenz-Test durchgeführt werden soll, muss der Durchsatz-Test durchgeführt worden sein. Somit ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Puffer der Netzwerkgeräte ausgelastet sind. Dadurch misst man die Latenz unter den schlechtesten Bedingungen.

Auch der Latenz-Test wird unter allen Framelängen durchgeführt. Die Dauer eines einzelnen Tests sollte 120 Sekunden betragen. In der Hälfte der Testzeit, also bei 60 Sekunden, sollte ein Frame übertragen werden, welches einen Zeitstempel besitzt. In diesem Zeitstempel ist die aktuelle Uhrzeit enthalten, in dem das Frame ausgesendet wurde (Zeitstempel A). Der Empfänger muss den Zeitstempel dann erkennen und die Empfangszeit (Zeitstempel B) des

Frames speichern. Die Latenz ergibt sich dann aus dem Zeitstempel B minus Zeitstempel A.

Dieser Test muss für jede Framelänge zwanzig Mal durchgeführt werden. Die Resultate der Latenz für die einzelnen Framelängen sollen dann als Mittelwert über die zwanzig Versuche angegeben werden. Zusätzlich muss angegeben werden, ob das Netzwerkgerät eine Store-and-Forward oder eine Bit-Forwarding Latenz implementiert hat. Bei Store-and-Forward wird ein Frame zuerst ganz empfangen, bevor es weitergeleitet werden kann. Die Bit-Forwarding Latenz hingegen beschreibt die Zeitdauer, wenn das erste Bit empfangen wurde, bis es ausgesendet wird. Da beim Bit-Forwarding nach Erhalt des ersten Bit bereits mit dem Aussenden begonnen werden kann, ist die Latenz in diesen Netzwerkgeräten kürzer. Die erhaltenen Resultate sollen in einer Tabelle dargestellt werden. Die Zeilen enthalten die Framelängen und die Spalten die Latenzmittelwerte aus den zwanzig Messungen.

FRAMEVERLUST-TEST

Der Frameverlust bezeichnet die Anzahl Frames, welche von der Quelle ausgesendet, aber beim Ziel nicht angekommen sind. Die Frameverlustrate wird in Prozent angegeben. Dabei bezieht sich diese Rate immer auf die gesamte Anzahl an Frames, welche zwischen Quelle und Ziel übertragen wurden. Sendet die Quelle X Frames aus, aber das Ziel empfängt lediglich Y Frames, so berechnet sich die Frameverlustrate folgendermassen:

$$Frameverlustrate\ [\%] = \frac{Anzahl\ gesendeter\ Frames - Anzahl\ empfangener\ Frames}{Anzahl\ gesendeter\ Frames} * 100\%$$

Werden zum Beispiel von einer Quelle 100 Frames ausgesendet und das Ziel empfängt hingegen lediglich 90 Frames, folgt daraus eine Frameverlustrate von zehn Prozent.

Die Frameverlustrate ist vor allem bei Anwendungen wichtig, welche für die Übertragung der Daten das UDP-Protokoll verwenden. Dazu gehören Echtzeitanwendungen wie VoIP oder Video. Das Problem von UDP ist, dass es im Vergleich zu TCP nicht in der Lage ist, verlorene Daten zu erkennen und diese

neu anzufordern. Bei der Verwendung von UDP müsste die Applikation so programmiert sein, dass sie die fehlenden Daten bemerkt und diese noch einmal anfordert. Echtzeitapplikationen wie VoIP- oder Video-Applikationen haben diesen Mechanismus allerdings nicht implementiert, da es für solche Anwendungen keinen Sinn macht. Ansonsten könnte es sein, dass die Gespräche bzw. Bilder nicht in der richtigen Reihenfolge abgespielt werden. Daher ist es gerade für solche Anwendungen wichtig, dass kaum Frameverluste vorhanden sind.

Der Frameverlust kann aus verschiedenen Gründen vorkommen. Dazu gehören Übertragungsfehler als auch Überbuchung der Bandbreite. Praktisch alle Netzwerkgeräte wie Switches und Router überprüfen beim Erhalt eines Frames die FCS - Frame Check Sequence. Stimmt die berechnete FCS des Frames nicht mit der FCS, die im Frame enthalten ist, überein, wurden die Daten während der Übertragung verändert und das Frame wird gelöscht. Das bedeutet, dass beim Vorliegen eines einzelnen Bitfehlers das ganze Frame gelöscht wird. Ein weiterer Grund entsteht dann, wenn die verfügbare Bandbreite überbucht ist und dadurch Frames beim Ziel nicht ankommen. Als Beispiel sei hier ein Switch mit 24 Fast Ethernet und 2 Gigabit Ethernet Ports. An den Fast Ethernet Ports sind Computer angeschlossen. Die zwei Gigabit Ethernet Ports sind der Uplink in den Rest des Netzwerkes. Senden nun alle Computer mit voller Datenrate, benötigen sie 2.4 Gbps. Der Switch liefert aber nur 2 Gbps und alles was darüber ist, wird vom Switch gelöscht.

Zur Durchführung des Tests soll die Framerate so hoch sein wie die maximale Durchsatzrate des Mediums. Danach soll überprüft werden, ob Frames verloren gingen. Falls Frames verloren gegangen sind, wird die Framerate um maximal zehn Prozent verringert und der Test ein weiteres Mal durchgeführt. Dies wird solange durchgeführt, bis bei zwei Testdurchführungen keine Frames verloren gehen. Auch die Frameverlustrate soll für alle Framelängen durchgeführt werden. Jede Testdurchführung sollte für mindestens 60 Sekunden durchgeführt werden.

Die erhaltenen Resultate sollen in einem Diagramm aufgezeichnet werden. Dabei muss die X-Achse die Framerate in Prozent der theoretisch maximalen

Framerate für die entsprechende Framelänge sein. Die Y-Achse muss die Frameverlustrate in Prozent sein.

BACK-TO-BACK TEST

Beim Back-to-Back Test wird getestet wie die Puffer der Netzwerkgeräte auf Burst-Verkehr reagieren. Das heisst, es soll die maximale Anzahl an Frames angegeben werden, die die Puffer der Netzwerkgeräte noch verarbeiten können, ohne dass dabei Frames gelöscht oder verloren gehen. Dabei sendet die Quelle eine bestimmte Anzahl an Frames mit der maximalen Übertragungsrate aus. Wichtig ist, dass der IFS - Inter Frame Space zwischen den einzelnen Frames minimal ist. Das Ziel überprüft, ob alle Frames, welche ausgesendet wurden, empfangen worden sind.

Für die Durchführung des Tests muss ein Burst, bestehend aus einer bestimmten Anzahl Frames, ausgesendet werden. Ist die Anzahl an Frames, welche empfangen werden, kleiner der Anzahl an Frames, welche ausgesendet wurden, so muss die Anzahl an Frames reduziert werden. Falls die Anzahl der gesendeten und empfangenen Frames gleich ist, dann wird die Anzahl an Frames beim nächsten Testdurchlauf erhöht.

Jede Testdurchführung muss mindestens zwei Sekunden lang einen Burst an Frames senden und sollte mindestens fünfzig Mal durchgeführt werden. Als Ausgabewert wird dann der Durchschnitt dieser fünfzig Durchführungen genommen. Auch dieser Test sollte unter allen Framelängen durchgeführt werden.

Die Resultate der Back-to-Back Messungen sollten in einer Tabelle dargestellt werden. Die Zeilenanschrift entspricht der verschiedenen Framelängen und die Spaltenanschrift der durchschnittlich erhaltenen Werte. Zusätzlich kann für jede Messung die Standardabweichung angegeben werden.

SYSTEM RECOVERY TEST

Mit dem System Recovery Test kann herausgefunden werden, wie schnell sich ein DUT von einer Überlastung erholt. Bevor dieser Test durchgeführt werden kann, ist es notwendig, dass die Ergebnisse des Durchsatz-Tests bereits vorliegen. Liegen diese vor, dann muss für jede Framelänge ein Datenstrom von Frames, mit einer Geschwindigkeit von 110 Prozent des maximalen Durchsatzes, übertragen werden. Die Sendedauer dieses Datenstroms beträgt mindestens 60 Sekunden. Während diesen 60 Sekunden soll die Framerate zu einer bestimmten Zeit A auf 50 Prozent heruntergebracht werden. Zusätzlich muss die Zeit, bei welcher der letzte Frameverlust aufgetreten ist, als Zeit B gespeichert werden. Die System Recovery Zeit wird dann aus der Differenz der Zeit A und B berechnet. Dieser Test sollte wiederholend durchgeführt werden damit eine durchschnittliche Zeit für das System Recovery angegeben werden kann.

Die erhaltenen Resultate sollen in Form einer Tabelle dargestellt werden. Dabei enthalten die Zeilen die verschiedenen Framelängen und die Spalten die erhaltenen Mittelwerte der System Recovery Zeit.

RESET TEST

Der Reset Test bestimmt die Zeitdauer, welche benötigt wird damit sich ein DUT nach einem Geräte- bzw. Software-Neustart wieder erholt und vollumfänglich einsatzbereit ist.

Für die Durchführung dieses Tests müssen die Ergebnisse der Durchsatz-Tests für die minimale Framelänge vorhanden sein, da dieser Test nur unter Einbezug dieser Framelänge durchgeführt werden muss. Dazu wird von der Quelle kontinuierlich ein Strom an Frames, mit minimaler Framelänge, ausgesendet. Zu einer vordefinierten Zeit wird das DUT neu gestartet und entsprechend die Zeit bestimmt, zu der das letzte Frame vor dem Neustart des DUT empfangen wurde. Die zweite Zeit, die bestimmt werden soll, ist der Empfang des ersten Frames, welches das DUT wieder weiterleitet, nachdem es neugestartet wurde. Um die Zeitdauer des Resets zu bestimmen, subtrahiert man die zweite von der ersten Zeit.

Dieser Test sollte nur ausgeführt werden, wenn das Quellnetzwerk als auch das Zielnetzwerk direkt am DUT angeschlossen sind. Dadurch wird vermieden, dass es zu weiteren Verzögerungen kommt, bis die Frames wieder weitergeleitet werden können. Als Beispiel für eine Verzögerung wäre hier die Konvergenz der Routingprotokolle zu erwähnen.

Der Standard sieht vor, dass sowohl ein Hardware-, als auch ein Software-Neustart getestet werden soll. Zusätzlich soll auch ein Stromunterbruch getestet werden. Dabei soll der Strom für 10 Sekunden unterbrochen sein.

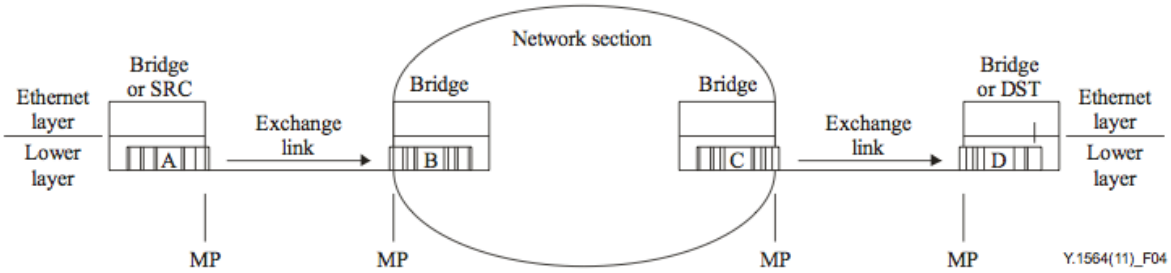
Die Resultate sollen in Prosa beschrieben werden.

ITU-T Y.1564[2]

Die ITU-T hat eine Empfehlung zum Messen der Übertragung von Ethernet-Frames und deren Durchsatz geschrieben. Diese Empfehlung definiert die verschiedenen Parameter, welche verwendet werden können, um die Performanz von Ethernet-Netzwerken spezifizieren und beurteilen zu können.

ARCHITEKTUR

Um die Performanz von Ethernet-Netzwerken messen zu können, sieht die ITU-T die unten abgebildete Test-Architektur vor, wobei es sich um ein Referenzmodell handelt. Dieses Modell ist in die zwei Sektionen „Exchange-Link“ und „Network Section“ unterteilt. Der Exchange Link dient dazu, die Quelle bzw. das Ziel mit einer Bridge oder zwei Bridges untereinander zu verbinden. Die Network Section ist die Gesamtheit an Bridges und Links, welche ethernetbasierte Dienste zwischen der Quelle und dem Ziel anbietet. Zwischen der Bridge, der Quelle, dem Ziel und dem Exchange Link sind die Messpunkte (MP) angebracht. Diese Punkte sind die Grenzen, an denen die Leistungsreferenz-Ereignisse beobachtet und gemessen werden. Ein Leistungsreferenzereignis findet statt, wenn ein Ethernet-Frame einen Messpunkt durchquert, die FCS (Frame Check Sequence) gültig ist und die Quell- und Ziel-Adresse im Ethernet-Frame die zu erwartende MAC-Adresse enthält.



ERGEBNIS DER ÜBERTRAGUNG VON ETHERNET-FRAMES

Durch die Beobachtung der übertragenen Ethernet-Frames an den Messpunkten können bestimmte Ergebnisse ausgewertet werden. Diese Ergebnisse beziehen sich hier immer auf die übertragenen Ethernet-Frames. Die Übertragung der Frames kann entweder erfolgreich, fehlerhaft, fehlgeleitet, verlorengegangen, oder falsch sein.

Erfolgreich Die Übertragung ist dann erfolgreich, wenn der Inhalt des Frames während der Übertragung zwischen der Quelle und dem Ziel nicht verändert wurde.

Fehlerhaft Eine Übertragung ist dann fehlerhaft, wenn sich der Inhalt des Frames von der Quelle zum Ziel geändert hat oder aber der Header manipuliert wurde. Ein Frame, welches aufgrund einer veränderten FCS erkannt und daher gelöscht wird, ist kein fehlerhaftes Frame, sondern ein verlorenes Frame.

Verloren Ein Frame gilt als verloren, wenn es von der Quelle ausgesendet, jedoch vom Ziel nicht empfangen wurde.

Fehlgeleitet Ein Frame, welches einen falschen Weg nimmt, ist falsch adressiert.

Falsches Ein falsches Frame ist ein Frame, das beim Empfänger ankommt, jedoch nie vom Ziel angefordert wurde. Gründe für dies sind beispielsweise Fehler in der Weiterleitungstabelle oder Änderungen der Ziel-Mac-Adresse, welche vom FCS nicht erkannt werden.

MESSPARAMETER:

Folgende Parameter sollten nach ITU-T gemessen werden:

- Framerate (Bandbreite)
- Verzögerung
- Jitter
- Framefehler
- Frameverlust

TEST-METHODIK

Das Ziel der Test-Methodik ist die Validierung der Messparameter der Ethernet-Frames aufgrund ihrer Ethernet-Dienste. Meistens werden die angebotenen Ethernet-Dienste in drei Gruppen unterteilt, welche verschiedene Anforderungen an das Netzwerk stellen.

		Anforderung			
		Priorität	**Verzögerung**	**Framelänge**	**Bandbreiten-anforderung**
Gruppe	**Daten**	Gering	N/A	Variierend	Variierend
	Sprache (VoIP)	Hoch	Gering	Klein	Gering
	Video	Hoch	Gering	Variierend	Mittel

Die ITU-T beschreibt folgende zwei Haupttests:

- Service Configuration Test
- Service Performance Test

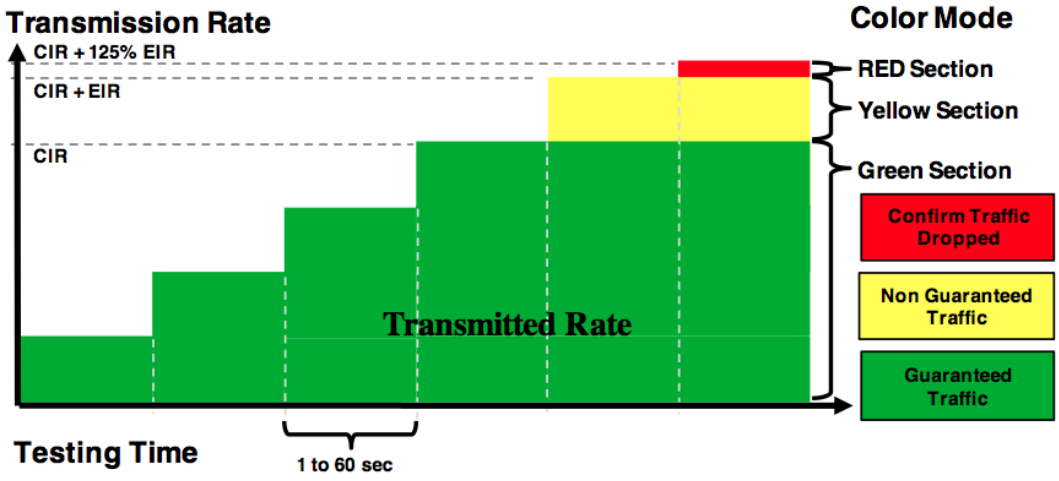
SERVICE CONFIGURATION TEST

Dieser Test überprüft, ob die Netzwerkelemente wie beispielsweise Switch oder Router korrekt konfiguriert sind, damit gewährleistet werden kann, dass der Verkehr dem entsprechenden Dienst entspricht. Dieses Testverfahren läuft in drei Schritten ab und überwacht während diesen Schritten alle oben aufgeführten Messparameter.

Der erste Schritt besteht darin, dass die Bandbreite von einem Minimum schrittweise bis zur gesicherten Datenrate (CIR) erhöht wird. Dies gewährleistet, dass der spezifische Dienst die unterschiedlichen Datenraten unterstützt.

Beim zweiten Schritt wird die Datenrate des jeweiligen Dienstes schrittweise von der gesicherten Datenrate (CIR) auf die maximale verfügbare Excess Information Rate (EIR) erhöht. EIR beschreibt die Datenrate, welche nicht mehr garantiert werden kann. Es besteht somit die Möglichkeit, mit einer Datenrate von EIR zu senden. Es wird jedoch vom Dienstanbieter nicht garantiert, dass diese Daten auch beim Empfänger ankommen. Diese Phase dient hauptsächlich dazu, den Durchsatz beim Empfänger zu überprüfen.

Der letzte Schritt ist die Überprüfung von Bursts. Bursts sind stossweise auftretende Verkehrsspitzen. Diese gehören oft zu den Eigenschaften von Paketübertragungen. Das Problem von Bursts ist, dass es zu einer Überschreitung der verfügbaren Bandbreite (EIR) kommen kann. Datenverkehr wird bei Überschreitung der EIR normalerweise gelöscht.



Alle beschriebenen Schritte müssen mit jedem Dienst einzeln getestet werden. Jeder durchgeführte Test sollte zwischen 1 und 60 Sekunden betragen. Die Framelänge eines Service Configuration Tests kann entweder konstant oder aber eine Verteilung von mehreren Framelängen sein. Standardmässig wird durch die ITU-T eine Framelänge von 512 Byte beschrieben. Möchte man eine Verteilung der verschiedenen Framelängen, so kann man zwischen 64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518 MTU oder einer benutzerdefinierten Framelänge wählen. Die Verteilung basiert auf einer Menge von Framelängen. Die verwendeten Framelängen werden dabei zufällig ausgewählt, in der Menge abgespeichert und dann wiederholt angewendet. Dieses Vorgehen basiert auf dem EMIX Pattern, welche aus den Framelängen 64, 128, 256, 1024 und 1518 Byte besteht.

SERVICE PERFORMANCE TEST

Bei diesem Test werden die Dienste auf ihre Qualität in einem längeren Zeitraum getestet. In dieser Testphase müssen alle Dienste gleichzeitig gestartet werden. Während der Dauer dieser Tests sollten alle Messparameter für jeden Service überwacht und aufgezeichnet werden. Die Dauer der Tests sollte entweder 15 Minuten, 2 Stunden oder 24 Stunden sein.

MESSAUSWERTUNG

SERVICE CONFIGURATION TESTS

Die Messauswertung soll folgende Informationen enthalten:

- Portgeschwindigkeiten
- Anzahl der zu testenden Diensten
- Dienst-Attribute
  - Bandbreiten Profil (CIR, EIR)
  - Akzeptanz-Kriterien (erlaubte Frame-Fehlerrate, Verzögerung etc.)
- MTU-Grösse
- Test-Frame-Definitionen
  - Quell-MAC-Adresse
  - Ziel-MAC-Adresse
  - VLAN-ID
- Testzeit
- Testdauer

Für jeden durchgeführten Test sollten die definierten Messparameter angegeben werden. Dazu kann folgende Tabelle verwendet werden:

	Bestanden	**Bandbreite in Mbps**			**Frameverlustrate**		**Verzögerung**			**Jitter**		
		Min	Mean	Max	Anzahl	Verhältnis	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
CIR-Test [Dauer: X Sekunden]												
Test 1												
Test 2												
Test 3												
Test N												
CIR/EIR-Test [Dauer: X Sekunden]												
Grün												
Gelb												
Total:												

SERVICE PERFORMANCE TESTS

Die Auswertungen des Service Performance Tests enthalten dieselben Informationen, wie der Service Configuration Test.

- Portgeschwindigkeiten
- Anzahl der zu testenden Diensten
- Dienst-Attribute
    - Bandbreiten Profil (CIR, EIR)
    - Akzeptanz-Kriterien (erlaubte Frame-Fehlerrate, Verzögerung etc.)
- MTU-Grösse
- Test-Frame-Definitionen
    - Quell-MAC-Adresse
    - Ziel-MAC-Adresse
    - VLAN-ID
- Testzeit
- Testdauer

Für jeden durchgeführten Service Performance Test sollte folgende Tabelle ausgefüllt werden:

	Bestanden	**Bandbreite in Mbps**			**Frameverlustrate**		**Verzögerung**			**Jitter**		
		Min	Mean	Max	Anzahl	Verhältnis	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Service Performance [Dauer: X Sekunden]												
Service 1												

MESSUNGEN STUDIENARBEITEN

Nachfolgende Erläuterungen basieren auf der Studienarbeit "Aufbau und Entwicklung einer WLAN-Messumgebung zur Untersuchung des QoS des G- und N-Standards" von Fabian Beck und der Studienarbeit "WLAN Durchsatzmessung" von Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn.

ALLGEMEINES

GRUNDEINSTELLUNGEN

Für die Messungen von Fabian Beck, Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn wurden folgende Grundeinstellungen verwendet.

WLAN-Kategorie
Infrastruktur-Modus
Die verschiedenen Stationen kommunizieren immer über den Access Point.

Frequenzband
2.4 GHz Bereich mit 13 Kanälen
5.0 GHz Bereich mit 19 Kanälen

Standards
IEEE-802.11G-Standard
Übertragungsrate von bis zu 54 Mbps

IEEE-802.11E-Standard
Erweiterung des G-Standards mit QoS

IEEE-802.11N-Standard
Übertragungsrate zwischen 300 und 600 Mbps

MESSHARDWARE

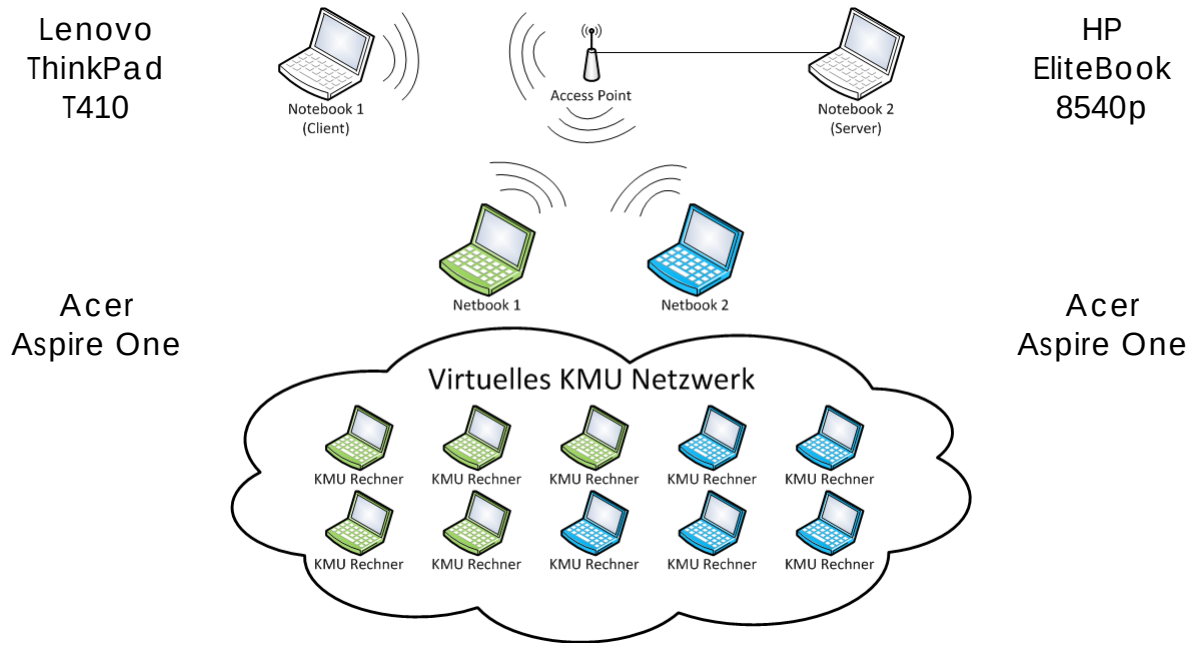
Access Points	Cisco WAP4410N Netgear WNDAP350	
Notebooks	Clients	Fujitsu LifeBook S6420 Lenovo ThinkPad T410
	Servers	Fujitsu Celsius H250 HP EliteBook 8540p
	KMU	Acer Aspire One (2x)

MESSAUFBAU

Für die grundlegenden Messungen der Bandbreite, Latenz, Jitter und verlorenen Frames von Fabian Beck, Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn wurde folgender Aufbau verwendet.

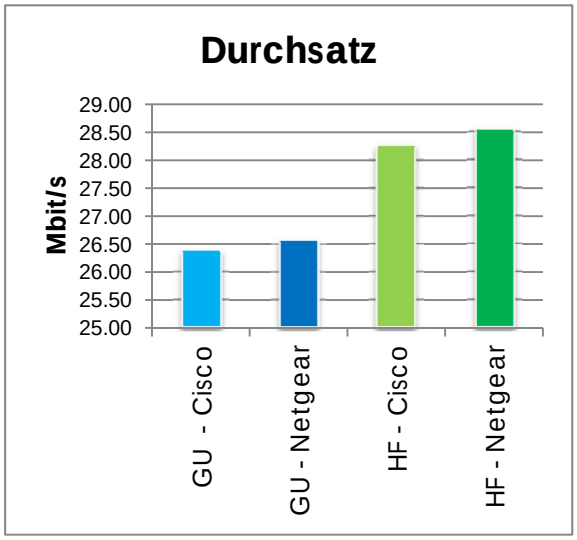
Messung F. Beck	Fujitsu LifeBook S6420	Fujitsu Celsius H250
Messung F. Schweizer & A. Vinkestijn	Lenovo ThinkPad T410	HP EliteBook 8540p

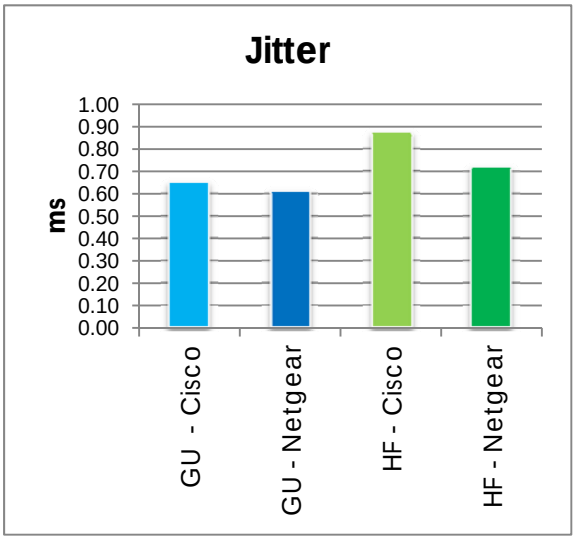
Für die Messungen mit den spezifizierten Netzwerkverkehrsmustern von Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn wurde der Basis-Aufbau zusätzlich mit einem KMU Netzwerk simuliert.



GRUNDLEGENDE MESSUNGEN

MESSAUSWERTUNG G-STANDARD





	Durchsatz
GU - Cisco	26.39
GU - Netgear	26.58
HF - Cisco	28.27
HF - Netgear	28.54

	Jitter
GU - Cisco	0.65
GU - Netgear	0.61
HF - Cisco	0.87
HF - Netgear	0.72

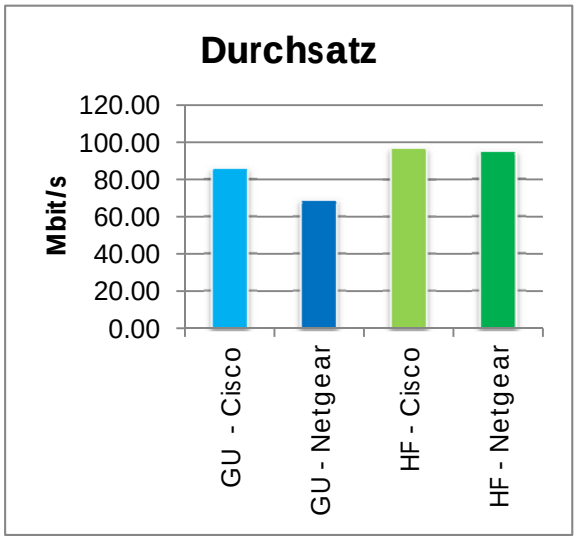
Verlorene Frames

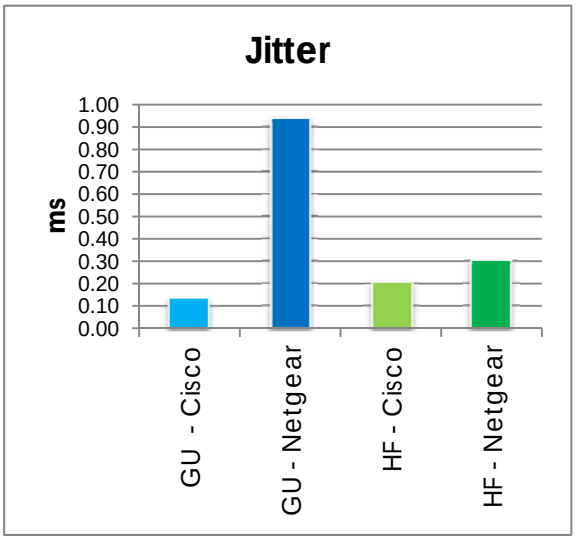
	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren	HF Gesendet
Cisco	0	2243	0	2402
Netgear	0	2259	0	2425

In den grundlegenden Messungen konnte schon während den Studienarbeiten festgestellt werden, dass die theoretisch mögliche konstante Durchsatzrate von ca. 31 Mbit/s im HF Umfeld mit ca. 28.5 Mbit/s fast erreicht wurde. Im gestörten Umfeld führten Schwankungen zu einem Durchsatz von 26.5 Mbit/s.

MESSAUSWERTUNG N-STANDARD

2.4 GHZ





	Durchsatz
GU - Cisco	86.16
GU - Netgear	69.24
HF - Cisco	97.21
HF - Netgear	95.42

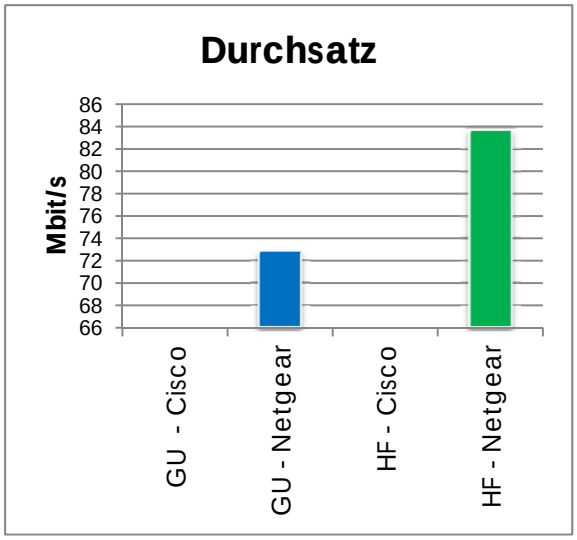
	Jitter
GU - Cisco	0.14
GU - Netgear	0.94
HF - Cisco	0.21
HF - Netgear	0.31

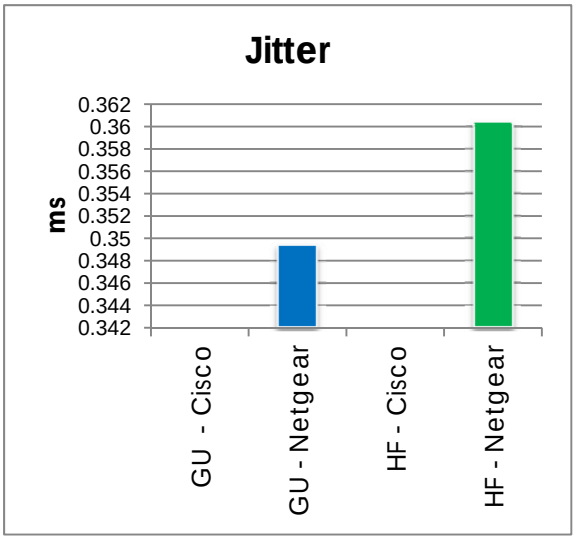
Verlorene Frames

	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren	HF Gesendet
Cisco	2	7323	0	8259
Netgear	19	5903	0	8109

Durch die entsprechend schlechten Jitter Werte, wie auch durch die Aufhebung/Störung der MIMO Technik in der HF Kammer, konnte hier der theoretisch mögliche Durchsatz von ca. 125 Mbit/s nicht erreicht werden. Es entstand dadurch auch eine höhere Anzahl verlorener Frames.

5 GHZ 20 MHZ





	Durchsatz
GU - Cisco	
GU - Netgear	72.83
HF - Cisco	
HF - Netgear	83.77

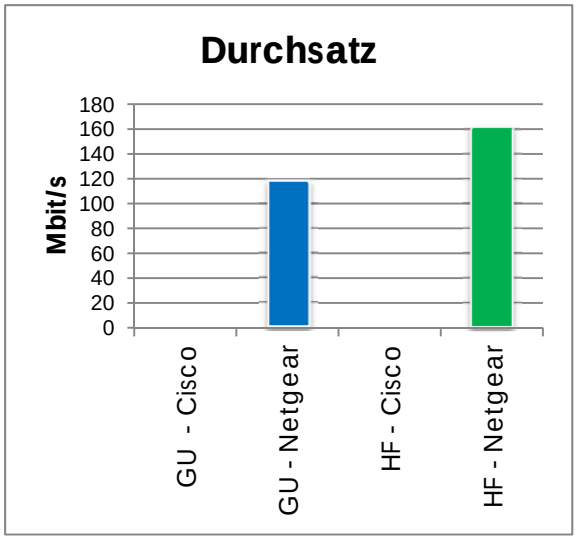
	Jitter
GU - Cisco	
GU - Netgear	0.35
HF - Cisco	
HF - Netgear	0.36

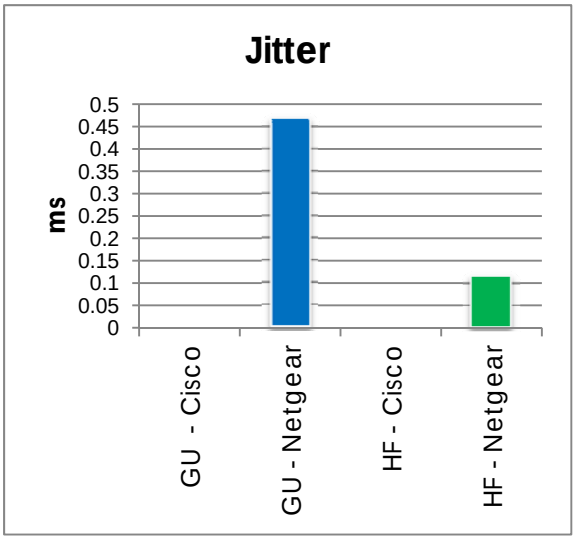
Verlorene Frames

	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren	HF Gesendet
Cisco				
Netgear	10	6199	3	7122

Die Messungen des N-Standards im 5 GHz-Band konnten nur mit dem Netgear Access Point durchgeführt werden. Durch verschiedene Einflüsse wie konkurrierende WLAN Netzwerke und nah belegter Kanäle im gestörten Umfeld, wie auch durch die Aufhebung/Störung der MIMO Technologie in der HF Kammer, konnte der theoretische Durchsatz von ca. 125 Mbit/s nicht annähernd erreicht werden.

5 GHZ 40 MHZ





	Durchsatz
GU - Cisco	
GU - Netgear	118.55
HF - Cisco	
HF - Netgear	161.62

	Jitter
GU - Cisco	
GU - Netgear	0.47
HF - Cisco	
HF - Netgear	0.12

Verlorene Frames

	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren	HF Gesendet
Cisco				
Netgear	20	10090	7	13740

Obwohl die Messungen des N-Standards im 5 GHz-Band mit einer Kanalbreite von 40 MHz besser sind als die des 5 GHz-Bandes mit einer Kanalbreite von 20 MHz, ist der Unterschied zum theoretischen Durchsatz von ca. 230 Mbit/s noch grösser.

Diese tiefen Werte entstehen nicht nur durch die schon besagten Störungen, sondern evtl. auch wegen der Implementierung des Standards selber oder evtl. stösst die Hardware an ihre Grenzen.

MESSUNGEN MIT DEN NETZWERKVERKEHRSMUSTERN

NETZWERKVERKEHRSMUSTER

Für die Planung und Verwaltung von Netzwerken werden oft Netzwerkverkehrsmuster verwendet. Dabei werden folgende Netzwerke unterschieden:

Grüne Wiese	Neuplanung eines Netzwerks
Weiterentwicklung	Neue oder geänderte Services
Analyse	Problemevaluierung oder Statistik

VOIP

Ein Telefongespräch aus 2 Teilnehmern dauert durchschnittlich 3.33 Minuten und hat typischerweise etwa 35-50 % Sprachpausen.

Zur VoIP Codierung werden üblicherweise folgende Codes verwendet:

G.711	Abtastrate von 8 kHz Paketgrösse von 160 Byte Bandbreite von 64 Kbps Tatsächliche Bandbreite zwischen 42 und 61 Kbps
G.729	Abtastrate von 8 kHz Paketgrösse von 20 Byte Bandbreite von 48, 56 oder 64 Kbps Tatsächliche Bandbreite zwischen 19 und 25 Kbps

INTERNETNUTZUNG

Bei einer Internetnutzung mit normalem Surfverhalten wird die Bandbreite nur schwach beeinflusst, findet jedoch ein Download (z.B. Updates, YouTube Videos, etc.) statt, kann die Bandbreite bis zu 2,5 MB/s belegt werden.

E-MAIL VERKEHR

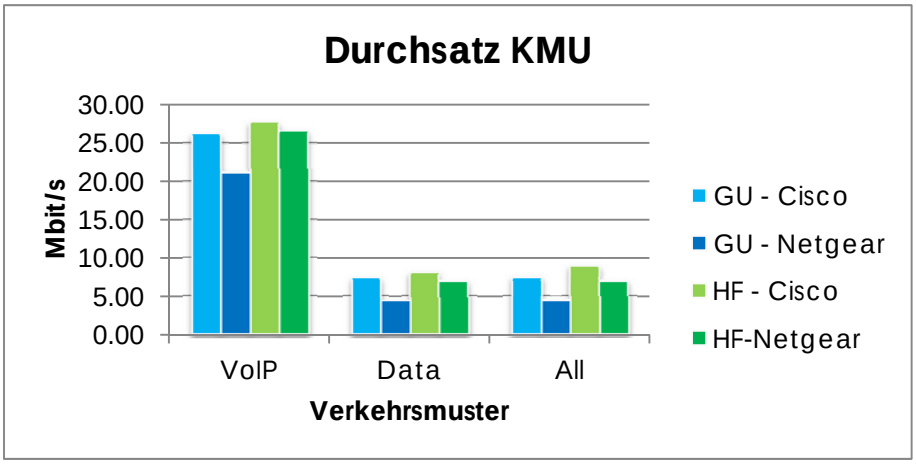
Bei einem durchschnittlichen Mitarbeiter mit der Arbeitszeit von 8 Stunden aufgeteilt von 08:00 - 12:00 Uhr und 13:00 - 17:00 Uhr werden ca. 12 E-Mails pro Stunde versendet oder empfangen. Dies resultiert durch die Queue-Abfolge eines E-Mailservers in einem Durchsatz von 146 Kbps.

DRUCKAUFTRÄGE

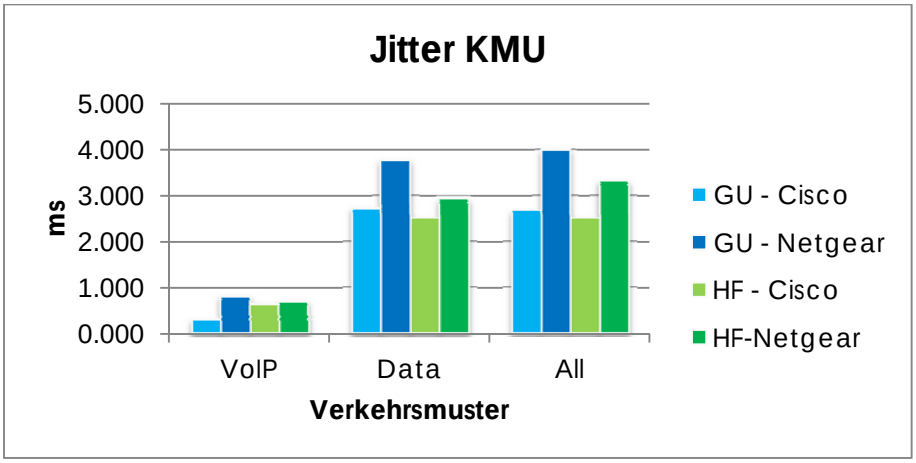
Druckaufträge sind vor allem in grossen Firmen in die Verkehrsmuster speziell einzubeziehen.

Da ein Mitarbeiter durchschnittlich pro Tag nur 3 Seiten ausdrucken und diese Seiten eine ungefähre Grösse von je 0.33 MB haben, können bei einem gleichzeitigen Ausdruck in einer KMU (ca. 10 MA) eine Last von 10 MB entstehen.

MESSAUSWERTUNG G-STANDARD



	GU - Cisco	GU - Netgear	HF - Cisco	HF - Netgear
VoIP	26.20	21.15	27.69	26.56
Data	7.35	4.34	8.06	6.93
All	7.48	4.47	8.90	6.94



	GU - Cisco	GU - Netgear	HF - Cisco	HF - Netgear
VoIP	0.290	0.804	0.639	0.695
Data	2.723	3.776	2.509	2.925
All	2.672	4.006	2.509	3.319

Verlorene Frames

	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren	HF Gesendet
VoIP - Cisco	0	2229	0	2354
VoIP - Netgear	0	1799	0	2259
Data - Cisco	0	625	0	686
Data - Netgear	0	369	0	589
All - Cisco	0	636	0	758
All - Netgear	0	380	0	590

Im G-Standard wurde deutlich ersichtlich, dass, wenn nur das Netzwerkverkehrsmuster „VoIP“ verwendet wird, keine grösseren Probleme bezüglich des Durchsatzes, des Jitters und der verlorenen Frames entstehen.

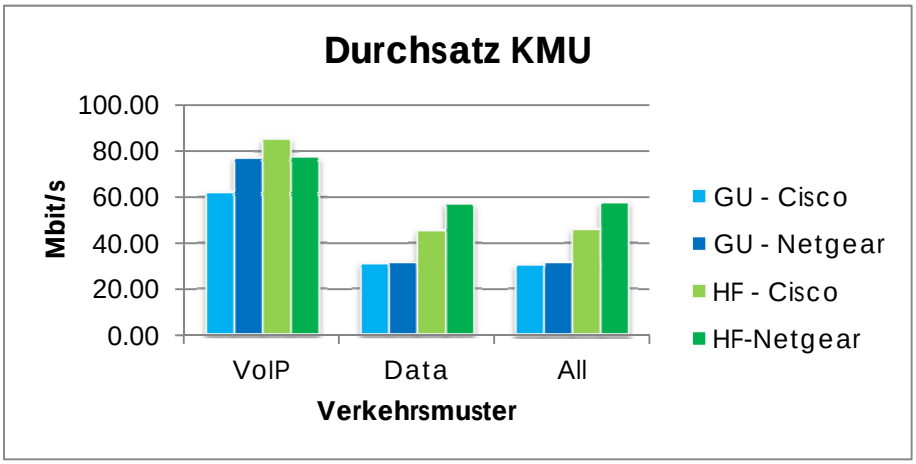
Geht man jedoch nun vom Netzwerkverkehrsmuster „Data“ mit Internetnutzung, E-Mailverkehr und Druckaufträgen aus, sieht man, dass nur noch ein ungefährer Durchsatz von 5 Mbit/s gewährleistet ist. Die maximale Ausschöpfung dieses Durchsatzes wäre somit mit zwei weiteren Clients erreicht und das Netzwerk würde unter starken Störungen leiden.

Fügt man nun das Netzwerkverkehrsmuster „VoIP“ zu „Data“ hinzu und kreiert damit das Netzwerkverkehrsmuster „All“, können keine grossen Änderungen in der Messung festgestellt werden. Dies ist auf den kleinen Durchsatz des Netzwerkverkehrsmusters „VoIP“ zurückzuführen.

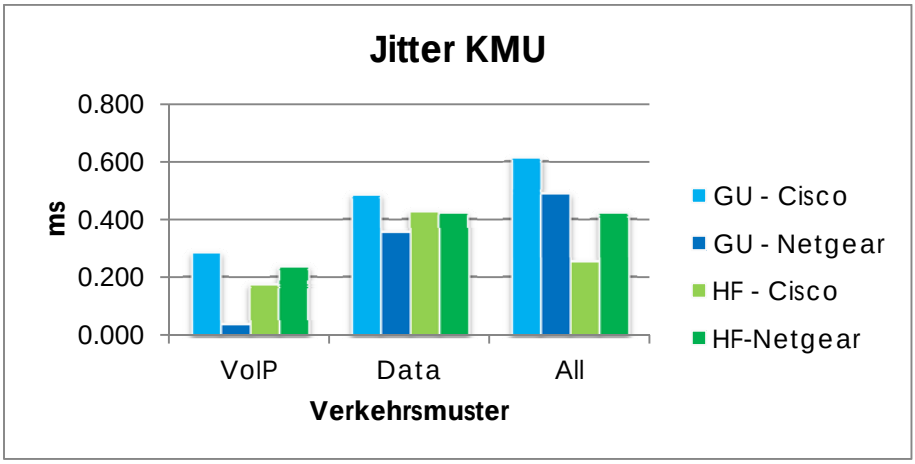
Dies heisst jedoch nicht, dass nun ohne Bedenken das Netzwerkverkehrsmuster „VoIP“ hinzugefügt werden kann. Die Qualität der VoIP Calls wird nur auf der Grundlage von kleinem Jitter gewährleistet. Dies ist im Fall des Netzwerkverkehrsmuster „All“ im G-Standard nicht mehr gegeben und es wird somit nicht empfohlen einen solchen Zusammenschluss durchzuführen.

MESSAUSWERTUNG N-STANDARD

2.4 GHZ 20 MHZ



	GU - Cisco	GU - Netgear	HF - Cisco	HF - Netgear
VoIP	62.32	77.32	85.37	77.47
Data	31.22	31.42	45.45	57.19
All	30.32	31.58	46.09	57.61



	GU - Cisco	GU - Netgear	HF - Cisco	HF - Netgear
VoIP	0.284	0.038	0.175	0.237
Data	0.486	0.358	0.427	0.422
All	0.612	0.490	0.254	0.422

Verlorene Frames

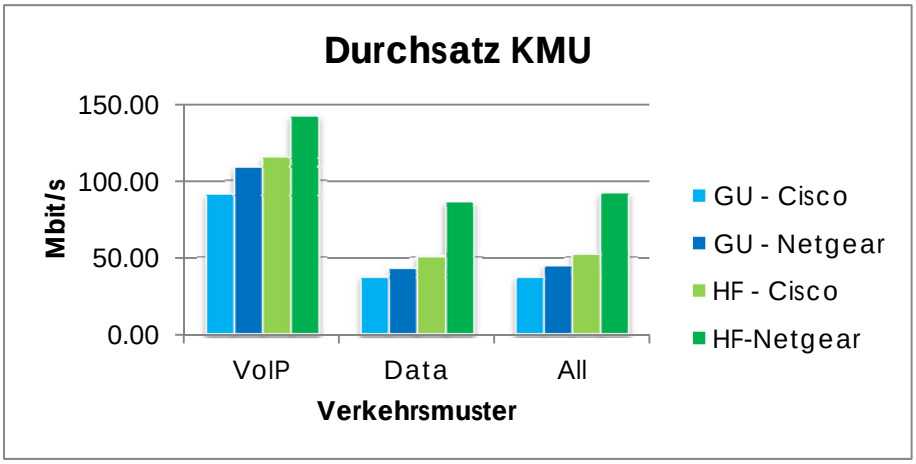
	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren	HF Gesendet
VoIP - Cisco	0	5287	0	7259
VoIP - Netgear	0	6572	0	6681
Data - Cisco	7	2662	1	3865
Data - Netgear	744	3416	2	4885
All - Cisco	6	2585	0	3917
All - Netgear	5102	7720	5102	4903

Obwohl im N-Standard 2.4 GHz mit 20 MHz der Durchsatz und Jitter beim Netzwerksverkehrsmuster „All“ deutlich stabiler bleibt, wird empfohlen, das Netzwerkverkehrsmuster „VoIP“ nicht dem normalen Netzwerk hinzuzufügen. Es gehen entsprechend zu viele Frames verloren, um eine Qualität der VoIP Calls zu gewährleisten.

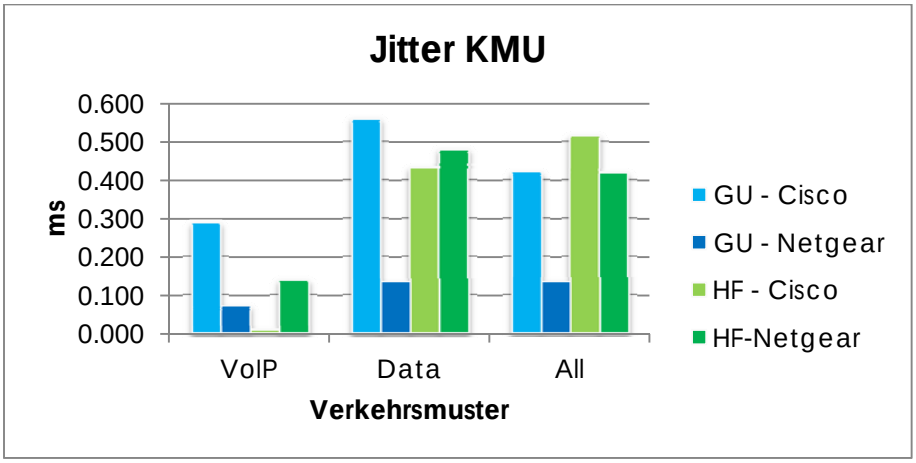
Obwohl es somit möglich wäre, das Netzwerkverkehrsmuster „VoIP“ dem Netzwerkverkehrsmuster „Data“ hinzuzufügen, kann vorhergesehen werden, dass bei einer Erweiterung der Client-Anzahl der Durchsatz kleiner und der Jitter entsprechend höher wird.

Falls es trotzdem erwünscht ist, diese Netzwerkverkehrsmuster zusammenzuschliessen, wird empfohlen, im laufenden Netzwerk mit iperf Jitter Messungen durchzuführen. Durch die Grundlage der erhöhten Last, der zusätzlichen Clients und daraus entstehend grösseren Verzögerungen können Einbussen in der Qualität der VoIP Calls entstehen.

2.4 GHZ 40 MHZ



	GU - Cisco	GU - Netgear	HF - Cisco	HF - Netgear
VoIP	91.05	108.78	115.24	141.77
Data	37.01	42.55	50.63	85.88
All	36.76	44.16	51.87	91.89



	GU - Cisco	GU - Netgear	HF - Cisco	HF - Netgear
VoIP	0.288	0.070	0.009	0.138
Data	0.560	0.134	0.433	0.480
All	0.421	0.134	0.515	0.419

Verlorene Frames

	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren	HF Gesendet
VoIP - Cisco	0	7751	0	9818
VoIP - Netgear	1	2072	1	9255
Data - Cisco	1	3143	0	4322
Data - Netgear	43	7363	33	3634
All - Cisco	1	3127	0	4411
All - Netgear	30	7832	742	4496

Geht man von einer „Internet Usage Policy“ in einem Unternehmen aus, kann im N-Standard 2.4 GHz 40 MHz gesagt werden, dass das Zusammenschliessen des Netzwerkverkehrsmusters „VoIP“ und „Data“ ohne grössere Probleme möglich ist. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass, wenn ein Unternehmen keine „Internet Usage Policy“ hat, und entsprechend der Durchsatz durch den ungezügelten Gebrauch des Internets vergrössert wird, die Werte im aktuellen Netzwerk mit iperf überprüft werden müssen.

Wie auch beim N-Standard 2.4 GHz 20 MHz ist die Qualität der VoIP Calls nur gewährleistet, wenn die Jitter Werte und entsprechenden Verzögerungen tief sind.

Als Schlussfolgerung gilt somit, dass mit der Grundlage einer „Internet Usage Policy“ von ca. zehn Clients pro Access Point und zehn gleichzeitigen Telefonaten im N-Standard 2.4 GHz 40 MHz das Netzwerk stabil benutzbar ist.

VERGLEICH MESSUNGEN STUDIENARBEITEN MIT MESSSTANDARDS

Die durchgeführten Messungen der Studienarbeiten von Fabian Beck, Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn wurden mit der kostenlosen Software IPerf durchgeführt.

Dieses Programm zeigt für jede durchgeführte Messung folgende Messwerte:

- Durchsatz (Bandbreite)
- Anzahl gesendeter UDP-Datengramme
- Anzahl verlorener UDP-Datengramme
- Jitter

Bei den Messungen wurden vom Client zum Server UDP-Datengramme übertragen und ausgewertet. Die Messungen und deren Werte, welche mit IPerf aufgezeichnet wurden, beziehen sich somit auf den Durchsatz der Transportschicht (Layer 4). Die Messstandards (RFC2544 und ITU-T Y.1564) hingegen beziehen sich auf die Sicherungsschicht (Layer 2). Zusätzlich schreiben die beiden Messstandards vor, dass die Messungen unter Verwendung von unterschiedlichen Framelängen stattfinden müssen. In den Studienarbeiten wurde nur die von IPerf vordefinierte Framelänge von 1534 Byte (WLAN) berücksichtigt.

Die Dauer jeder einzelnen Messung in den Studienarbeiten betrug 30 Sekunden. Die Messstandards sehen hier eine längere Dauer einer einzelnen Messung vor.

Die RFC 2544 und ITU-T Y.1564 Tests sehen folgende Messwerte vor:

- Durchsatz (Bandbreite)
- Latenz
- Frameverlustrate / Framefehlerrate

Zusätzlich ist beim ITU-T Y.1564 Messstandard in den Messwerten noch der Jitter enthalten.

Beide Messstandards dienen dazu, Ethernet-Messungen durchzuführen. Bei den bereits durchgeführten Messungen als auch in den Messungen in dieser Bachelorarbeit wird nicht nur Ethernet sondern auch WLAN verwendet.

Unserer Meinung nach können mit diesen Messstandards auch WLAN Messungen durchgeführt werden. Ethernet und WLAN haben genügend Gemeinsamkeiten.

Dazu gehören unter anderem die Kapselung der Daten in Frames. Die Frames werden über ein Medium übertragen und bei der Senke empfangen. Die Senke entkapselt die Daten aus dem empfangenen Frame und reicht sie der nächsten OSI-Schicht weiter. Dies ist bei WLAN als auch bei Ethernet der Fall.

Da beide Technologien auf Frames basieren, können die Messwerte wie Durchsatz, Frameverlustrate / Framefehlerrate, Latenz, etc. gemäss den Messstandards in beiden Technologien gemessen werden. Der Unterschied zwischen Ethernet und WLAN ist nur die Zugriffsart auf ein Übertragungsmedium. Bei Ethernet findet der Zugriff auf das Medium über den CSMA/CD Algorithmus statt. Dieser Algorithmus ermöglicht es, auftretende Kollisionen auf dem Medium zu erkennen und entsprechend darauf zu reagieren, indem die Datenübertragung abgebrochen wird und alle Stationen über die Kollision informiert werden. WLAN hingegen verwendet den CSMA/CA Algorithmus. Bei diesem Algorithmus besteht keine Möglichkeit, Kollisionen erkennen zu können. Bei CSMA/CA werden Kollisionen vermieden.

Bei beiden Technologien handelt es sich um ein geteiltes Medium. Das heisst, alle Stationen, welche an diesem Medium angeschlossen sind, teilen sich das Medium und deshalb auch die zur Verfügung stehende Bandbreite. In den letzten Jahren wurde durch den Einsatz von Switchen im Ethernet-Bereich jedem Teilnehmer ein Übertragungsmedium zur Verfügung gestellt, was dazu führt, dass in einem geswitchten LAN keine Kollisionen mehr auftreten und jedem Teilnehmer die ganze Bandbreite des Übertragungsmediums zur Verfügung steht. Dies ist bei WLAN nicht der Fall.

Wir sind der Meinung, dass durch die Ähnlichkeiten von Ethernet und WLAN, die Messungen im WLAN-Bereich auch mit den Messstandards (RFC 2544 und ITU-T Y.1564) durchgeführt werden können.

AUSWAHL MESSSTANDARD

Für die Messungen in dieser Bachelorarbeit wurde der RFC 2544 Messstandard ausgewählt.

Der Hauptgrund für die Auswahl des RFC 2544 Messstandards ist, dass er auf das Testen von Geräten innerhalb von LANs bezogen ist. Der ITU-T Y.1564 Messstandard richtet sich hauptsächlich auf das Testen von Carrier-Ethernet Diensten, wie es bei grossen Netzwerken von Service Providern der Fall ist. Dies zeichnet sich auch dadurch ab, dass die Tests der Bandbreite mit garantierten Datenraten bis hin zur EIR getestet werden. Die CIR und EIR Werte sind hauptsächlich Werte, welche man als Kunde bei einem Service Provider bezahlen muss. Der Service Provider muss gewährleisten, dass der Kunde auch das erhält, wofür er bezahlt. Aus diesem Grund muss der Service Provider diese Werte messen und verifizieren.

Des Weiteren nehmen die Messungen nach ITU-T Y.1564 mehr Zeit in Anspruch, als die RFC 2544 Messungen. Obwohl heute Geräte auf dem Markt sind, welche diese Tests automatisiert durchführen, ist die Dauer eines ITU-T Y.1564 Tests länger als ein RFC 2544 Test.

Ein Nachteil der RFC 2544 Tests ist, dass die Jitter Werte nicht in den Messresultaten verzeichnet sind. Warum der RFC 2544 den Jitter nicht aufführt, ist uns unklar. Recherchen ergaben jedoch, dass bei professionellen Messgeräten, welche nach RFC 2544 messen, der Jitter trotzdem mit gemessen wird.

Unsere Messungen nach RFC 2544 werden folgende Resultate enthalten:

- Durchsatz (Bandbreite)
- Frameverlustrate / Framefehlerrate
- Latenz
- Jitter (Falls durch Gerät / Software unterstützt)

Der RFC 2544 Standard sieht noch weitere Testdurchführungen wie Back-to-Back-, System Recovery- und Reset-Test vor. Diese werden in dieser Bachelorarbeit nicht durchgeführt.

Der Back-to-Back Test wird nicht durchgeführt, da er keine Angaben über den Durchsatz von WLANs macht. Vielmehr würde mit diesem Test der Puffer der Access-Points getestet werden.

Der System Recovery Test ist schwierig zu erreichen, da im WLAN nicht schneller gesendet werden kann als der maximal erreichbare Durchsatz.

Beim Reset Test liegt das Problem vor, dass sich die WLAN-Clients beim Ausschalten des Access Points nicht automatisch wieder mit dem Access-Point verbinden, sobald der Access Point wieder zur Verfügung steht. Diese Werte können somit nicht genau gemessen werden.

MESSSZENARIEN

Die Messszenarien sind durch die Studienarbeiten von Fabian Beck, Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn vorgegeben und werden vollständigkeitshalber aufgeführt. Die Szenarien sind bis auf kleine Änderungen identisch mit den vorhergehenden Studienarbeiten. Die neuen Messungen werden nur noch mit kurzen Präambeln und kurzen Guards durchgeführt.

MECHANISMEN

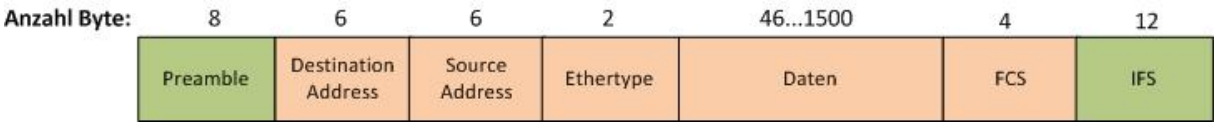
G-Standard	Short Preamble
E-Standard	Aktivierung von E-Standard
	EDCA-Parameter (Voice, Video, Data) -> Nur bei Netgear möglich -> Cisco unterstützt die EDCA-Parameter nicht
	Implementierung des E-Standards ist bei beiden Access-Points beeinträchtigt. Die Verwendung von Block-Acknowledgements wird nicht unterstützt.
N-Standard	2.4 GHz und 5 GHz Frequenzband
	20 MHz und 40 MHz Kanalbreite auf 5 GHz Frequenzband
	RIFS und Frame Aggregation nur bei Netgear möglich

THEORETISCHER DURCHSATZ

Der RFC 2544 schreibt vor, dass bei den Resultaten der Messungen der maximale theoretische Durchsatz dargestellt werden soll. Diese wurden für alle WLAN Standards, die im Kapitel Messszenarien aufgelistet sind, berechnet. Zusätzlich wurde noch der maximale Durchsatz von Ethernet berechnet. Der Rechnungsweg und die erhaltenen Resultate sind in diesem Kapitel aufgelistet.

ETHERNET

Häufig spricht man bei Ethernet davon, dass es 10, 100, 1000, etc. Mbps übertragen kann. Dies ist jedoch nicht auf den eigentlichen Datendurchsatz auf Layer 2, sondern auf die maximale Anzahl an Bits, welche pro Sekunde über das Medium übertragen werden können, bezogen. Bei Ethernet werden die eigentlichen Daten in ein Frame gepackt und über das Medium übertragen. Ein zu übertragendes Frame sieht auf dem Medium folgendermassen aus:



Zum eigentlichen Frame gehört die Ziel- und Quell-MAC-Adresse, der Ethertype, die Daten, als auch die FCS (Frame Check Sequence). Neben den eigentlichen Daten werden bei der Übertragung des Frames noch eine Präambel und ein IFS (Inter Frame Space) hinzugefügt. Die Präambel dient der Taktsynchronisierung zwischen dem Sender und dem Empfänger und besteht aus einer Folge von „01“. Die letzten zwei Bits der Präambel werden auf „11“ gesetzt. Diese dienen dem Empfänger als Signal, dass die nachfolgenden Bits zum Frame gehören und er diese empfangen muss. Der IFS ist der zeitlich minimale Abstand zwischen zwei ausgesendeten Frames. Beim IFS werden keine Bits übertragen. Stattdessen entsteht für die Dauer von 12 Byte eine Pause auf dem Ethernet-Netzwerk.

Die Dauer des IFS wird folgendermassen berechnet:

$$IFS[t| = \frac{12\ Byte * 8}{\text{Übertragungskapazität}}$$

Bei einer Übertragungskapazität von 10 Mbps folgt zwischen dem Aussenden von zwei Frames eine Pause von 9.6 µs.

Die Präambel und der IFS liefern keinen Beitrag für die Übertragung von Daten. Um auf den maximalen theoretischen Datendurchsatz auf Layer 2 zu kommen, dürfen diese Werte nicht mit einbezogen werden.

Die Angaben der theoretischen Werte für Ethernet werden in Frames pro Sekunde oder als maximaler Datendurchsatz angegeben und berechnet. Bei diesen Werten handelt es sich um maximale Werte. Es wird davon ausgegangen, dass ein Client immer senden und auf das Medium zugreifen kann.

Die Anzahl Frames pro Sekunde kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$Frames\ pro\ Sekunde = \frac{maximale\ \text{Übertragungsrate}}{8 * (Preamble + Framelänge + IFS)}$$

Aus der Anzahl Frames, welche pro Sekunde gesendet werden können, kann nun der Datendurchsatz auf Layer 2 bestimmt werden. Dies wird mit der unten aufgeführten Formel berechnet:

$$Datendurchsatz\ [bps] = Frames\ pro\ Sekunde * Framelänge *\ 8$$

Über den Datendurchsatz und der maximalen Übertragungsrate kann auch der Overhead, welcher durch die Präambel und den IFS generiert wird, berechnet werden.

$$Overhead\ [bps] = maximale\ \text{Übertraungsrate} - Datendurchsatz$$

oder

$$Overhead\ [bps] = Frames\ pro\ Sekunde\ * Overhead\ [Byte] * 8$$

In den folgenden Tabellen sind die theoretischen Werte (Frames pro Sekunde, Datendurchsatz und Overhead) für 10, 100 und 1000 Mbps unter Einbezug der verschiedenen Framelängen aufgelistet.

10 Mbit/s			
Framelänge	**Datendurchsatz**	**Overhead (Präambel und IFS)**	**Frames pro Sekunde**
64 Byte	7.62 Mbit/s	2.38 Mbit/s	14'880
82 Byte	8.04 Mbit/s	1.96 Mbit/s	12’254
128 Byte	8.65 Mbit/s	1.35 Mbit/s	8'445
256 Byte	9.27 Mbit/s	0.72 Mbit/s	4'528
512 Byte	9.62 Mbit/s	0.38 Mbit/s	2'349
530 Byte	9.63 Mbit/s	0.36 Mbit/s	2’272
1024 Byte	9.81 Mbit/s	0.19 Mbit/s	1'197
1280 Byte	9.84 Mbit/s	0.15 Mbit/s	961
1518 Byte	9.87 Mbit/s	0.13 Mbit/s	812

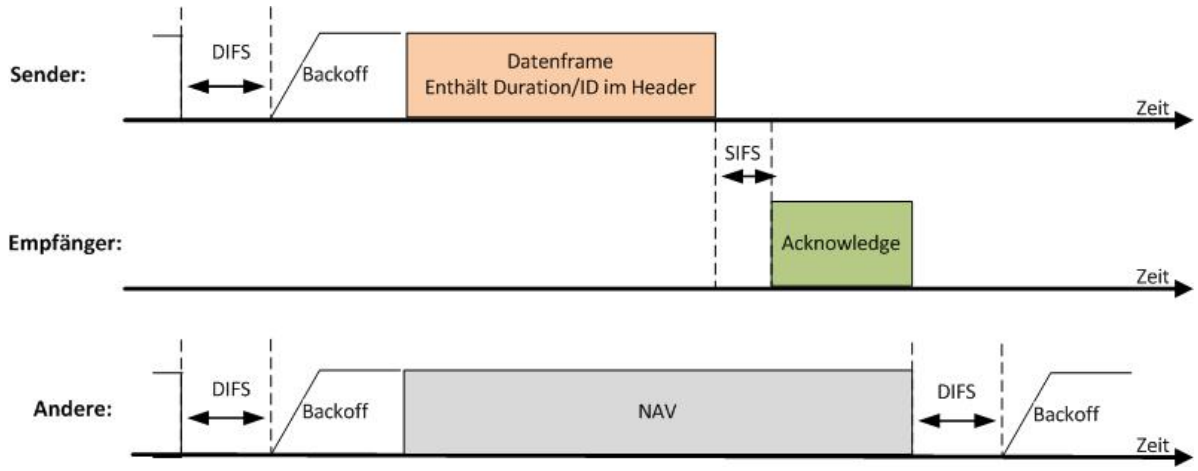
100 Mbit/s			
Framelänge	**Datendurchsatz**	**Overhead (Präambel und IFS)**	**Frames pro Sekunde**
64 Byte	76.19 Mbit/s	23.81 Mbit/s	148'809
82 Byte	80.39 Mbit/s	19.61 Mbit/s	122’549
128 Byte	86.49 Mbit/s	13.51 Mbit/s	84'459
256 Byte	92.75 Mbit/s	7.25 Mbit/s	45'289
512 Byte	96.24 Mbit/s	3.76 Mbit/s	23'496
530 Byte	96.36 Mbit/s	3.64 Mbit/s	22’727
1024 Byte	98.08 Mbit/s	1.92 Mbit/s	11'973
1280 Byte	98.46 Mbit/s	1.54 Mbit/s	9'615
1518 Byte	98.70 Mbit/s	1.30 Mbit/s	8'127

1 Gbit/s			
Framelänge	**Datendurchsatz**	**Overhead (Präambel und IFS)**	**Frames pro Sekunde**
64 Byte	761.90 Mbit/s	238.10 Mbit/s	1'488'095
82 Byte	803.92 Mbit/s	196.08 Mbit/s	1'225'490
128 Byte	864.86 Mbit/s	135.14 Mbit/s	844'594
256 Byte	927.54 Mbit/s	72.46 Mbit/s	452'898
512 Byte	962.40 Mbit/s	37.59 Mbit/s	234'962
530 Byte	963.63 Mbit/s	36.36 Mbit/s	227'272
1024 Byte	980.84 Mbit/s	19.16 Mbit/s	119'731
1280 Byte	984.61 Mbit/s	15.38 Mbit/s	96'153
1518 Byte	986.99 Mbit/s	13.00 Mbit/s	81'274

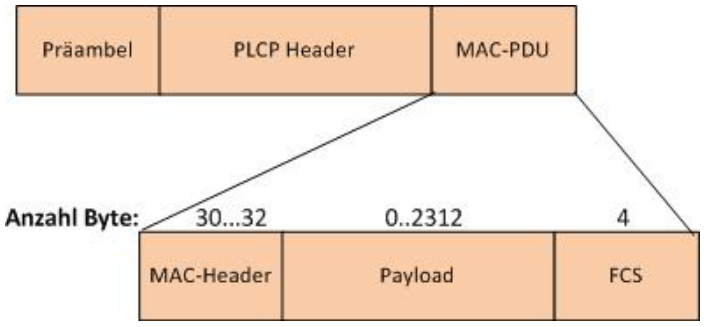
WIRELESS

G-STANDARD

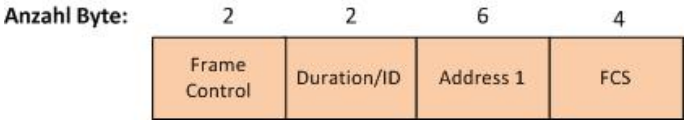
Die Berechnung des maximalen Datendurchsatzes in WLANs ist nicht so trivial wie es bei Ethernet der Fall ist. Folgendes Bild zeigt die Übertragung eines Frames in einem reinen 802.11g WLAN auf.



Ein Datenframe das über WLAN übertragen wird, ist wie folgt aufgebaut:



Der Aufbau des dazugehörigen Acknowledgement-Frames ist unten abgebildet:



Das Acknowledgement-Frame hat eine Länge von 14 Byte.

Bei der Übertragung von Datenframes innerhalb eines 802.11g WLANs wird der erfolgreiche Empfang jedes ausgesendeten Unicast-Datenframes durch den Empfänger bestätigt. Daraus resultiert, dass für die Übertragung eines einzelnen Datenframes zwei Frames übertragen werden müssen. Eigentliche Daten werden nur im Datenframe und im Acknowledgement-Frame übertragen. Bei DIFS, Backoff und SIFS handelt es sich nicht um Daten welche übertragen werden, sondern um Wartezeiten. Möchte ein Sender ein Frame senden, so muss er um eine DIFS- und eine Backoff-Dauer warten, bevor er auf das Medium zugreifen darf und sein Datenframe aussenden kann. Hat der Empfänger das Frame erhalten, muss er eine SIFS-Dauer warten, bis er das Acknowledgement-Frame senden darf. Diese Zeitdauern sind durch den jeweiligen Standard vorgegeben. Die folgenden Zeiten gelten für ein 802.11g WLAN unter Verwendung der Short Präambel.

Maximale Übertragungsrate	54 Mbps
DIFS	28 µs
Backoff	CW * SlotTime (15/2)*9 µs

Da der Backoff-Algorithmus zufällig ein CW von 0 bis 15 auswählt, wird in diesen Berechnungen angenommen, dass im Mittel das CW 15/2 ist.

SIFS	10 µs
Preamble (Short)	20 µs
Physical-Layer-Header (OFDM)	4 µs

Durch die oben genannten Angaben kann der maximale Datendurchsatz für 801.11g WLANs auf Layer 2 berechnet werden. Dazu wird folgende Formel verwendet:

$$Datendurchsatz\ [bps] = \frac{Framelänge * 8}{Ft + DIFS + Backoff + SIFS + ACK}$$

Der Wert von Ft in der obigen Formel repräsentiert die Zeitdauer, die benötigt wird, um das ganze Frame über das Medium zu übertragen. Dies lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$Ft\ [t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{Daten_Framelänge * 8}{maximale\ Übertragunsrate}$$

Das Acknowledgement-Frame wird nach Abwarten eines SIFS sofort ausgesendet. Die Zeitdauer für die Übertragung eines Acknowledgement-Frames wird wie folgt berechnet:

$$Ack\ [t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{ACK_Framelänge * 8}{maximale\ Übertragungsrate}$$

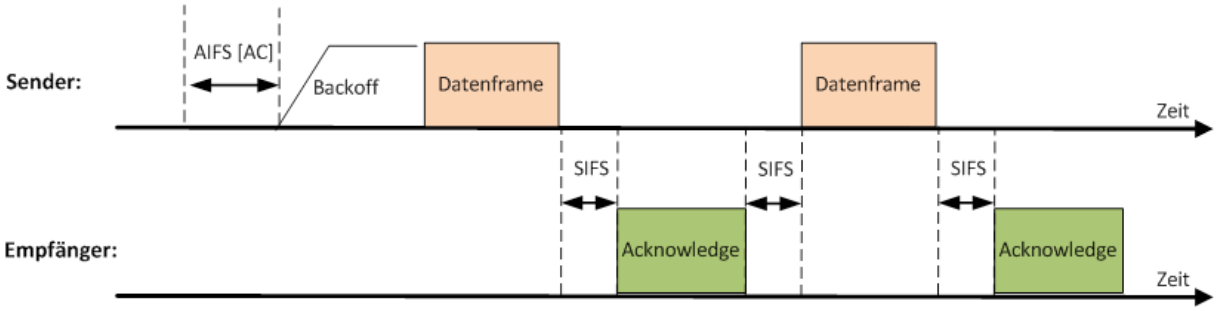
In der nachfolgenden Tabelle wurden die Werte für verschiedene Framelängen berechnet. Die Framelängen für WLAN wurden aus den Ethernet-Framelängen abgeleitet. Dabei wurde bei jeder Ethernet-Framelänge der Ethernet-Header und die FCS entfernt und daraus resultierten die Daten (PDU's), welche über Layer 2 zu übertragen sind. Diesen Daten wurde dann der WLAN-Header von 30 Byte hinzugefügt und daraus resultierte die Framelänge für die WLAN-Übertragung. Bei diesen Werten handelt es sich um den theoretisch maximalen Datendurchsatz. Es ist davon auszugehen, dass ein Client immer nach Ablauf des DIFS und Backoff sofort mit der Übertragung beginnen kann. Des Weiteren werden Management-Frames wie beispielsweise Beacons nicht berücksichtigt, obwohl diese in gewissen Intervallen vom Access-Point ausgesendet werden.

802.11g	
Framelänge	**Datendurchsatz**
80 Byte	3.76 Mbit/s
98 Byte	4.53 Mbit/s
144 Byte	6.40 Mbit/s
272 Byte	10.94 Mbit/s
528 Byte	17.84 Mbit/s
546 Byte	18.24 Mbit/s
1040 Byte	26.61 Mbit/s
1296 Byte	29.58 Mbit/s
1534 Byte	31.81 Mbit/s
2346 Byte	37.08 Mbit/s

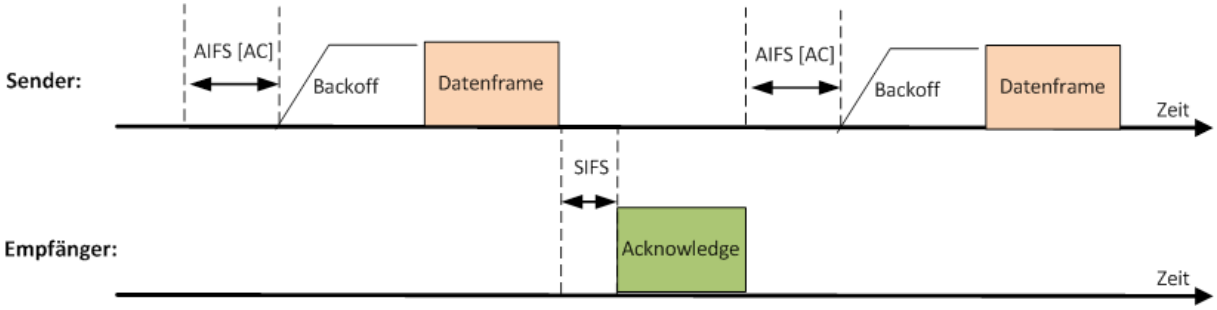
E-STANDARD

Der E-Standard ist eine Ergänzung des G- bzw. A-Standards und spezifiziert QoS (Quality of Service) für WLANs. Dadurch lassen sich auch zeitkritische Daten wie Sprache oder Video über die Luftschnittstelle übertragen. Die nachfolgend durchgeführten Berechnungen basieren auf der Verwendung von Bursting und spezifischen AIFS-Werten. Zusätzlich wird von uns noch eine Berechnung ohne die Verwendung von Bursting durchgeführt, das heisst, nur mittels AIFS-Werten.

Folgendes Bild zeigt eine Datenübertragung, wie es beim E-Standard unter Verwendung von Bursting vorkommt:



Das nachfolgende Bild zeigt eine Datenübertragung ohne Verwendung von Bursting aber mit spezifischen AIFS-Werten:



Ein Hauptvorteil bei der Übertragung von Daten im E-Standard ist die Verwendung von Bursts. Vergleicht man die Datenübertragung mit dem G-Standard, so fällt auf, dass nicht nach jedem erhaltenen Acknowledgement wieder eine DIFS und Backoffzeit gewartet werden muss, um das nächste Frame auszusenden.

Beim E-Standard kann nach dem Erhalt eines Acknowledgement nach einer SIFS Zeitdauer das nächste Frame ausgesendet werden. Eine weitere Ergänzung des E-Standards ist das AIFS (Arbitration Inter Frame Spacing). Der E-Standard ermöglicht die Klassifizierung des vorhandenen Verkehrs. Diese Klassifizierung wird über das EDCF (Enhanced Distribution Coordination Function) koordiniert. Dabei werden 4 Warteschlangen (Priority Queues) eingeführt. Eine für die Sprache, eine für das Video, eine für den Best Effort und eine für den Background. Jede dieser Warteschlangen hat einen bestimmten Inter-Frame Spacing (AIFS) Wert zugeordnet. Je höher die Priorität der Warteschlange ist, desto kürzer ist der Inter-Frame Space (AIFS). Dies stellt sicher, dass Frames in einer höher priorisierten Queue schneller auf das Medium zugreifen können als niedriger priorisierte Daten. Der Standard sieht unter Verwendung des G-Standards im 2.4 GHz-Bereich folgende AIFS Werte vor:

AC	**802.11g AIFS[AC]**
Voice	28 µs
Video	28 µs
Best Effort	37 µs
Background	73 µs

In den nachfolgenden Berechnungen werden die Zeiten des G-Standards verwendet. Dies aus dem Grunde, weil unsere Messungen des E-Standards unter Verwendung des G-Standards (2.4 GHz Frequenzbereich und OFDM) durchgeführt werden. Für die Berechnung des E-Standards werden folgende Zeiten des G-Standards verwendet:

Maximale Übertragungsrate	54 Mbps	
Backoff	**Daten**	135/2 µs
	Sprache	27/2 µs
	Video	63/2 µs
SIFS	10 µs	
Preamble (Short)	20 µs	
Physical-Layer-Header (OFDM)	4 µs	

E-STANDARD OHNE BURSTING

Für die Berechnung des E-Standards muss zuerst das F(t) bestimmt werden. Dabei handelt es sich um die Zeitdauer, die benötigt wird, um ein Frame mit einer bestimmten Länge über das Medium zu übertragen.

$$Ft\ [t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{Daten_Framelänge * 8}{maximale\ Übertragunsrate}$$

Als nächstes wird die Gesamtzeit berechnet, wie lange als ein Frame benötigt, um vom Empfänger ausgesendet, übertragen und bestätigt zu werden:

$$Framedauer\ [t] = AIFS[AC] + Backoff\ [AC] + \ Ft + SIFS + ACK$$

Da nun die Zeitdauer, um ein Frame zu versenden, zu übertragen und zu bestätigen, feststeht, kann die Anzahl an Frames, welche pro Sekunde ausgesendet werden kann, berechnet werden:

$$Fps = \frac{1\ Sekunde}{Framedauer}$$

Mit dem Erhalt der Anzahl Frames pro Sekunde kann als nächstes der Durchsatz auf Layer 2 bestimmt werden. Dazu multipliziert man die Anzahl Frames pro Sekunde mit der entsprechenden Framelänge * 8. Es resultiert die Anzahl Bits pro Sekunde.

$$Durchsatz\ [bps] = Fps * Framelänge * 8$$

Durch die Verwendung des E-Standards ohne Bursting resultieren folgende Werte:

Daten	
Framelänge	**Datendurchsatz**
80 Byte	3.56 Mbit/s
98 Byte	4.30 Mbit/s
144 Byte	6.09 Mbit/s
272 Byte	10.46 Mbit/s
528 Byte	17.18 Mbit/s
546 Byte	17.58 Mbit/s
1040 Byte	25.86 Mbit/s
1296 Byte	28.83 Mbit/s
1534 Byte	31.07 Mbit/s
2346 Byte	36.42 Mbit/s

Video	
Framelänge	**Datendurchsatz**
80 Byte	4.76 Mbit/s
98 Byte	5.72 Mbit/s
144 Byte	8.00 Mbit/s
272 Byte	13.36 Mbit/s
528 Byte	21.03 Mbit/s
546 Byte	21.46 Mbit/s
1040 Byte	30.07 Mbit/s
1296 Byte	32.95 Mbit/s
1534 Byte	35.07 Mbit/s
2346 Byte	39.91 Mbit/s

Voice	
Framelänge	**Datendurchsatz**
80 Byte	5.49 Mbit/s
98 Byte	6.58 Mbit/s
144 Byte	9.15 Mbit/s
272 Byte	15.02 Mbit/s
528 Byte	23.10 Mbit/s
546 Byte	23.55 Mbit/s
1040 Byte	32.16 Mbit/s
1296 Byte	34.96 Mbit/s
1534 Byte	36.97 Mbit/s
2346 Byte	41.49 Mbit/s

E-STANDARD MIT BURSTING

Für die Berechnung des E-Standards unter Verwendung des Burstings muss zuerst das F(t) bestimmt werden. Dabei handelt es sich wieder um die Zeitdauer, die benötigt wird, um ein Frame mit einer bestimmten Länge über das Medium zu übertragen.

$$Ft\ [t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{Daten_Framelänge * 8}{maximale\ Übertragunsrate}$$

Als nächstes müssen die einzelnen Frames unterschieden werden. Beim Einsatz von Bursting im E-Standard wird nur für das erste ausgesendete Frame ein Backoff und ein AIFS verwendet. Zwischen den restlichen ausgesendeten Frames wird kein Backoff und AIFS, sondern nur noch ein SIFS verwendet.

Die Zeitdauer, um auf das Medium zuzugreifen und das erste Frame zu übertragen, wird folgendermassen berechnet:

$$FT_{Frame1}[t] = AIFS[AC] + Backoff\ [AC] +\ Ft + SIFS + ACK + SIFS$$

Bei den AIFS[AC] und Backoff[AC] Werten wurde die oben aufgelisteten Tabelle verwendet. Die ACK-Dauer ist wie beim G-Standard 29 µs.

Nachdem das erste Frame ausgesendet wurde, können die restlichen Frames ohne Backoff und AIFS ausgesendet werden. Die Zeitdauer pro Frame, um die restlichen Frames zu übertragen, kann wie folgt berechnet werden:

$$Ft_{Frame2..n}[t] = SIFS +\ Ft + SIFS + ACK$$

Als nächstes muss herausgefunden werden, wie viele Frames pro Sekunde mit einer verkürzten Übertragung gesendet werden können. Dies berechnet sich durch die Subtraktion einer Sekunde mit der Zeitdauer der Übertragung des ersten Frames. Die erhaltene Zeit wird dann durch die Zeitdauer der Übertragung eines Frames ohne Backoff und AIFS Zeit dividiert.

$$Fps = \frac{1\ Sekunde - FT_{Frame1}}{FT_{Frame2}..n}$$

Die erhaltenen Frames pro Sekunden, welche ohne Backoff und AIFS Werte übertragen werden können, müssen selbstverständlich auf ganze Zahlen abgerundet werden.

Um schlussendlich den Durchsatz zu bestimmen, muss man das erste Frame und die Anzahl an Frames pro Sekunde, welche via Burst übertragen werden können, addieren. Danach multipliziert man die Gesamtanzahl an Frames welche pro Sekunde übertragen werden können. Die Gesamtanzahl an Frames wird dann wieder mit der Framelänge und 8 multipliziert.

$$Durchsatz\ [bps] = (Fps + 1) * Framelänge * 8$$

Daten	
Framelänge	**Datendurchsatz**
80 Byte	7.53 Mbit/s
98 Byte	8.95 Mbit/s
144 Byte	12.20 Mbit/s
272 Byte	19.19 Mbit/s
528 Byte	27.92 Mbit/s
546 Byte	28.37 Mbit/s
1040 Byte	36.62 Mbit/s
1296 Byte	39.10 Mbit/s
1534 Byte	40.85 Mbit/s
2346 Byte	44.61 Mbit/s

Video	
Framelänge	**Datendurchsatz**
80 Byte	7.53 Mbit/s
98 Byte	8.95 Mbit/s
144 Byte	12.20 Mbit/s
272 Byte	19.19 Mbit/s
528 Byte	27.92 Mbit/s
546 Byte	28.37 Mbit/s
1040 Byte	36.62 Mbit/s
1296 Byte	39.10 Mbit/s
1534 Byte	40.85 Mbit/s
2346 Byte	44.61 Mbit/s

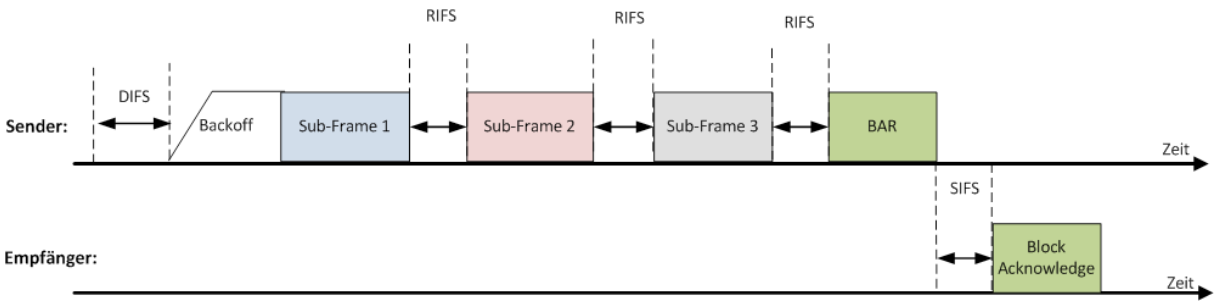
Voice	
Framelänge	**Datendurchsatz**
80 Byte	7.53 Mbit/s
98 Byte	8.95 Mbit/s
144 Byte	12.20 Mbit/s
272 Byte	19.19 Mbit/s
528 Byte	27.92 Mbit/s
546 Byte	28.37 Mbit/s
1040 Byte	36.62 Mbit/s
1296 Byte	39.10 Mbit/s
1534 Byte	40.85 Mbit/s
2346 Byte	44.61 Mbit/s

N-STANDARD

Die Berechnungen des Datendurchsatzes des N-Standards basieren auf zwei neu eingeführten Technologien zur Übertragung von Frames. Zu diesen gehört das RIFS und das Aggregieren von Frames. Der N-Standard erlaubt es, über mehrere Streams Daten zu senden oder zu empfangen. Die unten aufgeführten Datendurchsätze basieren unter der Verwendung eines einzelnen Spatial Streams und einem Short Guard Interval von 400 ns. Möchte man den Durchsatz von mehreren Spatial Streams haben, so kann der Datendurchsatz mit der Anzahl verfügbaren Spatial Streams multipliziert werden.

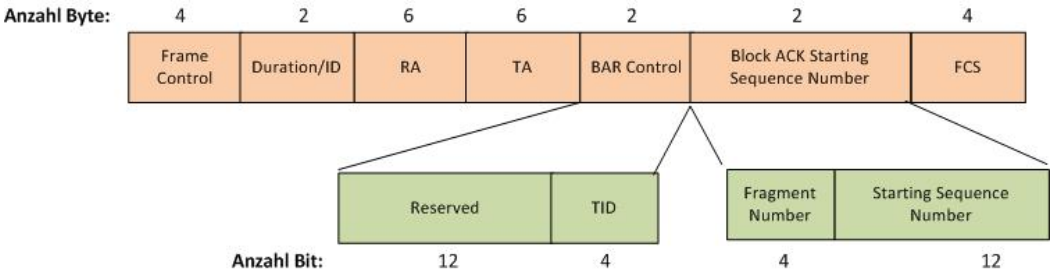
RIFS

Zwischen zwei auszusendenden Frames wird immer eine Pause eingelegt. Je nach verwendetem Frame-Typ ist dieser Abstand unterschiedlich lange. Der N-Standard hat zur Steigerung des Datendurchsatzes einen weiteren IFS, den Reduced Inter Frame Space, eingeführt. Der RIFS wird dann eingesetzt, wenn die Daten nicht aggregiert werden können, aber ein Burst an Daten gesendet wird. Wenn der Sender nun an den Empfänger mehrere Frames hintereinander sendet, dann muss zwischen den einzelnen Frames nicht ein ganzer SIFS abgewartet werden, bis das nächste Frame gesendet werden darf. Das nächste zu sendende Frame kann nach Ablauf eines RIFS (2 µs) sofort ausgesendet werden. Des Weiteren können bis zu 64 Frames ausgesendet werden, bevor eine Empfangsbestätigung angefordert wird. Dazu sendet der Sender ein Block-Acknowledgement Request(BAR) aus. Der Empfänger bestätigt dann den Erhalt der Frames wiederum mit einem Block Acknowledgement.

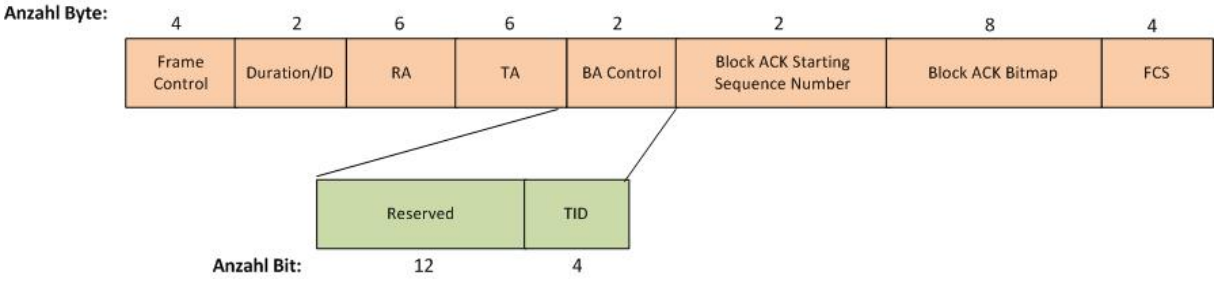


Vollständigkeitshalber sind in den unten aufgeführten Bildern das BAR- und das Block-Acknowledgement-Frame abgebildet.

BAR-Frame:



Block-Acknowledgement-Frame:



Zur Berechnung des Datendurchsatzes unter Verwendung von RIFS müssen als erstes folgende Parameter berechnet werden.

Der Wert von Ft in der unten aufgeführten Formel repräsentiert die Zeitdauer, die benötigt wird, um das ganze Frame über das Medium zu übertragen. Dies lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$Ft\,[t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{Daten_Framel\ddot{a}nge * 8}{maximale\ \ddot{U}bertragunsrate}$$

Wie beim E-Standard wird bei Verwendung von RIFS nur beim ersten Frame, welches ausgesendet wird, eine DIFS- und Backoff-Dauer abgewartet. Die Zeitdauer, um das erste Frame zu übertragen, ist somit:

$$FT_{Frame1}[t] = DIFS + Backoff + Ft$$

Nachdem das erste Frame ausgesendet wurde, können die restlichen Frames ohne Backoff und DIFS ausgesendet werden. Die Zeitdauer pro Frame, um die restlichen Frames zu übertragen, kann wie folgt berechnet werden:

$$Ft_{Frame2..n}[t] = RIFS + Ft$$

Als nächstes wird berechnet, wie viel Zeit benötigt wird für die Übertragung eines Bursts von maximal 64 Frames. Dabei benötigt das erste Frame eine Übertragungsdauer von Ft_{Frame1} und die restlichen 63 Frames eine Dauer von $Ft_{Frame2..n}$

$$Ft_{Burst}[t] = FT_{Frame1} + 63 * FT_{Frame2}..n$$

Nachdem die 64 Frames übertragen wurden, sendet der Sender ein BAR-Frame aus. Dieses Frame hat eine Länge von 26 Byte. Die Übertragungsdauer des BAR-Frames wird folgendermassen berechnet:

$$BAR[t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{BAR_{Framelänge} * 8}{maximale\ Übertragungsrate}$$

Das Block-Acknowledgement-Frame wird nach Abwarten eines SIFS sofort ausgesendet. Die Zeitdauer für die Übertragung eines Block-Acknowledgement-Frames wird wie folgt berechnet:

$$BlockACK\ [t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{BlockACK_Framelänge * 8}{maximale\ Übertragungsrate}$$

Nun hat man alle wesentlichen Parameter, um die Zeitdauer zum Versenden eines Burst von 64 Frames inkl. BAR und Block-Acknowledgement zu bestimmen.

$$Burst_{Dauer}[t] = Ft_{Burst} + RIFS + BAR + SIFs + BlockAck$$

Es kann nun berechnet werden, wie viele dieser Bursts pro Sekunde gesendet werden können:

$$Bursts\ pro\ Sekunde = \frac{1}{Burst_{Dauer}}$$

Der Durchsatz schlussendlich lässt sich dann mit folgender Formel berechnen:

$$Durchsatz\ [bps] = Framelänge * 8 * 64 * Bursts\ pro\ Sekunde$$

RIFS 2.4 GHZ FREQUENZBEREICH UND 20 MHZ KANALBREITE

Die Berechnungen des Datendurchsatzes unter Verwendung von RIFS im 2.4 GHz Frequenzbereich und mit einer Kanalbreite von 20 MHz wurden mit folgenden Werten durchgeführt:

Maximale Übertragungsrate	Durchsatz auf Layer 1 pro Spatial Stream 72,2 Mbps[5]
Backoff	(15/2)*9 µs
DIFS	28 µs
SIFS	10 µs
RIFS	2 µs
Preamble (Short)	16 µs
Physical-Layer-Header (OFDM)	4 µs

Framelänge	Datendurchsatz
80 Byte	19.25 Mbit/s
98 Byte	22.22 Mbit/s
144 Byte	28.53 Mbit/s
272 Byte	39.82 Mbit/s
528 Byte	50.82 Mbit/s
546 Byte	51.43 Mbit/s
1040 Byte	59.10 Mbit/s
1296 Byte	61.71 Mbit/s
1534 Byte	62.83 Mbit/s
2346 Byte	64.86 Mbit/s

RIFS 5 GHZ FREQUENZBEREICH UND 20 MHZ KANALBREITE

Die Berechnungen des Datendurchsatzes unter Verwendung von RIFS im 5 GHz Frequenzbereich und mit einer Kanalbreite von 20 MHz wurden mit folgenden Werten durchgeführt:

Maximale Übertragungsrate	Durchsatz auf Layer 1 pro Spatial Stream 72,2 Mbps[5]
Backoff	(15/2)*9 µs
DIFS	34 µs
SIFS	16 µs
RIFS	2 µs
Preamble (Short)	16 µs
Physical-Layer-Header (OFDM)	4 µs

Framelänge	Datendurchsatz
80 Byte	19.12 Mbit/s
98 Byte	22.12 Mbit/s
144 Byte	28.38 Mbit/s
272 Byte	39.69 Mbit/s
528 Byte	50.82 Mbit/s
546 Byte	51.15 Mbit/s
1040 Byte	59.10 Mbit/s
1296 Byte	61.04 Mbit/s
1534 Byte	62.83 Mbit/s
2346 Byte	64.86 Mbit/s

RIFS 5 GHZ-FREQUENZBEREICH UND 40 MHZ KANALBREITE

Die Berechnungen des Datendurchsatzes unter Verwendung von RIFS im 5 GHz Frequenzbereich und mit einer Kanalbreite von 20 MHz wurden mit folgenden Werten durchgeführt:

Maximale Übertragungsrate	Durchsatz auf Layer 1 pro Spatial Stream 150 Mbps[5]
Backoff	(15/2)*9 µs
DIFS	34 µs
SIFS	16 µs
RIFS	2 µs
Preamble (Short)	16 µs
Physical-Layer-Header (OFDM)	4 µs

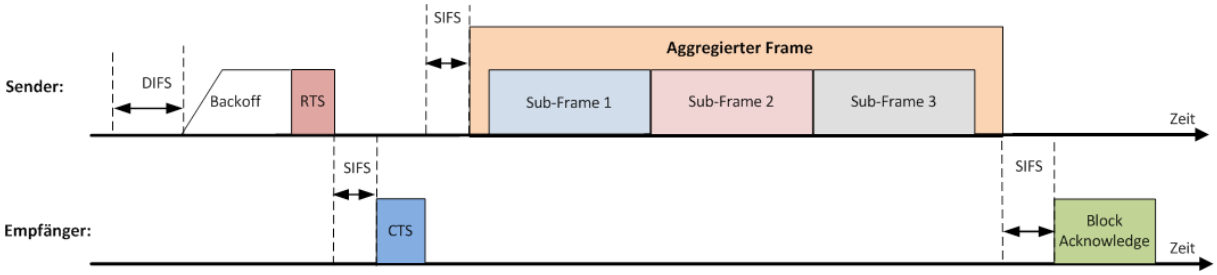
Framelänge	Datendurchsatz
80 Byte	22.20 Mbit/s
98 Byte	26.34 Mbit/s
144 Byte	35.75 Mbit/s
272 Byte	55.70 Mbit/s
528 Byte	80.01 Mbit/s
546 Byte	81.34 Mbit/s
1040 Byte	103.83 Mbit/s
1296 Byte	110.14 Mbit/s
1534 Byte	114.66 Mbit/s
2346 Byte	124.91 Mbit/s

FRAME AGGREGATION

Eine weitere Technologie, die mit dem N-Standard gekommen ist, ist das Aggregieren von Frames.

Dabei werden mehrere einzelne Frames zu einem grossen Frame zusammen gebündelt. Die maximale Länge eines solchen Frames beträgt 64 MPDUs. Dadurch wird anstelle von vielen kurzen Frames, deren Empfang bestätigt werden müssen, ein langes Frame gesendet. Der Empfang der einzelnen Sub-Frames wird anschliessend vom Empfänger mit einem Block Acknowledgement bestätigt.

Beim Aggregieren von Frames kommt der RTS-/CTS-Mechanismus zum Einsatz. Die Übertragung eines aggregierten Frames über WLAN ist im unteren Bild dargestellt.

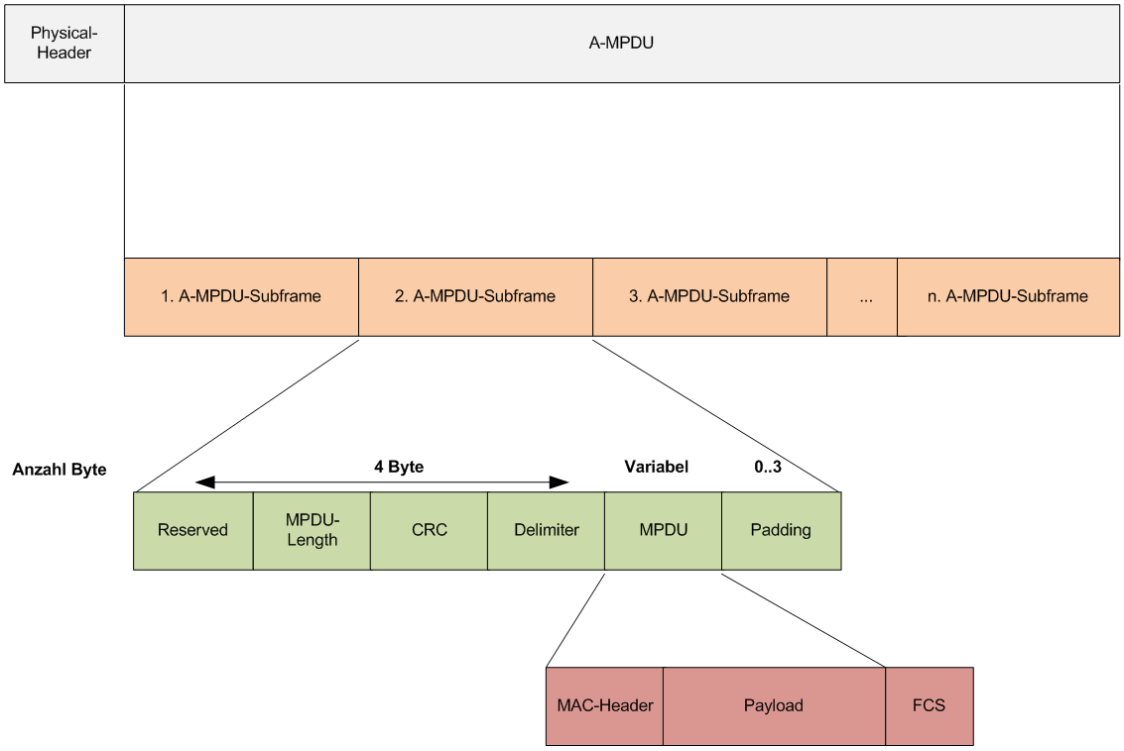


Die nachfolgenden Berechnungen basieren auf der Verwendung der MPDU Aggregation. Dies deshalb, weil die Access-Points, die wir für diese Bachelorarbeit verwenden, nur die Aggregation mittels A-MPDU unterstützen.

Bei der Aggregation mittels A-MPDU werden mehrere Frames zu einer sogenannten A-MPDU zusammengefasst. Bei den MPDU-Subframes handelt es sich um komplette Frames inklusive MAC-Header, Payload und Frame Check Sequence (FCS).

Zur Bildung des A-MPDU Frames wird jedem Frame noch ein vier Byte langer Header hinzugefügt. Des Weiteren gibt es noch ein Padding, da ein Subframe immer ein Vielfaches von 4 Byte sein muss.

Der Aufbau eines A-MPDU Frames ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Zur Berechnung des Durchsatzes unter Verwendung der Frame-Aggregation wird als erstes bestimmt, wie lange es dauert, um ein aggregiertes Frame mit 64 Sub-Frames zu übertragen. Dazu müssen als erstes die Zeiträume berechnet werden, wie lange es dauert, um RTS, CTS, Block-Acknowledgement und das aggregierte Frame zu übertragen.

Das RTS-Frame hat eine Länge von 20 Byte. Durch Sniffen der Aggregation wurde herausgefunden, dass die RTS-/CTS-Frames mit einer Geschwindigkeit von 24 Mbps und nicht mit der vollen verfügbaren Datenrate übertragen werden. Das CTS-Frame hat eine Länge von 14 Byte. Daraus kann nun berechnet werden, wie lange die Übertragung eines RTS- bzw. CTS-Frame dauert.

$$RTS[t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{20\ Byte * 8}{24\ Mbps}$$

$$CTS[t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{14\ Byte * 8}{24\ Mbps}$$

Nun kann auch die Dauer für das Übertragen des Block-Acknowledgement Frame berechnet werden. In diesen Berechnungen wird das Compressed Block-Acknowledgement verwendet, da dies von den Access-Points verwendet wird. Das BA-Frame hat eine Länge von 32 Byte.

$$BA[t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + \frac{32\ Byte * 8}{maximale\ Übertragungsrate}$$

Als nächstes wird die Sub-Frame Länge berechnet. Dies entspricht der Framelänge inkl. einem A-MPDU Header von 4 Byte.

$$Subframelänge = 4\ Byte + Framelänge$$

Des Weiteren muss das Padding berücksichtigt werden, da die Subframelänge immer ein Vielfaches von 4 Byte sein muss. Dazu wird die Subframelänge Modulo 4 gerechnet. Ist das Ergebnis 0, dann kann fortgefahren werden, ansonsten muss das erhaltene Resultat der Modulo Rechnung mit der Subframelänge addiert werden.

$$Padding = Subframelänge[t] = 4\ Byte\ \%\ 4$$

$$Falls\ Padding = 0 \rightarrow\ dann\ Subframelänge = Subframelänge$$

$$sonst\ Subframelänge = Padding + Subframelänge$$

Eine A-MPDU besteht aus max. 64 solcher Subframes. Um die Anzahl Bytes zu erhalten, welche innerhalb eines solchen A-MPDU Frames vorhanden sind, muss die Subframelänge mit 64 multipliziert werden.

$$Framelänge_{A-MPDU} = 64 * Subframelänge$$

Mit der A-MPDU Framelänge hat man nun die Anzahl Bytes, welche mit einem einzigen langen Frame übertragen werden können. Als nächstes kann die Zeitdauer für die Übertragung des A-MPDU aggregierten Frames berechnet werden.

$$Ft_{A-MPDU}[t] = \frac{Framelänge_{A-MPDU} * 8}{maximale\ Übertragungsrate}$$

Nachdem die Dauer zur Übertragung des A-MPDU aggregierten Frames bekannt ist, kann die gesamte Zeitdauer berechnet werden. Dazu kommen noch die RTS-/CTS-Zeiten, der DIFS, der Backoff, SIFS und die Block-Acknowledgement Zeitdauer dazu. Somit hat man die Zeitdauer für die Übertragung eines aggregierten Frames.

$$Ft[t] = Preamble + PhysicalLayerHeader + DIFS + Backoff + RTS + SIFS + CTS + SIFS + Ft_{A-MPDU} + SIFs + BA$$

Durch diese Formel lässt sich berechnen, wie lange eine Übertragung eines aggregierten Frames mit 64 Subframes dauert. Nun kann herausgefunden werden, wie viele aggregierte Frames pro Sekunde übertragen werden können.

$$A - MPDUs\ pro\ Sekunde = \frac{1\ Sekunde}{Ft}$$

Der Durchsatz errechnet sich aus der Anzahl A-MPDUs pro Sekunde multipliziert mit der Anzahl Bits pro A-MPDU.

$$Durchsatz\ [bps] = A - MPDUs\ pro\ Sekunde * Framelänge_{A-MPDU} * 8$$

FRAME-AGGREGATION 2.4 GHZ, 20 MHZ KANALBREITE

Die Berechnungen des Datendurchsatzes unter Verwendung von RIFS im 5 GHz Frequenzbereich und mit einer Kanalbreite von 20 MHz wurden mit folgenden Werten durchgeführt:

Maximale Übertragungsrate	Durchsatz auf Layer 1 pro Spatial Stream 72.2 Mbps[5]
Backoff	(15/2)*9 µs
DIFS	28 µs
SIFS	10 µs
Preamble (Short)	16 µs
Physical-Layer-Header (OFDM)	4 µs

Framelänge	Datendurchsatz
80 Byte	54.01 Mbit/s
98 Byte	56.76 Mbit/s
144 Byte	60.62 Mbit/s
272 Byte	65.42 Mbit/s
528 Byte	68.36 Mbit/s
546 Byte	68.67 Mbit/s
1040 Byte	70.02 Mbit/s
1296 Byte	70.55 Mbit/s
1534 Byte	70.17 Mbit/s
2346 Byte	71.04 Mbit/s

FRAME-AGGREGATION 5 GHZ, 20 MHZ KANALBREITE

Die Berechnungen des Datendurchsatzes unter Verwendung von RIFS im 5 GHz Frequenzbereich und mit einer Kanalbreite von 20 MHz wurden mit folgenden Werten durchgeführt:

Maximale Übertragungsrate	Durchsatz auf Layer 1 pro Spatial Stream 72.2 Mbps[5]
Backoff	(15/2)*9 µs
DIFS	34 µs
SIFS	16 µs
Preamble (Short)	16 µs
Physical-Layer-Header (OFDM)	4 µs

Framelänge	Datendurchsatz
80 Byte	51.17 Mbit/s
98 Byte	54.20 Mbit/s
144 Byte	58.49 Mbit/s
272 Byte	64.15 Mbit/s
528 Byte	67.55 Mbit/s
546 Byte	67.82 Mbit/s
1040 Byte	69.48 Mbit/s
1296 Byte	69.88 Mbit/s
1534 Byte	70.17 Mbit/s
2346 Byte	71.04 Mbit/s

FRAME-AGGREGATION 5 GHZ, 40 MHZ KANALBREITE

Die Berechnungen des Datendurchsatzes unter Verwendung von RIFS im 5 GHz Frequenzbereich und mit einer Kanalbreite von 20 MHz wurden mit folgenden Werten durchgeführt:

Maximale Übertragungsrate	Durchsatz auf Layer 1 pro Spatial Stream 150 Mbps[5]
Backoff	(15/2)*9 µs
DIFS	34 µs
SIFS	16 µs
Preamble (Short)	16 µs
Physical-Layer-Header (OFDM)	4 µs

Framelänge	Datendurchsatz
80 Byte	81.24 Mbit/s
98 Byte	89.08 Mbit/s
144 Byte	101.31 Mbit/s
272 Byte	119.26 Mbit/s
528 Byte	132.10 Mbit/s
546 Byte	132.83 Mbit/s
1040 Byte	140.04 Mbit/s
1296 Byte	141.77 Mbit/s
1534 Byte	142.71 Mbit/s
2346 Byte	144.50 Mbit/s

MESSHARDWARE

Für die Messungen der Standards wurde folgende Hardware eingesetzt:

ACCESS POINTS

ALLGEMEINE EINSTELLUNGEN

Um die Konfiguration und damit auch die Aufbauzeit der zwei Access Points zu vereinfachen, werden für die Access Points die gleichen allgemeinen Einstellungen verwendet.

IP-Adresse	192.168.1.2/24
Netzwerkadresse	192.168.1.0
SSID	BA
MAC-Adresse Cisco (WLAN)	30:E4:DB:8C:0B:07
MAC-Adresse Cisco (Ethernet)	30:E4:DB:8C:0B:06
MAC-Adresse Netgear (WLAN 2.4 GHz)	E0:46:9A:5C:6C:00
MAC-Adresse Netgear (WLAN 5 GHz)	E0:46:9A:5C:6C:10
MAC-Adresse Netgear (Ethernet)	E0:46:9A:5C:6C:08

Netgear WNDAP350

Cisco WAP4410N

CISCO WAP4410N

Der Cisco WAP4410N ist ein Access Point, welcher die Möglichkeit bietet, das WLAN an ein kabelgebundenes Netzwerk anzuschliessen. Es werden 802.11N, 802.11G und 802.11B Stationen und gemischte Umgebungen unterstützt. Dadurch sind auch ältere Standards gemischt mit Neueren kompatibel. Der Cisco WAP4410N arbeitet nur auf dem 2.4 GHz Bereich.

Durch drei abnehmbare 2dBi omni-direktionale Antennen wird MIMO – Multiple in, Multiple out (3x3) für 802.11N gewährleistet.

Verschlüsslungen, welche beim Cisco WAP4410N möglich wären, sind für diese Arbeit nicht relevant.

NETGEAR WNDAP350

Der Netgear WNDAP350 Access Point bietet durch die gemischten Umgebungen jeweils Rückwärtskompatibilität auf die Standards 802.11A, 802.11B und 802.11G. Der Netgear WNDAP350 ist mit vier internen Antennen ausgestattet. Zwei Antennen für den 2.4 GHz und zwei für den 5 GHz Bereich. Somit unterstützt der Access-Point im N-Standard das MIMO (2x2) mit zwei Spatial Streams.

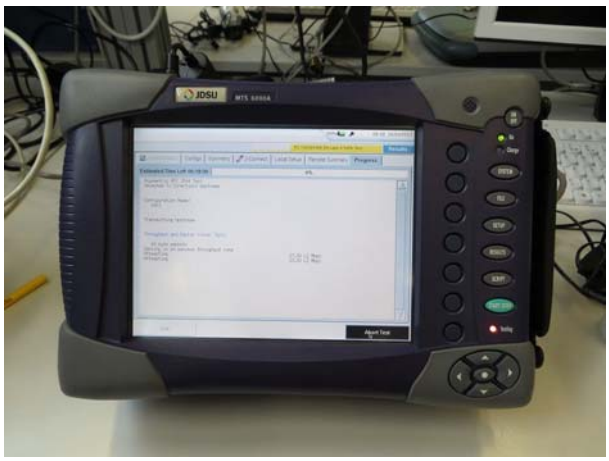
Sicherheitsmöglichkeiten sind vorhanden, jedoch für diese Arbeit nicht von Belang.

NETZWERK WAN TESTGERÄT

MTS-6000A – COMPACT NETWORK TEST PLATFORM

Der MTS-6000A ist eine kompakte und handliche Testplattform für die Analyse von Netzwerk-Installationen bis zur Wartung von Glasfasernetzen.

Das Gerät ist modular aufgebaut und bietet dadurch verschiedene Testfunktionalitäten für mehrere Netzwerkschichten. Zusätzliche optische Module ermöglichen die gründliche Prüfung von Kurzstrecken-, Langstrecken-, FTTx-, CWDM- und High-Speed-Netzwerken.



isatel
Telecom & Test Solutions

Für die Messungen wurden uns zwei MTS-6000A von der **isatel AG** aus Cham zur Verfügung gestellt.

HAUPTFUNKTIONEN

- Enhanced RFC 2544 Test
- Multi-Layer Netzwerk Lösung vom Physical zum Transport Layer
- Eingebauter VFL, Powermeter, LTS, ORL und Video Prüfungsoptionen
- Mehr als 40 Programmmodule für physikalische Tests
- Modularer Aufbau bietet die Möglichkeit zur Aufrüstung durch Hinzufügen oder Austauschen von PIM und Optik
- Dual-Port-Chassis ermöglicht zwei parallel unabhängige Ethernet Tests

CLIENTS

Funktion	**IPerf Server**
Model	Fujitsu Siemens CELSIUS
CPU	Intel® Core™2 Duo CPU T7500 2.20 GHz
RAM	2.00 GB
OS	Windows 8 64 Bit und Kali Linux

WLAN-Netzwerkkarte	WLAN N-Standard (2.4 & 5 GHz Bereich)
IP-Adresse	192.168.1.11
MAC-Adresse (Ethernet)	00:17:42:74:4E:A0

Funktion	**IPerf Client**
Model	Fujitsu Siemens LIFEBOOK S-Series
CPU	Intel® Core™ i5 CPU M560 2.67 GHz
RAM	4.00 GB
OS	Windows 8 64 Bit und Kali Linux

WLAN-Netzwerkkarte	Intel® Centrino® 6200 802.11 a/b/g/n (2.4 und 5 GHz, MIMO 2x2 mit 2 Spatial Streams)
IP-Adresse	192.168.1.10
MAC-Adresse (WLAN)	58:94:6B:D0:2B:44

MESSSOFTWARE

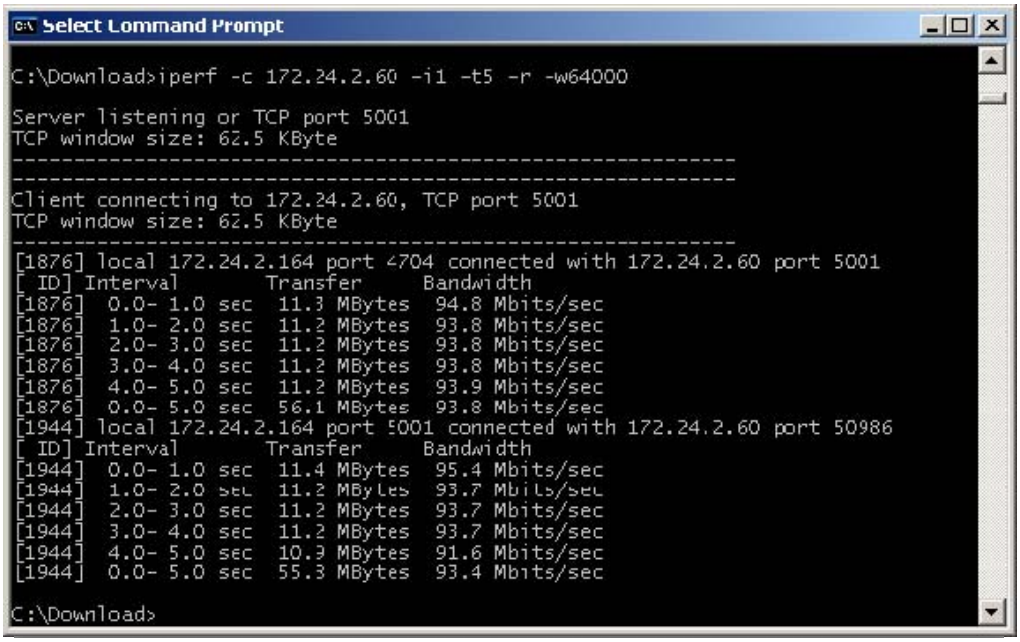
IPERF

IPerf ist ein häufig verwendetes Netzwerk-Test-Tool. IPerf wurde von DAST - Distributed Applications Support Team am NLANR - National Laboratory for Applied Network Research entwickelt und kann vom Benutzer mit verschiedenen Parametern verwendet werden.

Durch die Resultate der Messungen mit IPerf können entsprechend Optimierungen im Netzwerk vorgenommen werden.

IPerf bietet verschiedene Client-Server-Funktionen zwischen zwei Endstationen, entweder unidirektional oder bidirektional. Die Software verfügt durch den Support von Windows, Linux und Unix die Möglichkeit Messungen zwischen verschiedenen Betriebssystemen durchzuführen.

Ein typisches Resultat enthält einen Zeitstempel, die Grösse der Daten der Übertragung und den Durchsatz.



[Quelle: John de Graaf - john.de-graaff.net]

Eigenschaften - TCP

- Bandbreite messen
- MSS/MTU Grösse herausfinden und Lese-Grössen überprüfen
- Unterstützung der TCP Windows Size durch Socket Buffer
- Mehrere Threads möglich, wenn Client und Server mehrere gleichzeitige Verbindungen aufbauen

Eigenschaften - UDP

- Spezifisch generierte UDF Streams mit definierter Bandbreite
- Messen von verlorenen Paketen
- Messen von Verzögerungs-Jitter
- Multicast möglich
- Mehrere Threads möglich, wenn Client und Server mehrere gleichzeitige Verbindungen aufbauen.
- Parameter können mit K (Kilo) und M (Mega) verfeinert werden
- Server kann mehrere Verbindungen gleichzeitig verwalten
- Spezifische Intervalle definierbar
- Server als Deamon/Service ausführbar

LAN TORNADO[6]

LAN Tornado ist eine Freeware Netzwerkleistung und Bandbreiten Prüfsoftware. Es ist basierend auf dem RFC 2544 Standard und bietet einen Traffic-Generator (IP und UDP) für Ethernet basierte Netzwerke.

Man kann damit nicht nur Stationen, sondern auch Switches, Router und Server testen.

Ideal ist auch die Möglichkeit eines Stress-Tests, damit allfällige DDoS-Attacken verhindert werden können.

- Auflisten vom gesamten Datenverkehr (Ethernet-und IP-Paket-Header)
- 10/100/1000 Mbps IEEE 802.3 Ethernet-Netzwerk-Unterstützung
- Unbegrenzte Anzahl Stationen
- IP-und UDP-Paket Unterstützung
- Spezifisch definierbarer MTU, TTL, DSCP und ECN
- Ändern von Endstation-Adresse und Port Einstellung ohne Stop
- Ändern der Belastungseinstellung ohne Stop

LAN TORNADO AGENT[6]

Der LAN Tornado Agent empfängt den Netzwerkverkehr, welcher von LAN Tornado erzeugt wird und berechnet daraus die Netzwerk Statistik und IPPM - IP-Performance-Metrik.

- Auflisten vom gesamten Datenverkehr (Ethernet- und IP-Paket-Header)
- 10/100/1000 Mbps IEEE 802.3 Ethernet-Netzwerk-Unterstützung
- IP-und UDP-Paket Unterstützung
- Berechnet empfangenen Pakete, verlorene Pakete und Prozentsatz der verlorenen Pakete
- Wertet IPPM wie Jitter und IPDV aus

KALI DEBIAN GNU LINUX-DISTRIBUTION[7]

Kali Linux ist eine Debian GNU Linux-Distribution, welche speziell für Forensik- und Penetrationstests eines Netzwerks ausgerichtet ist. Es wurde von der Offensive Security entwickelt und ist der Nachfolger der BackTrack KDE GNU Linux-Distribution.

Es beinhaltet die Sicherheits-Tools Wireshark, John the Ripper, Nmap und Aircrack-ng.

Kali kann durch die 32-Bit und 64-Bit OS Abbilder auf allen x86-Prozessor-Architekturen und zusätzlich durch das ARM Abbild auch auf ARM-Architekturen wie dem Raspberry Pi Computer und Samsung ARM Chromebook installiert werden.

HAUPTFUNKTIONEN

Kali ist eine vollständige Neuentwicklung der BackTrack KDE GNU Linux-Distribution, welche alle Debian GNU Entwicklungsstandards einhält.

Es enthält mehr als 300 Penetrationstesttools und wird als Open Source Git Baum immer weiterentwickelt. Alle Binaries, Supportdateien und Bibliotheken können durch den FHS - Filesystem Hierarchy Standard einfach hinzugefügt werden.

Durch die grosse Anzahl schon vorhandener Treiber werden eine Vielzahl verschiedener USB- und WLAN-Geräte unterstützt.

Das Entwicklungsteam besteht aus einer kleinen Gruppe von vertrauten Personen, welche die Updates mit verschiedenen Sicherheitsprotokollen auf die Repositories verteilen. Das heisst, dass alle Pakete einzeln von den individuellen Entwicklern unterzeichnet sind.

Die Kali Debian GNU Linux-Distribution ist vollständig bis zum Kernel hinunter anpassbar, somit können entsprechend eigene Designvorstellungen implementiert werden.

UNTERSCHIEDE ZU DEBIAN GNU LINUX-DISTRIBUTION

Dadurch, dass Kali Linux speziell für Penetrationstests eines Netzwerks entwickelt wurde, sind einige grundlegende Änderungen zur Debian GNU Linux-Distribution vorgenommen worden.

Einzelner Benutzer / Root-Zugriff

Kali Linux wird aufgrund der Sicherheitsbegrenzungen als einzelner Benutzer, also im root-Szenario verwendet.

Deaktivierte Netzwerkdienste

Standardmässig sind alle Netzwerkdienste deaktiviert. Dieser Haken ermöglicht es, nur die Dienste zu installieren, welche entsprechend für die Penetrationstest im Netzwerk notwendig sind. Zusätzlich sind auch alle Bluetooth Dienstleistungen auf die schwarze Liste gesetzt worden.

Massgeschneiderter Linux-Kernel

Kali Linux verwendet einen Upstream-Kernel und ist dadurch entsprechend für "Wireless injection" gepatcht.

WER SOLLTE KALI LINUX VERWENDEN?

Durch die Anpassung auf professionelle Penetrationstests im Netzwerk wird empfohlen, dass Kali Linux nur von Benutzern verwendet wird, welche gute Linux Kenntnisse besitzen.

Des Weiteren wird das Wissen für verschiedene Sicherheits-Tools vorausgesetzt.

INSTALLATION

Bei der Dual-Installation von Kali neben Windows muss man vorsichtig vorgehen. Es ist zu Raten, dass vor Beginn der Installation eine Sicherung aller wichtigen Daten auf ein externes Medium durchgeführt wird. Da durch die Installation von Kali der Festplattenspeicher verändert wird, können Fehler auf dem Dual-OS auftreten.

Für die Installation von Kali muss im Windows in der Festplattenspeicherverwaltung mindestens 8 GB frei verfügbarer Speicher definiert werden. Kali legt bei der Installation eine eigene Partition an, der frei verfügbare Speicher muss somit nicht partitioniert werden.

Kali kann von http://www.kali.org als ISO Abbild geladen werden und kann danach von einer DVD oder von einem USB-Stick gestartet werden.

Nach dem Starten von Kali kann durch Auswahl der deutschen Sprache und dem geleiteten Installationsprozess ohne weitere Probleme das OS installiert werden.

Nach der Installation wird jeweils beim Starten vom Computer das GRUB Boot Menü gestartet und es kann zwischen den verschiedenen Betriebssystemen gewählt werden.

MESSUMGEBUNG

Die Messungen für diese Bachelorarbeit werden in zwei Umfeldern durchgeführt.

Die Luftschnittstelle ist naturgemäss vielen Störeinflüssen ausgesetzt, insbesondere, da an der HSR ein internes WLAN-Netz existiert. Diese Störungen machen die Bewertung der Durchsatzmessung schwierig und eine Wiederholung von Messungen kann im Ergebnis stark schwanken. Dennoch bietet die gestörte Umgebung ein gutes Testumfeld, um die Robustheit der Standards gegen Störeinflüsse zu prüfen. Um den Problemen gerecht zu werden, werden zwei Messumgebungen verwendet.

FELDVERSUCH IM UNTERRICHTSZIMMER

Durch das flächendeckende WLAN Netzwerk der HSR liegt eine eher stark gestörte Umgebung vor.

SSID	BSSID	SIGNAL	High Signal	ENCRYPTION	RADIO TYPE	CHANNEL
HSR-Secure	6C:50:4D:AB:7F:C8	99	99	AES	802.11n	6
HSR-Secure	B4:14:89:14:37:63	50	50	AES	802.11n	6
HSR-Secure	6C:50:4D:AB:9B:43	33	33	AES	802.11n	1
eduroam	6C:50:4D:B7:99:E5	35	35	AES	802.11n	11
eduroam	6C:50:4D:AB:8C:A5	65	65	AES	802.11n	1
MOBILE-EAPSIM	6C:50:4D:AB:8C:A4	65	65	WEP	802.11g	1
HSR-Secure	6C:50:4D:AB:8C:AC	65	65	AES	802.11n	64
HSR-Secure	6C:50:4D:AB:7F:C7	98	98	AES	802.11n	52
HSR-Secure	B4:14:89:14:37:6C	38	40	AES	802.11n	48
HSR-Secure	6C:50:4D:AB:9C:6C	28	28	AES	802.11n	40
eduroam	6C:50:4D:AB:8C:AA	63	63	AES	802.11n	64
eduroam	6C:50:4D:AB:7F:CB	95	95	AES	802.11n	52
eduroam	B4:14:89:14:37:6A	38	38	AES	802.11n	48
MOBILE-EAPSIM	6C:50:4D:AB:8C:AB	65	65	WEP	802.11a	64

MOBILE-EAPSIM	B4:14:89:14:37:1B	46	46	WEP	802.11a	64
MOBILE-EAPSIM	6C:50:4D:AB:7F:CD	98	98	WEP	802.11a	52
MOBILE-EAPSIM	B4:14:89:14:37:6B	36	40	WEP	802.11a	48
HSR-WLAN	6C:50:4D:AB:8C:AE	65	65	Unencrypted	802.11n	64
HSR-WLAN	6C:50:4D:AB:7F:CE	95	95	Unencrypted	802.11n	52
HSR-WLAN	B4:14:89:14:37:6E	38	40	Unencrypted	802.11n	48
MOBILE-EAPSIM	6C:50:4D:AB:7F:C2	98	98	WEP	802.11g	6
MOBILE-EAPSIM	6C:50:4D:B7:99:E4	33	33	WEP	802.11g	11
MOBILE-EAPSIM	B4:14:89:14:37:14	45	45	WEP	802.11g	11
eduroam	6C:50:4D:AB:9B:45	33	33	AES	802.11n	1
eduroam	6C:50:4D:AB:7F:C4	98	98	AES	802.11n	6
MOBILE-EAPSIM	B4:14:89:14:37:64	50	50	WEP	802.11g	6
HSR-Secure	B4:14:89:14:37:1C	41	41	AES	802.11n	64
eduroam	B4:14:89:14:37:1A	43	43	AES	802.11n	64
MOBILE-EAPSIM	6C:50:4D:AB:9C:6B	30	30	WEP	802.11a	40
HSR-WLAN	B4:14:89:14:37:1E	43	43	Unencrypted	802.11n	64

Die erzielten Messergebnisse geben somit einen erreichbaren Durchsatz an, der auch unter widrigen Umständen erreicht werden kann. Ferner können im Vergleich mit den Messergebnissen des Laborversuches Hinweise auf die Robustheit des Protokoll-Standards gewonnen werden.

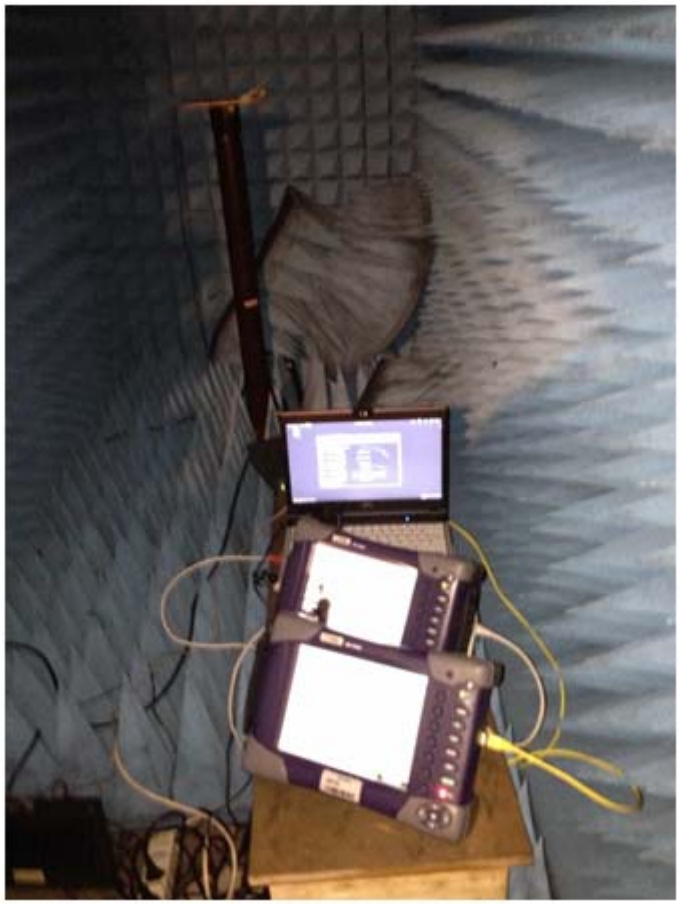
Eine gezielte Untersuchung von Störeinflüssen durch z.B. andere WLANs, Bluetooth, und andere Technologien, welche das ISM - Industrial Scientific Medical benutzen, ist so jedoch nicht möglich und müsste zu einem späteren Zeitpunkt ebenfalls unter Laborbedingungen in der HF Kammer studiert werden.

LABORVERSUCH HF-KAMMER

Damit die realen Werte an die theoretischen Werte angeglichen werden können, werden alle Messungen wiederholt in der HF-Kammer durchgeführt.

Die ICOM stellt für diese Arbeit ihre Messkammer zur Verfügung. Die Messkammer bietet eine elektromagnetische Abschirmung welche alle Signale aus der Umwelt blockiert.

Die Absorber-Pyramiden aus Schaumstoff, welche zusätzlich installiert sind, bieten bei geschlossener Türe eine Dämpfung und negieren alle Reflexionen. Dies beeinflusst die Messungen im N-Standard, da beim MIMO Effekt die Reflexionen erwünscht sind.



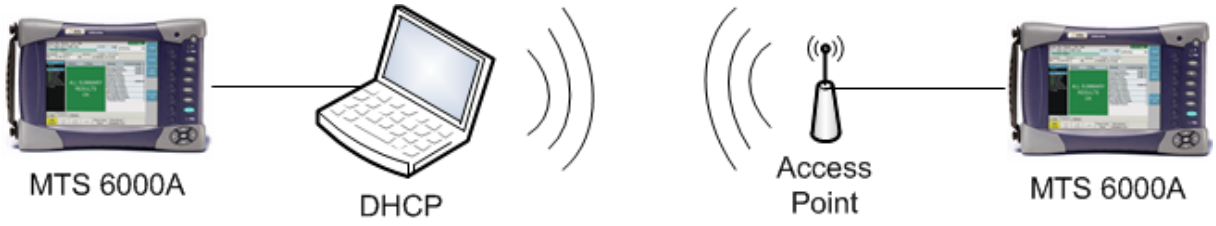
MESSAUFBAU

LAYER 2 MESSUNGEN

Für die Messungen auf Layer 2 werden zwei MTS 6000A der ISATEL AG verwendet. Obwohl eine modulare Erweiterung für die MTS 6000A Geräte vorgesehen ist, besteht kein WLAN Modul. Das Problem der WLAN-Schnittstelle wird durch einen Loop auf einem Notebook gelöst.

Damit keine Veränderungen in den Messungen durch das Notebook stattfinden, wird während den Messungen spezifisch darauf geachtet, dass die Netzwerkkarte des Notebooks nicht überlastet wird.

Der Messaufbau wird jeweils vor jeder Messung mit IPerf und normalem Client-Server Aufbau von zwei Notebooks getestet.



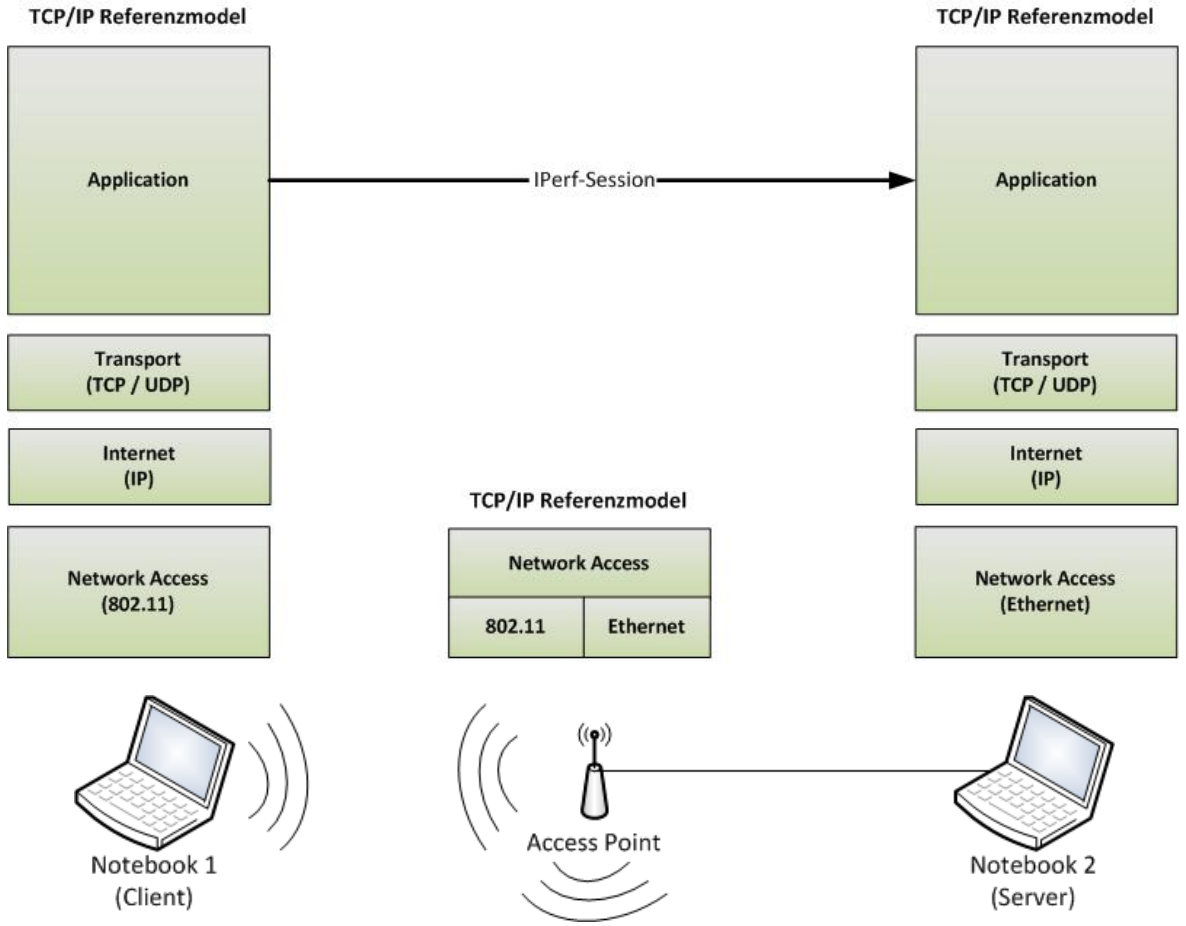
Das Notebook dient durch diesen Aufbau spezifisch als DHCP Server und teilt somit die IP Adresse für das angeschlossene MTS 6000A aus. Der MTS 6000A, angeschlossen am Access Point, wird entsprechend mit statischen Einstellungen benutzt.

SOFTWARE MESSUNGEN

Es werden zwei Notebook (Client und Server) zum Durchführen der Software-Messungen verwendet.

Das Notebook "Client" ist über das WLAN und das Notebook "Server" über ein RJ45 Ethernet Kabel mit dem Access Point verbunden. Der Access Point nimmt entsprechend die Medienkonvertierung von 802.11 nach Ethernet vor.

Dadurch, dass nun auf Grundlage der schon vorhandenen Messungen und entsprechend den erneut durchzuführenden Messungen mit LAN Tornado und IPerf auf Layer 4 gemessen wird, kann als Referenzmodell das TCP/IP Modell zur Analyse verwendet werden.



MESSUNGEN NACH RFC 2544 STANDARD

Die RFC 2544 Messungen werden unter Verwendung eines professionellen Messgerätes, als auch unter Verwendung von kostenloser Software durchgeführt. Das professionelle Gerät ist ein MTS 6000A der Marke JDSU. Für die Messungen mit kostenloser Software wird IPerf eingesetzt. LAN Tornado konnte leider nicht eingesetzt werden, da das Programm ständig abstürzte.

JDSU MTS 6000A

Der MTS 6000A von der Marke JDSU ist ein Messgerät zum Durchführen von Test nach RFC 2544 Messstandards. Auf diesem Gerät können die Messeinstellungen konfiguriert und die Messungen automatisiert durchgeführt werden. Da wir das MTS 6000A nur eine Woche verwenden konnten, mussten die Messeinstellungen von uns angepasst werden.

Wir haben uns deshalb für folgende Einstellungen entschieden:

Test	Länge
Durchsatz	30 Sekunden
Latenz	30 Sekunden
Jitter	30 Sekunden
Frameverlustrate	30 Sekunden

Zusätzlich wurden auch nicht alle Tests mit allen Framelängen nach RFC 2544 Messstandard durchgeführt.

Die Tests wurden jeweils mit einer Paketlänge von 64, 512 und 1500 Byte durchgeführt. Bei der Framelänge ist uns aufgefallen, dass der Messstandard nicht die Paketlänge, sondern die Framelängen angibt. Beim MTS 6000A konnte nur die Paketlänge konfiguriert werden. Wandelt man jedoch die Paketlänge in Framelänge auf WLAN um, so erhält man Framelängen von 98, 546 und 1534 Byte.

Beim Durchsatz-Test wurde für jede Paketlänge der maximale Durchsatz bestimmt, in dem es von innerhalb 30 Sekunden keine Frameverluste zu verzeichnen gab.

Zur Bestimmung des Durchsatzes beginnt der MTS 6000A mit der maximalen theoretischen Datenrate, Daten an das zweite Gerät zu senden. Das zweite Gerät gibt dann dem Sender ein Feedback zurück, ob die Daten unter Verwendung der Datenrate empfangen wurden oder ob es zu Frameverlusten kam. Wenn kein Frameverlust vorkommt, wird mit diesem Durchsatz 30 Sekunden lang getestet. Treten hingegen Frameverluste auf, so reduziert das Sendegerät die Datenrate und wiederholt den Vorgang. Dieser Vorgang wird so lange durchgeführt, bis die maximale Datenrate gefunden wurde, indem für 30 Sekunden keine Frameverluste zu verzeichnen sind. Der MTS 6000A zeigt nach Ablauf jedes Tests den erhaltenen Durchsatz auf Layer1, Layer2, Layer 3 und Layer 4 an.

Der Latenz-Test wird parallel mit dem Durchsatz-Test durchgeführt. Da der Latenz-Test während des Durchsatz-Tests durchgeführt wurde, misst man hier die Latenz unter voller Last. Die Latenz kann durch Verwendung von einem Zeitstempel ermittelt werden. Dabei wird vom Sender in die ausgesendeten Daten ein Zeitstempel eingefügt. Dieses Frame wird vom Empfänger empfangen und entsprechend an den Sender zurückgesendet. Der Sender kann dadurch die Latenz berechnen, indem er den Zeitstempel, zu dem das Frame ausgesendet wurde, von der aktuellen Zeit, zu der das Frame wieder empfangen wurde, subtrahiert. Dabei handelt es sich eigentlich um die RTD (Round-Trip-Delay), also die Zeit, die ein Frame benötigt, um vom Sender zum Empfänger und wieder zurück gesendet zu werden. Es wird in der Auswertung der RTD-Wert halbiert, um die Latenz zu erhalten.

Aufgrund des Latenz-Tests kann auch der Jitter berechnet werden. Dabei handelt es sich um die Abweichung von der Latenz. Der Jitter wird als AVG und als Max AVG angegeben. Beim AVG Jitter handelt es sich um eine fortlaufende Mittelung über die letzten 16 Jitter Werte. Max AVG ist der während des Tests aufgetretene maximale AVG Jitter Wert.

Die Frameverlustrate gibt die Anzahl Frames an, welche bei einer bestimmten Paketgrösse und einem bestimmten Durchsatz verloren gehen.

Beim MTS 6000A hat man nur die Möglichkeit, zwei unterschiedliche Durchsätze anzugeben. Auch dieser Test wird mit jeder Framelänge und einer Dauer von 30 Sekunden durchgeführt. Hier gibt es zu bemerken, dass dieser Test einer konstanten Überlast entspricht. Das wiederum bedeutet, dass man konstant mit der eingestellten Datenrate sendet und der Empfänger überprüft, was ankommt.

Obwohl diese bereits drastisch gekürzten Einstellungen verwendet wurden, dauerte ein einzelner Test immer noch 30 bis 45 Minuten.

IPERF

Um den RFC 2544 Test unter Verwendung von kostenloser Software durchzuführen, wurde das Programm IPerf verwendet. Auch mit IPerf ist es möglich, einen RFC 2544 Test durchzuführen. Zu beachten ist jedoch, dass IPerf auf Layer 4 arbeitet. Damit diese Tests mit den MTS 6000A Messungen verglichen werden können, wird bei den Messungen dieselbe Zeitdauer und Paketlänge verwendet. Die Paketlängen für die MTS 6000A Messungen sind 64, 512 und 1500 Byte. Daraus resultieren Framelängen von 98, 546 und 1534 Byte für WLAN.

IPerf hat den Vorteil, dass praktisch alle Tests wie Durchsatz, Jitter und Frameverlustrate zeitgleich stattfinden und als Statistik auf dem Server angezeigt werden. Das einzige was fehlt, ist der Latenz-Test.

Für den Durchsatz-Test wird das UDP-Protokoll eingesetzt. Dabei sendet der IPerf Client mit der maximal möglichen Datenrate UDP-Datengramme an den Server. Der Server misst die Datenrate, in der er die UDP-Datengramme empfängt und gibt diese in der Statistik aus. Dieser Test wird mit allen drei Framelängen und für eine Dauer von 30 Sekunden durchgeführt.

Der Latenz-Test wird unter Verwendung des ICMP-Protokolls durchgeführt. Obwohl IPerf bei der Übertragung jedes UDP-Datengrammes einen Zeitstempel einfügt, wird die Latenz nicht angezeigt. Aus diesem Grund wird separat ein Latenztest für jede Framelänge durchgeführt.

Dazu wird ein Skript verwendet, welches für jede Framelänge 10 ICMP-Echo-Requests vom Client an den Server sendet. Der Server antwortet darauf mit einem Echo-Reply. Durch den Erhalt des Echo-Reply auf dem Client kann dieser die Zeitdauer berechnen, indem er die Zeit des Empfangs des Echo-Reply von der Zeit, in dem er den Echo-Request ausgesendet hat, subtrahiert. Die erhaltene Zeit wird Round Trip Time genannt. Die RTT gibt an, welche Zeit vergeht, um das Frame beim Sender auszusenden und die Antwort zu empfangen. Die Latenz hingegen ist nur die Zeit, die benötigt wird, um das Frame vom Sender zum Empfänger zu senden. Daher ist die halbe Round Trip Time die Latenz.

Der Jitter-Test bei IPerf kann durchgeführt werden, da in jedem ausgesendeten UDP-Datengramm ein Zeitstempel eingefügt wird. Dabei wird für jede Sekunde den Jitter ausgegeben. Der ausgegebene Jitter ist der Mittelwert aller einzelnen Jitter-Werte, welche innerhalb einer Sekunde vom Server empfangen wurden.

Die Frameverlustrate kann dank der Verwendung von UDP-Datengramme ermittelt werden. Das UDP-Protokoll basiert darauf, dass nicht alle Datengramme beim Empfänger ankommen müssen. Es bietet keine Möglichkeit an, verlorene Datengramme neu anzufordern. Um die Anzahl verlorenen UDP-Datengramme zu identifizieren, erhält jedes ausgesendete UDP-Datengramm eine fortlaufende ID. Der Server kann durch die ID überprüfen, ob diese fortlaufend ist. Ist die ID nicht fortlaufend, so sind UDP-Datengramme bei der Übertragung verloren gegangen. Jedes UDP-Datengramm wird in ein Frame gepackt. Dadurch ist die Anzahl verlorener UDP-Datengramme gleich wie die Anzahl verlorener Frames.

MESSAUSWERTUNG

EINLEITUNG

Im nachfolgenden werden die erhaltenen Resultate der Messungen aufgezeigt. Dabei werden für alle Messszenarien die Resultate wie Durchsatz, Latenz, Jitter und Frameverlustrate in Diagrammen dargestellt. Für jedes Messszenario werden die erhaltenen Resultate vom Cisco als auch vom Netgear Access-Point dargestellt.

Der Durchsatz wird jeweils in zwei Diagrammen angegeben. Das erste Diagramm gibt den Durchsatz auf Layer 4 an. Dies deshalb, weil die Messungen des Durchsatzes mit der kostenlosen Software IPerf nur auf Layer 4 stattgefunden haben. Das Messgerät der Marke JDSU der Firma isatel AG hat den erhaltenen Durchsatz auf den Layern 1 bis 4 ausgegeben.

Damit man somit einen Vergleich machen kann, wird im ersten Diagramm nur der Layer 4 Durchsatz dargestellt und im zweiten Diagramm der Layer 2 Durchsatz. In diesen Diagrammen wird zusätzlich der berechnete theoretische maximale Durchsatz mitangegeben. Die exakt erhaltenen Werte werden zusätzlich in einer Tabelle aufgelistet.

Die Latenz wird in zwei Diagrammen dargestellt. Das erste Diagramm zeigt die Latenz während den IPerf Messungen an. Das zweite Diagramm zeigt die erhaltene Latenz unter Verwendung des MTS 6000A. Es ist immer deutlich zu erkennen, dass die Latenz mit dem MTS 6000A höher ist als es mit den IPerf Messungen der Fall ist. Der Grund dafür liegt daran, dass beim MTS 6000A die Latenz unter voller Last gemessen wurde. Bei der Messung der Latenz mittels IPerf war keine Last auf dem Netzwerk zu verzeichnen. Ergänzt werden die Diagramme mit den resultierenden Werten in Tabellenform.

Auch der Jitter wird in zwei Diagrammen dargestellt. Das erste Diagramm veranschaulicht die Jitter-Werte unter Verwendung von IPerf. Das zweite Diagramm zeigt die erhaltenen Jitter-Werte des MTS 6000A. Auch hier werden die erhaltenen Werte in Tabellen aufgezeigt.

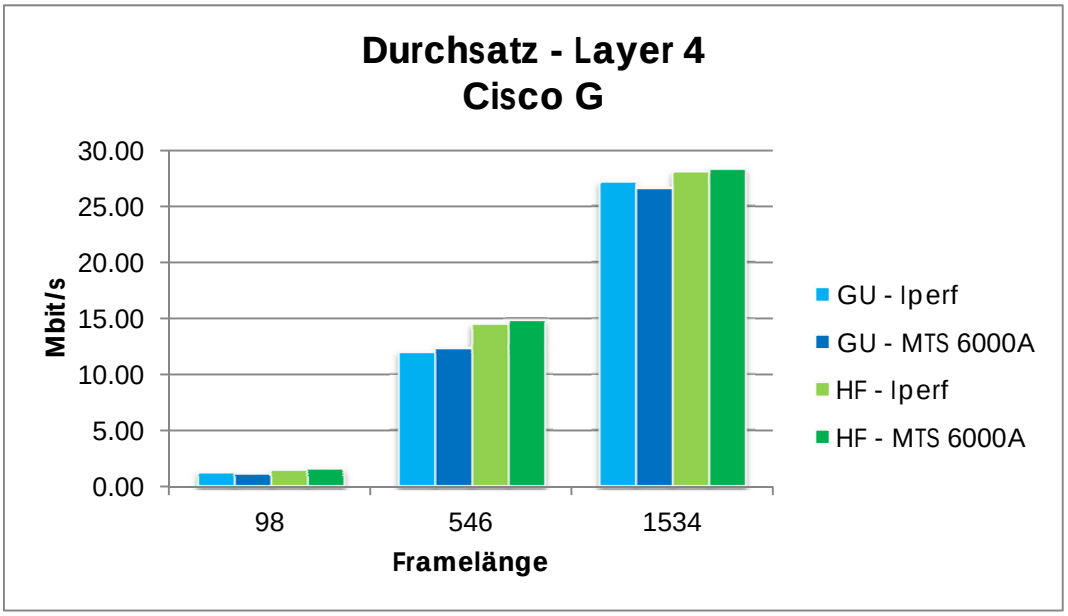
Die Frameverlustrate wird für jede durchgeführte Messung dargestellt. Die Frameverlustrate zeigt nur den Frameverlust unter Verwendung von IPerf im gestörten als auch in der HF-Kammer an.

Dabei wird die Anzahl an ausgesendeten Frames, die Anzahl verlorener Frames und die Frameverlustrate in Prozent dargestellt.

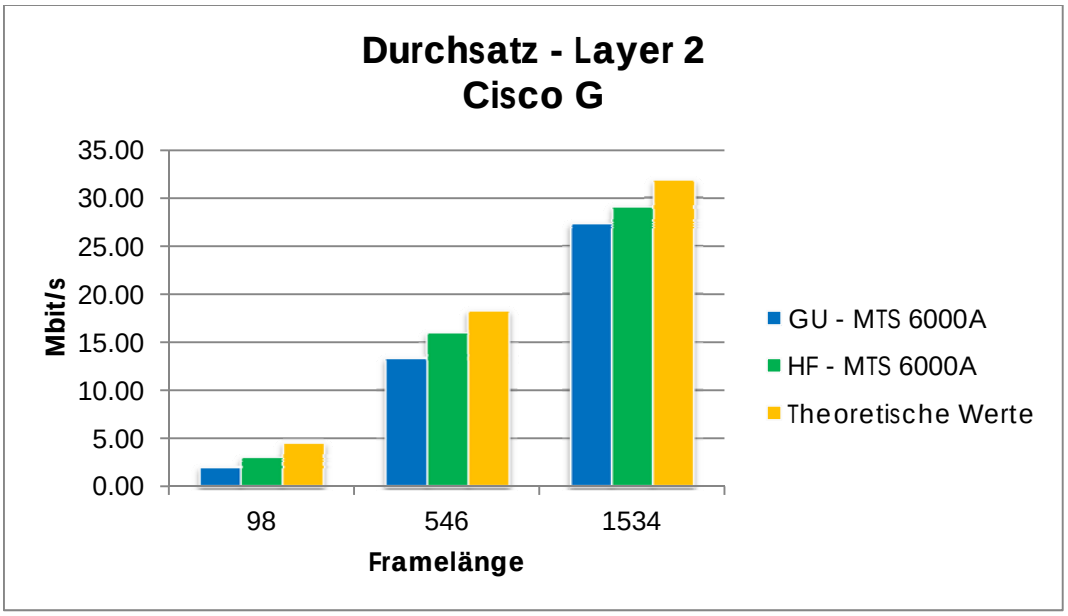
Beim MTS 6000A wird keine Frameverlustrate aufgezeigt, da der Durchsatz bereits demjenigen entspricht, bei dem kein Frameverlust auftrat.

G-STANDARD

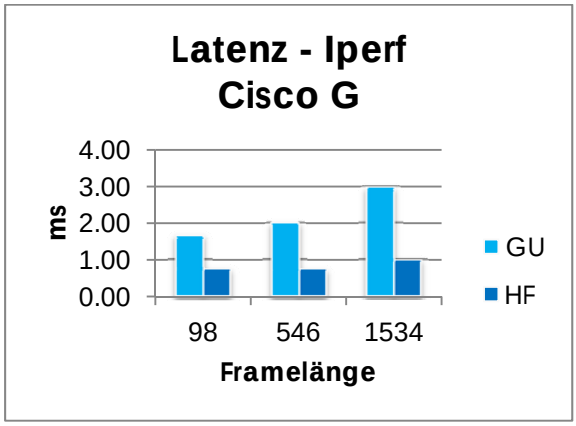
CISCO

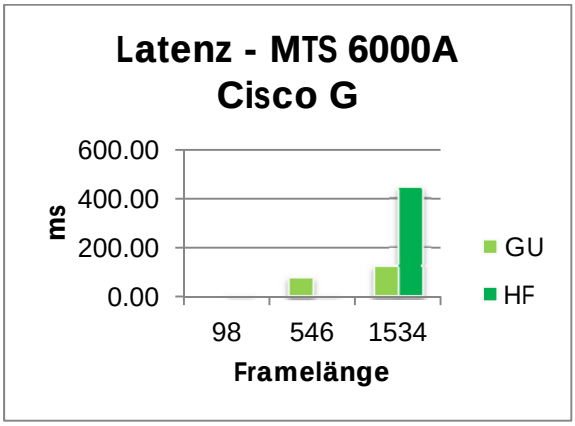


		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	1.26	1.08	1.45	1.61
	546	12.01	12.37	14.45	14.80
	1534	27.16	26.64	28.07	28.32



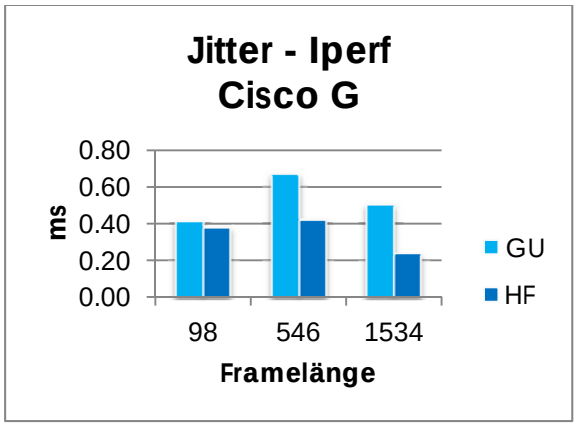
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	2.01	3.01	4.53
	546	13.33	15.94	18.24
	1534	27.32	29.05	31.81

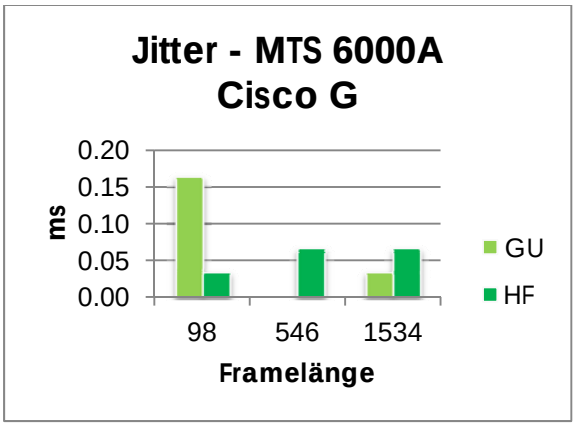




		GU	HF
Frame-länge	**98**	1.67	0.75
	546	2.01	0.74
	1534	2.98	0.99

		GU	HF
Frame-länge	**98**	Unavailable	0.35
	546	77.14	1.30
	1534	124.71	447.64





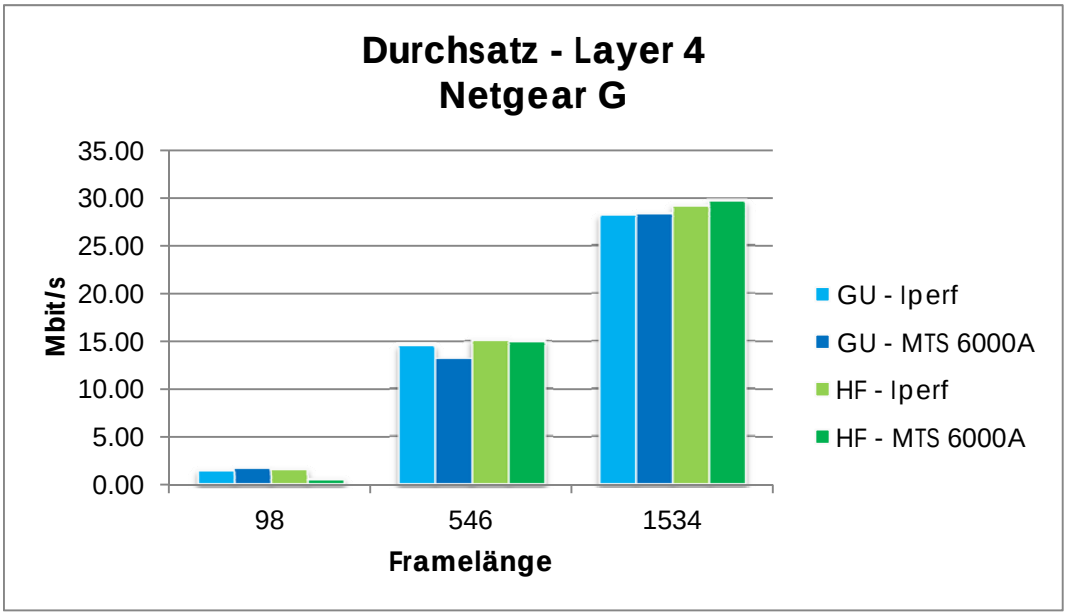
		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.41	0.38
	546	0.67	0.42
	1534	0.51	0.24

		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.16	0.03
	546	0.00	0.07
	1534	0.03	0.07

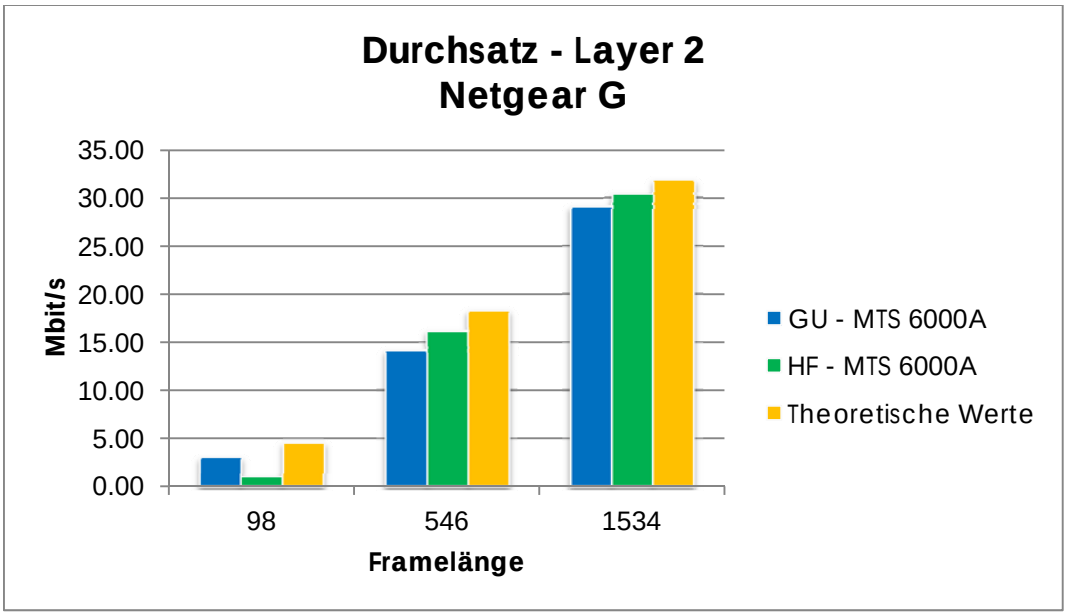
Verlorene Frames - Iperf Cisco G

		GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
Frame-länge	**98**	0.00%	0	134229	0.00%	0	151517
	546	0.00%	0	107864	0.00%	0	112194
	1534	0.00%	0	69315	0.00%	0	71757

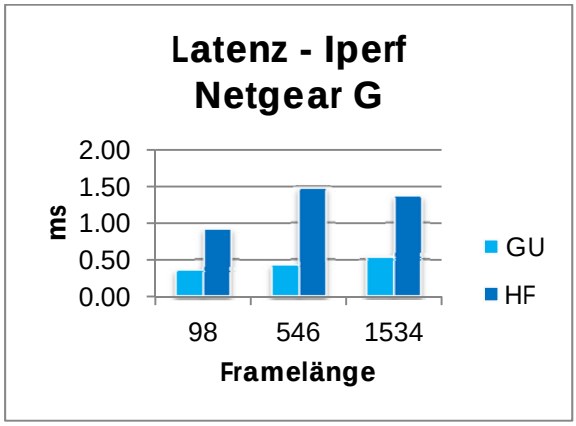
NETGEAR

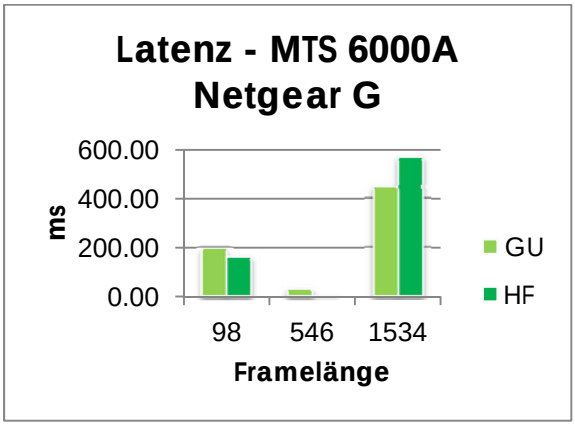


		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	1.43	1.61	1.54	0.53
	546	14.49	13.14	15.13	14.99
	1534	28.16	28.37	29.19	29.64



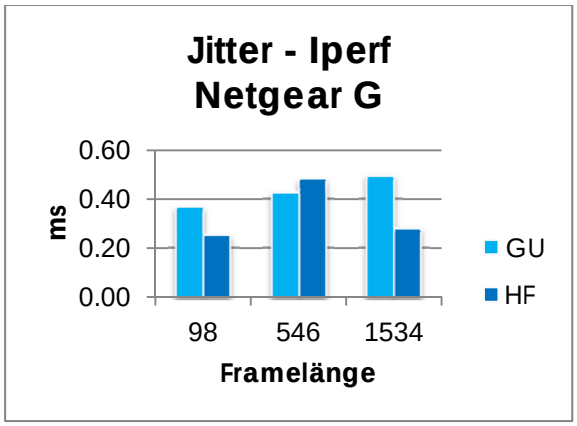
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	3.01	1.00	4.53
	546	14.16	16.15	18.24
	1534	29.10	30.40	31.81

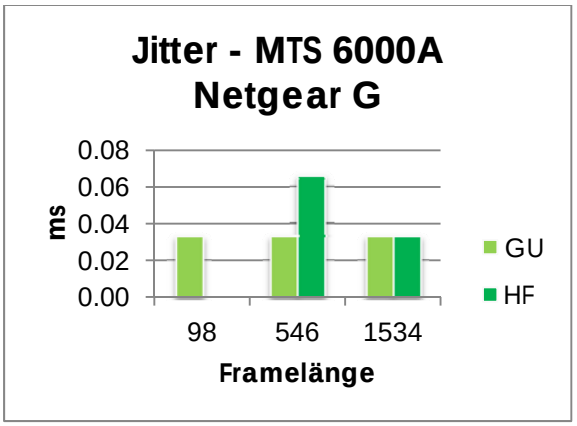




		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.35	0.92
	546	0.42	1.47
	1534	0.54	1.37

		GU	HF
Frame-länge	**98**	194.59	162.26
	546	28.76	0.62
	1534	447.51	570.25





		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.37	0.25
	546	0.43	0.48
	1534	0.50	0.28

		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.03	0.00
	546	0.03	0.07
	1534	0.03	0.03

Verlorene Frames - Iperf Netgear G

		GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
Frame-länge	**98**	0.00%	1	148592	0.00%	0	160095
	546	0.00%	0	112311	0.00%	0	117243
	1534	0.00%	0	71842	0.00%	0	74443

RESULTATE G-STANDARD

Der Durchsatz auf Layer 4 unter Verwendung des Cisco Access-Points zeigt die Probleme des G-Standards auf. Bei der Übertragung eines Frames muss als erstes der Zugriff auf das Medium stattfinden. Erhält der Client Zugriff auf das Medium, kann er das Frame übertragen. Der Empfänger bestätigt den erfolgreichen Empfang mit einem ACK-Frame. Auch für das Senden des ACK-Frame muss wiederum ein Medienzugriff stattfinden. Somit sind für die Übertragung eines Frames zwei Medienzugriffe notwendig.

Es ist zu erkennen, dass der Durchsatz in der HF-Kammer stets höher ist als im gestörten Umfeld. Dies liegt daran, da hier keine Störungen auf dem ISM-Band vorhanden sind und der Sender nach Ablauf der Backoff-Zeit und IFS-Zeiten sofort auf das Medium zugreifen kann. Dies zeigt sich auch darin, dass in der HF-Kammer die Anzahl ausgesendeten Frames deutlich höher ist als beim gestörten Umfeld.

Wie erwartet steigt auch der Durchsatz bei beiden Access Points mit zunehmender Framelänge an. Vergleicht man den erhaltenen Durchsatz in der HF-Kammer mit den theoretischen Werten, so erkennt man, dass diese fast erreicht werden.

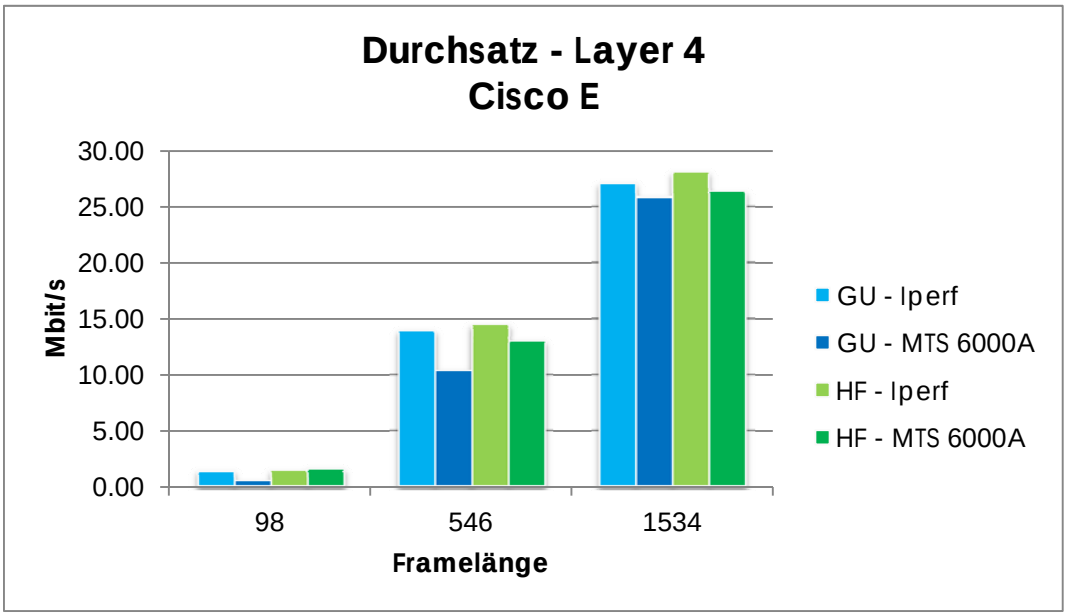
Es ist zu erkennen, dass der Durchsatz bei Netgear höher ist als bei Cisco. Dies kann an der Implementierung des G-Standards oder aber an der Hardware liegen. Es kann jedoch nicht generell gesagt werden, dass Cisco einen geringeren Durchsatz hat als Netgear.

Bei Cisco war kein Frameverlust zu verzeichnen. Bei Netgear wurde im gestörten Umfeld bei einer Framelänge von 98 Byte ein Frame verloren, wobei gesagt werden muss, dass beim Aussenden von 148'592 Frames der Verlust eines Frames zu vernachlässigen ist.

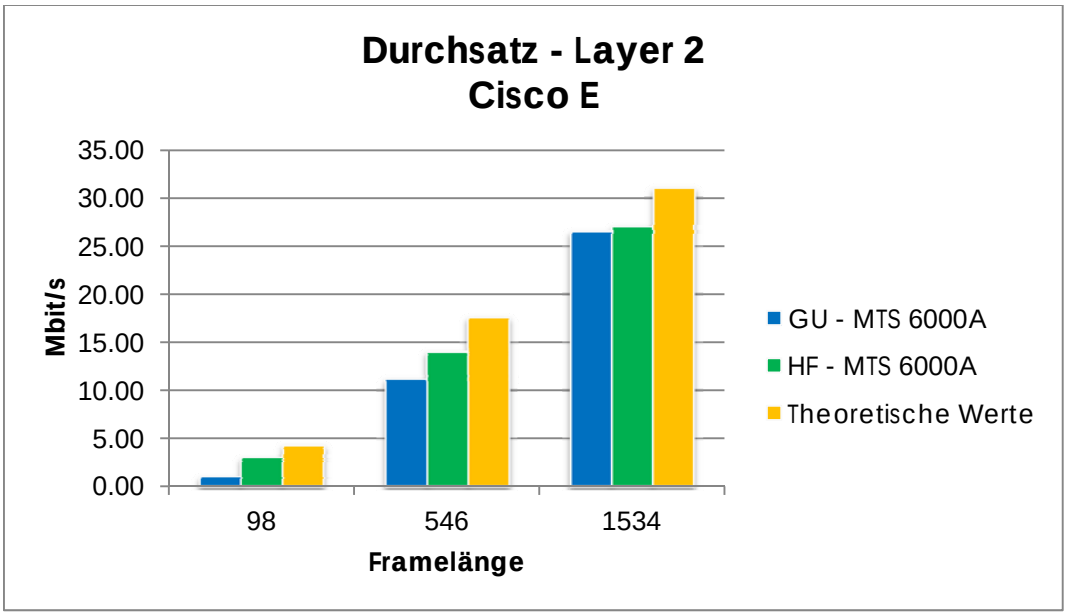
E-STANDARD

BEST-EFFORT

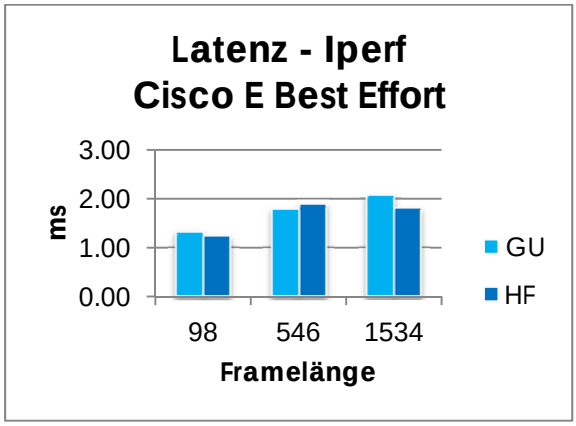
CISCO

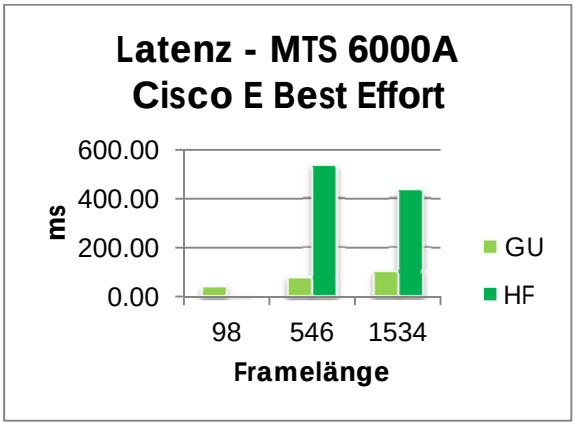


		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	1.40	0.53	1.45	1.61
	546	13.93	10.38	14.48	13.02
	1534	27.12	25.89	28.09	26.37



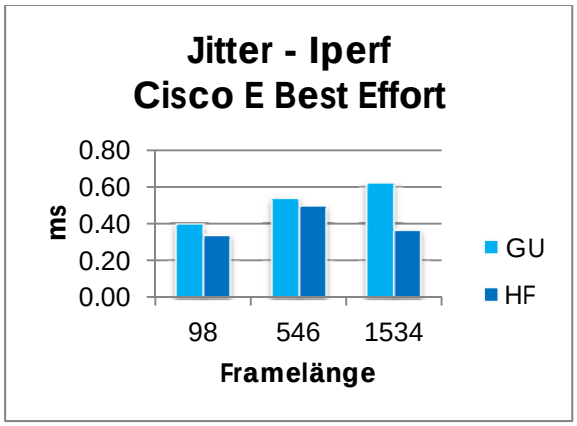
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	1.00	3.01	4.30
	546	11.18	14.03	17.58
	1534	26.55	27.04	31.07

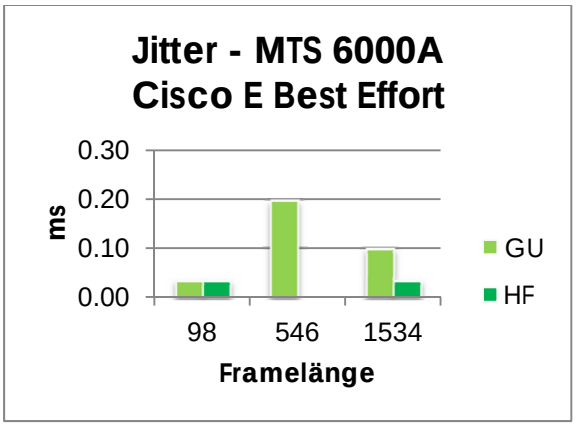




		GU	HF
Frame-länge	**98**	1.33	1.24
	546	1.80	1.91
	1534	2.08	1.81

		GU	HF
Frame-länge	**98**	41.37	0.36
	546	75.99	537.78
	1534	101.67	435.68





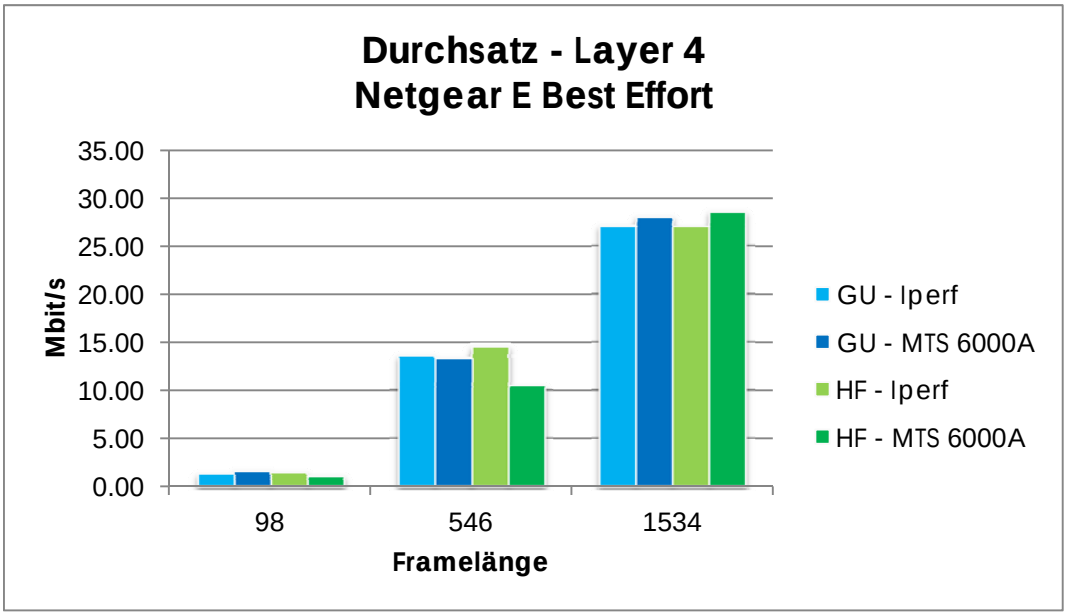
		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.40	0.34
	546	0.54	0.49
	1534	0.62	0.36

		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.03	0.03
	546	0.20	0.00
	1534	0.10	0.03

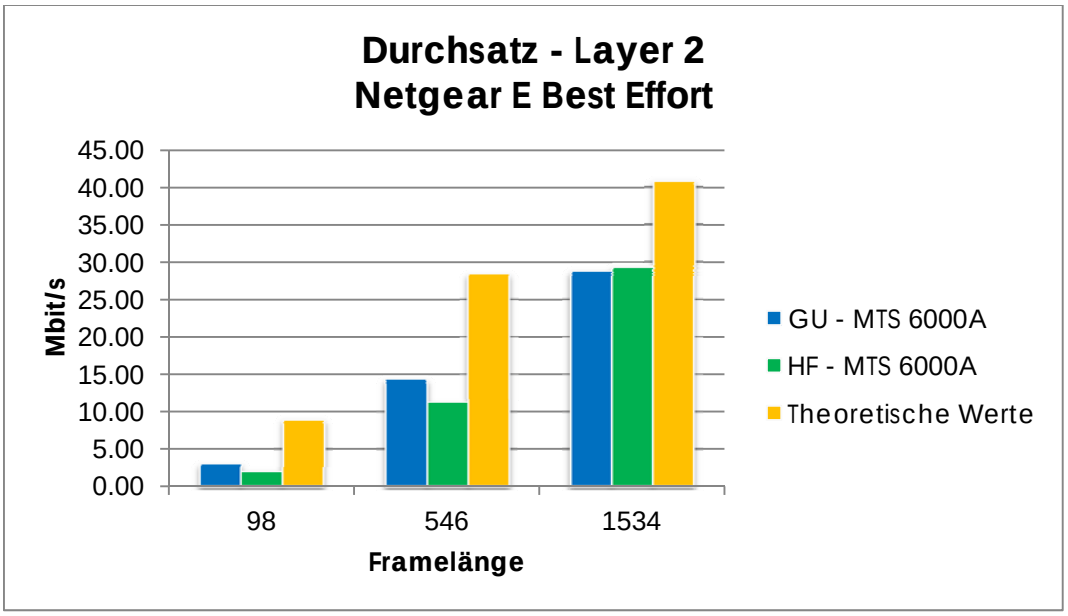
Verlorene Frames - Iperf
Cisco E

		GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
Frame-länge	**98**	0.00%	0	145551	0.00%	0	151351
	546	0.00%	0	107956	0.00%	0	112157
	1534	0.00%	0	69202	0.00%	0	71634

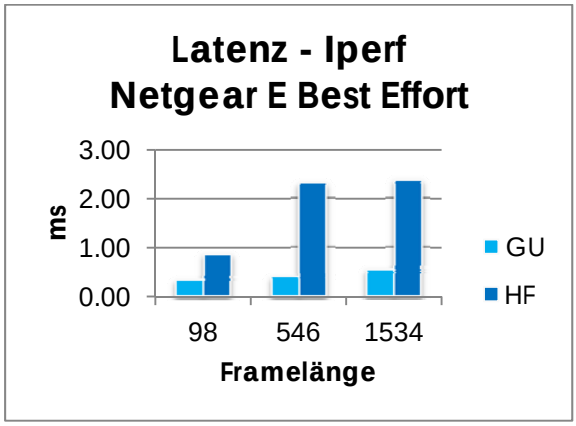
NETGEAR

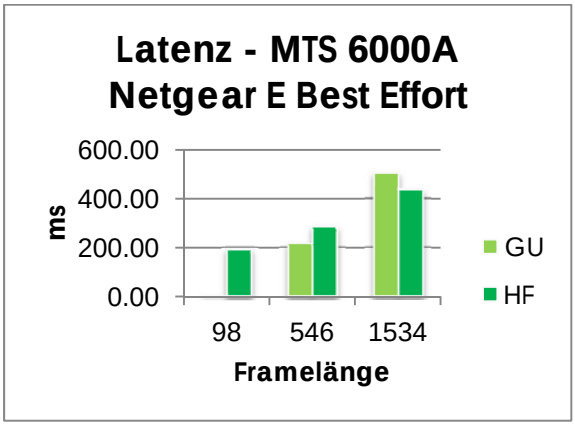


		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	1.32	1.61	1.46	1.08
	546	13.58	13.30	14.54	10.46
	1534	27.11	28.04	26.99	28.58



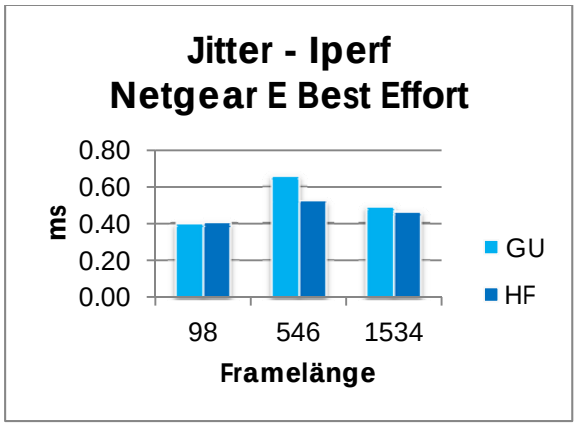
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	3.01	2.02	8.95
	546	14.33	11.26	28.37
	1534	28.76	29.31	40.85

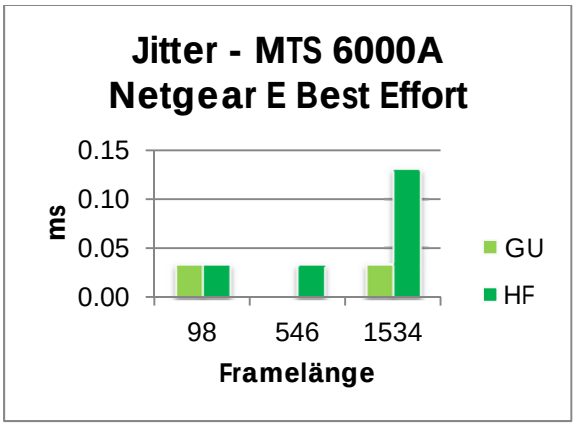




		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.33	0.87
	546	0.40	2.32
	1534	0.55	2.38

		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.92	193.99
	546	215.47	285.08
	1534	506.55	438.84





		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.40	0.41
	546	0.66	0.52
	1534	0.49	0.46

		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.03	0.03
	546	0.00	0.03
	1534	0.03	0.13

Verlorene Frames - Iperf
Netgear E Best Effort

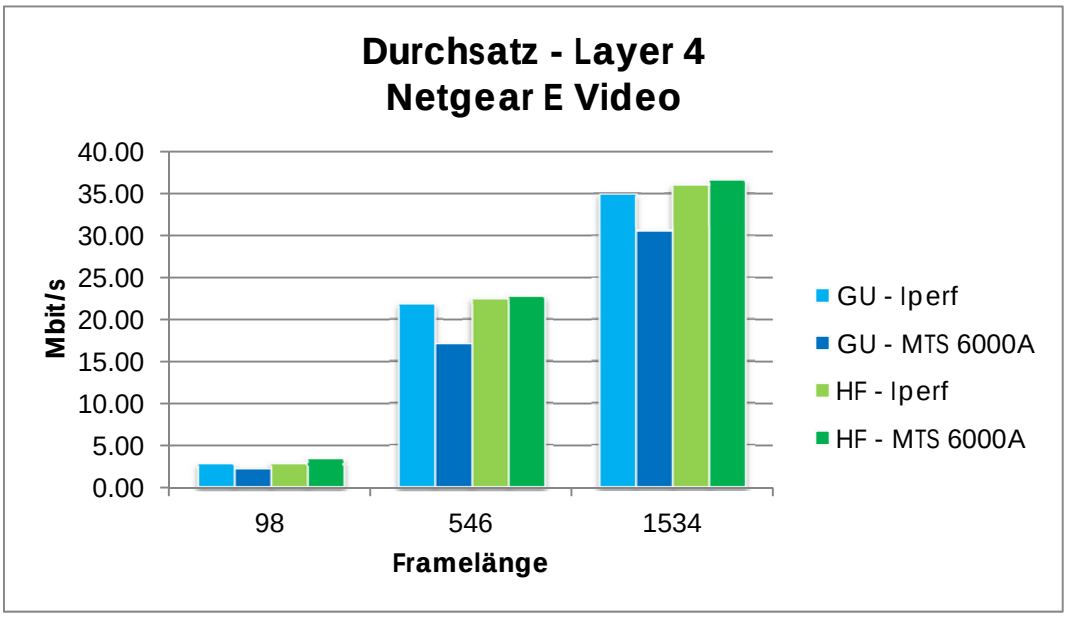
		GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
Frame-länge	**98**	0.00%	3	138015	0.02%	30	152098
	546	0.00%	0	105286	0.00%	0	112644
	1534	0.00%	0	69173	0.00%	0	68868

E VIDEO

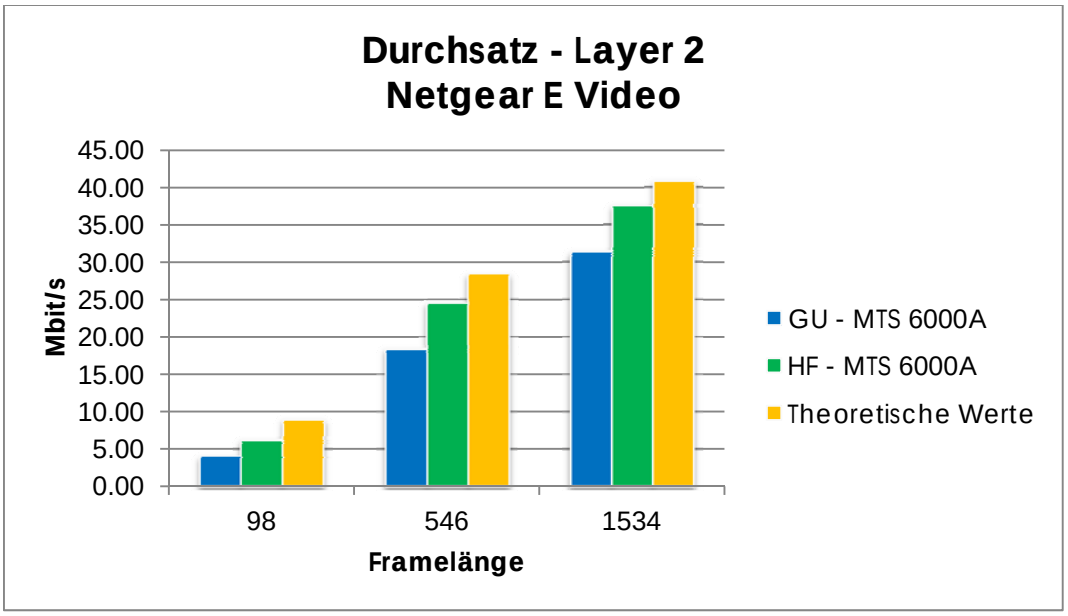
Bei den Messungen des E-Standards Video wurde auf dem Netgear Access-Point die EDCA-Parameter eingestellt, und zwar auf folgende Werte:

AIFS: 2, cwMin: 7, cwMax: 15, Max-Burst: 3008

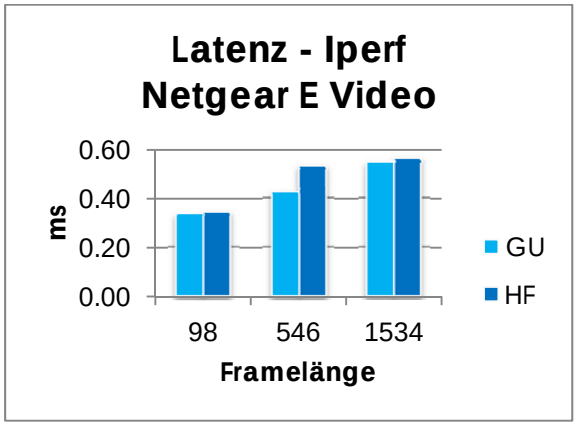
NETGEAR

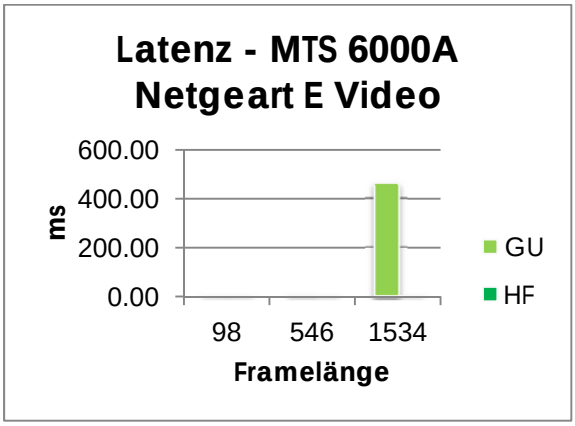


		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	2.73	2.17	2.85	3.34
	546	21.85	17.09	22.47	22.72
	1534	34.96	30.58	36.05	36.58



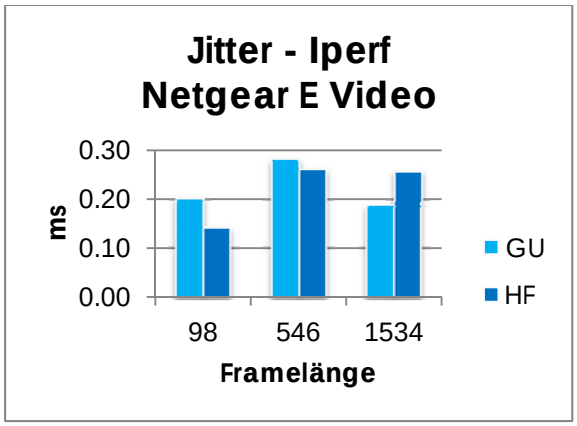
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	4.04	6.23	8.95
	546	18.41	24.48	28.37
	1534	31.37	37.52	40.853

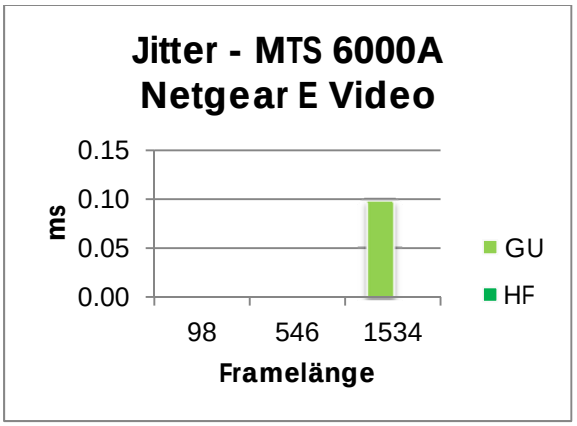




		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.34	0.35
	546	0.43	0.53
	1534	0.55	0.57

		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.62	0.96
	546	2.46	1.55
	1534	462.73	1.12





		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.20	0.14
	546	0.28	0.26
	1534	0.19	0.26

		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.00	0.00
	546	0.00	0.00
	1534	0.10	0.00

Verlorene Frames - Iperf Netgear E Video

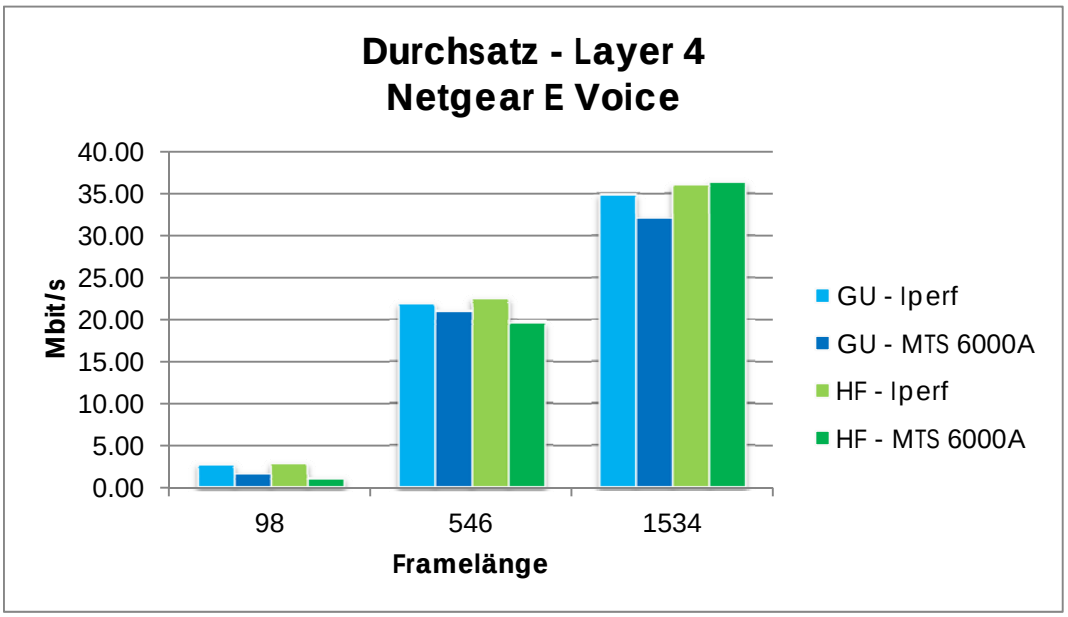
		GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
Frame-länge	**98**	0.00%	0	283866	0.00%	0	296349
	546	0.00%	0	169300	0.00%	0	174072
	1534	0.00%	0	89169	0.00%	1	91969

E VOICE

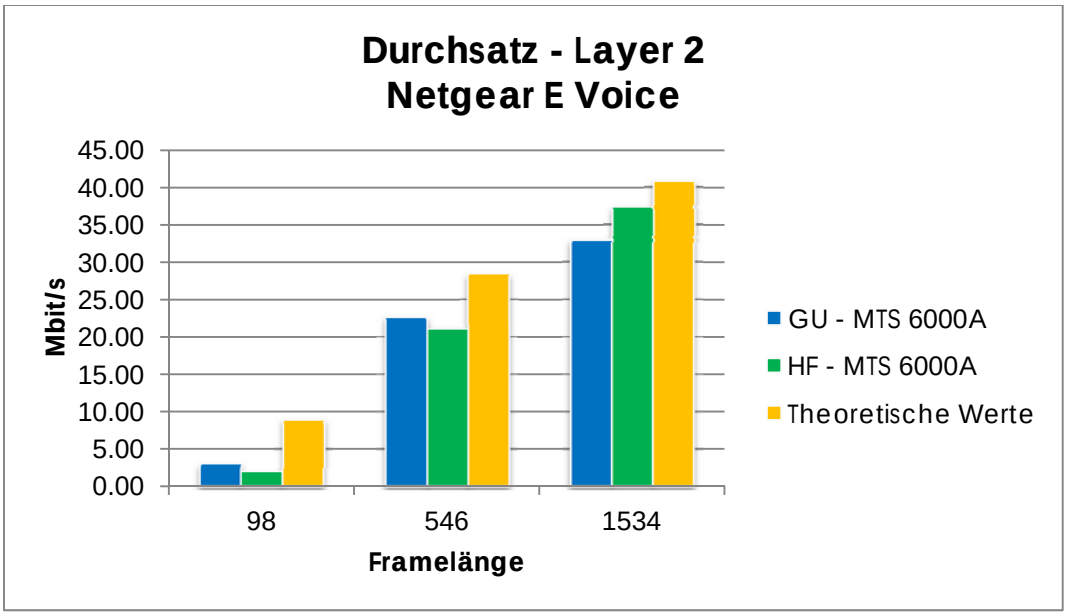
Bei den Messungen des E-Standards Voice wurden auf dem Netgear Access-Point die EDCA-Parameter ein weiteres Mal optimiert. Es wurden folgende Werte eingestellt:

AIFS: 2, cwMin: 3, cwMax: 7, Max-Burst: 1504

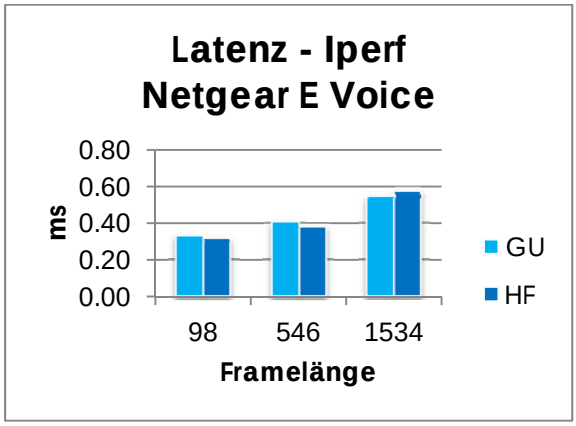
NETGEAR

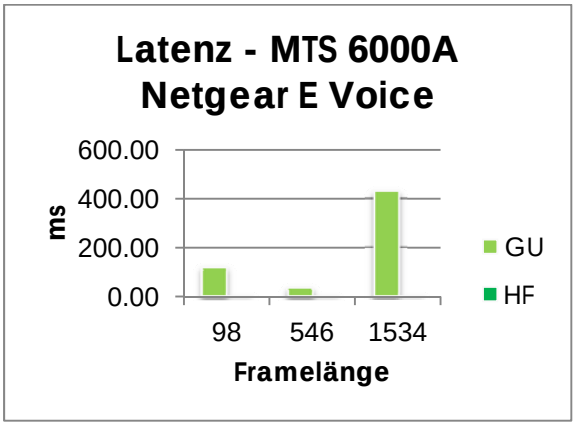


		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	2.74	1.61	2.82	1.07
	546	21.87	21.00	22.48	19.54
	1534	34.87	32.11	36.03	36.40



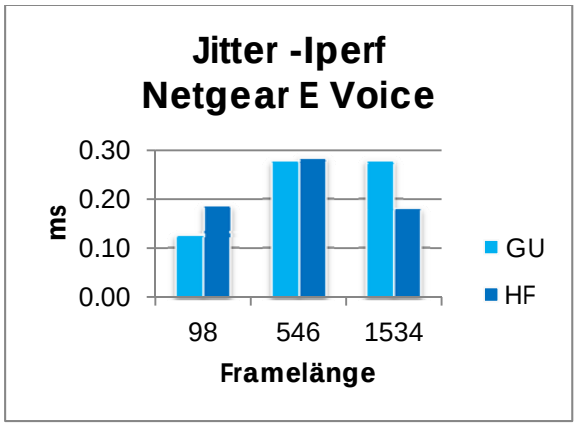
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	3.00	2.00	8.95
	546	22.63	21.05	28.37
	1534	32.94	37.34	40.85

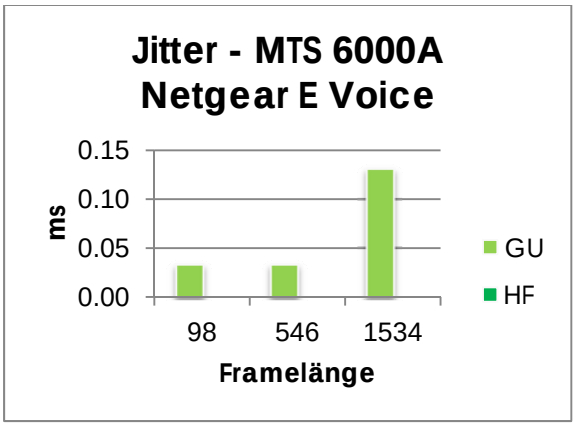




		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.33	0.32
	546	0.41	0.38
	1534	0.55	0.58

		GU	HF
Frame-länge	**98**	119.67	0.96
	546	33.64	1.55
	1534	433.29	1.12





		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.13	0.19
	546	0.28	0.28
	1534	0.28	0.18

		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.03	0.00
	546	0.03	0.00
	1534	0.13	0.00

Verlorene Frames - Iperf Netgear E Voice

		GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
Frame-länge	**98**	0.00%	0	285137	0.00%	0	294067
	546	0.00%	0	169440	0.00%	0	174132
	1534	0.00%	0	88970	0.00%	0	91881

RESULTATE E-STANDARD

Bei Cisco war es nur möglich, den E-Standard zu aktivieren. Weitere Einstellungsmöglichkeiten wie EDCA-Parameter waren nicht möglich. Netgear bot hier mit dem Einstellen von EDCA-Parametern mehr an.

Vergleicht man die E-Standard Messungen des Cisco Access-Points mit denen des G-Standards hat sich der Durchsatz nicht wesentlich erhöht.

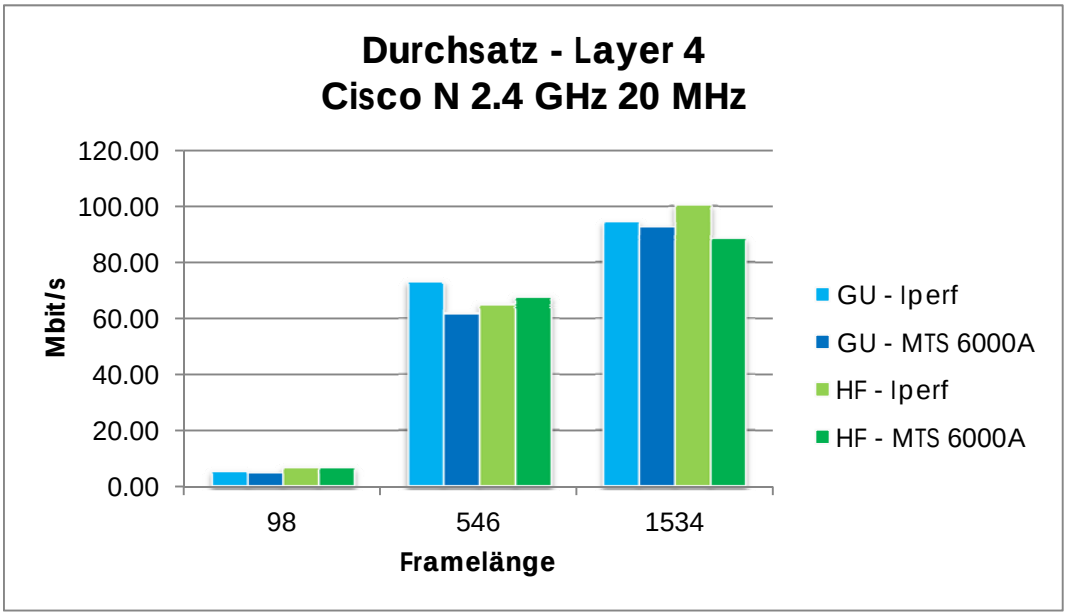
Bei den Messungen des E-Standards mit dem Netgear Access-Point und geänderten EDCA-Parametern zeigt sich, dass durch die Einstellung der verschiedenen EDCA-Parameter der Durchsatz enorm erhöht werden kann.

Für uns unerwartet war, dass bei den Messungen mit dem Netgear Access-Point des E-Standard Voice der Durchsatz in der HF-Kammer mit Framelängen von 98 und 546 Byte geringer war, als im gestörten Umfeld. Ein möglicher Grund dafür könnte die Hardware sein. Bei kürzeren Frames können mehr Frames pro Sekunde übertragen werden. Dies könnte den Puffer des Gerätes füllen und das Weiterleiten dieser verzögern.

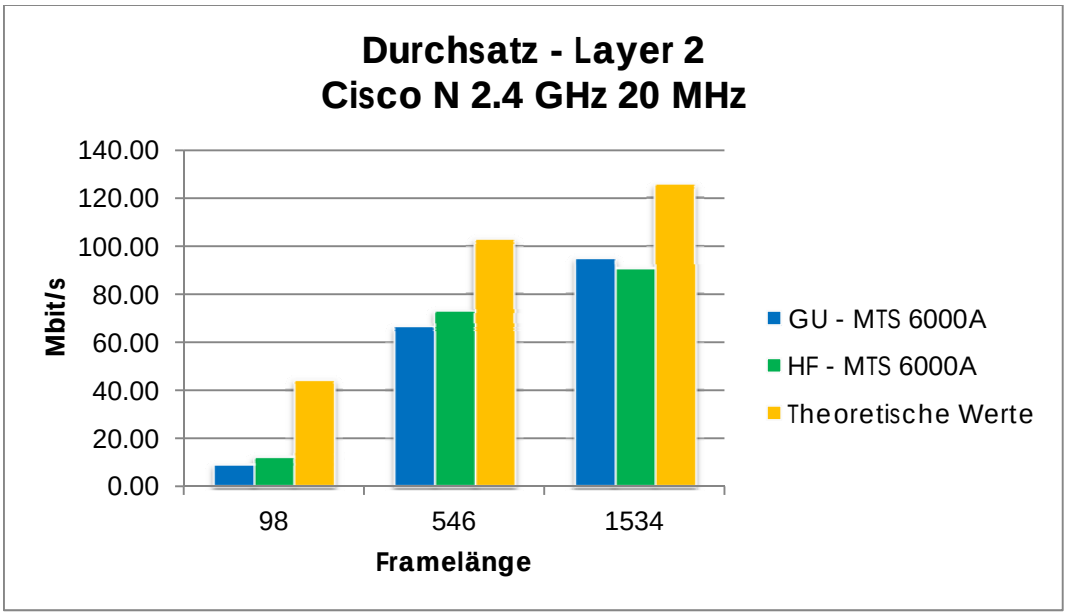
Bei Cisco traten auch bei den Messungen des E-Standards mit IPerf keine Frameverluste auf. Bei Netgear mit Best Effort wurden im gestörten Umfeld drei Frames bei einer Framelänge von 98 Byte verloren. Im der HF-Kammer waren es 30 Frames von insgesamt 152'098 Frames. Unter Verwendung der Video EDCA-Parametern wurde ein Frame von insgesamt 91'969 ausgesendeten Frames verloren. Bei so einer hohen Anzahl an ausgesendeten Frames ist dies aber zu vernachlässigen. Beim Einsatz der Voice EDCA-Parametern waren keine Frameverluste zu verzeichnen.

N-STANDARD 2.4 GHZ

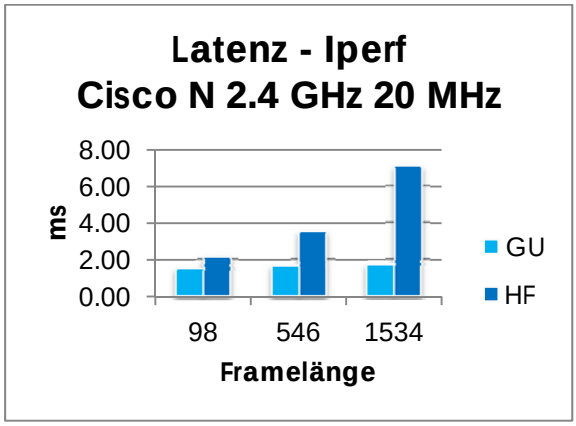
CISCO

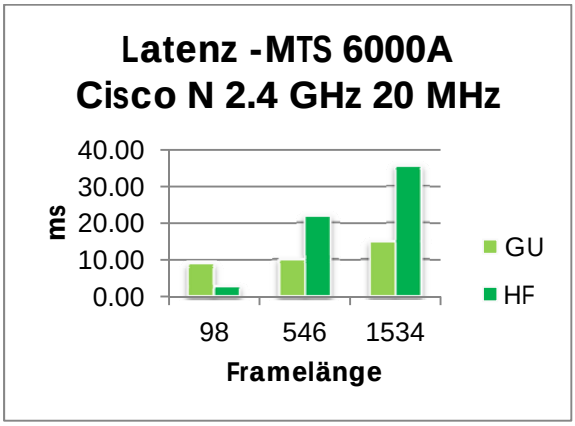


		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	5.33	4.86	6.75	6.61
	546	73.08	61.70	64.97	67.75
	1534	94.43	92.64	100.35	88.43



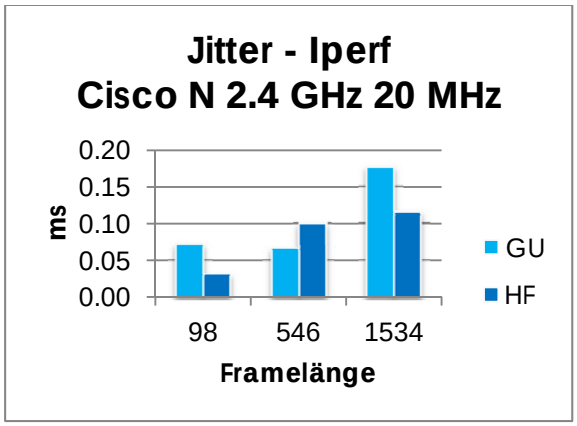
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	9.05	12.32	44.44
	546	66.46	72.99	102.86
	1534	95.02	90.70	125.66

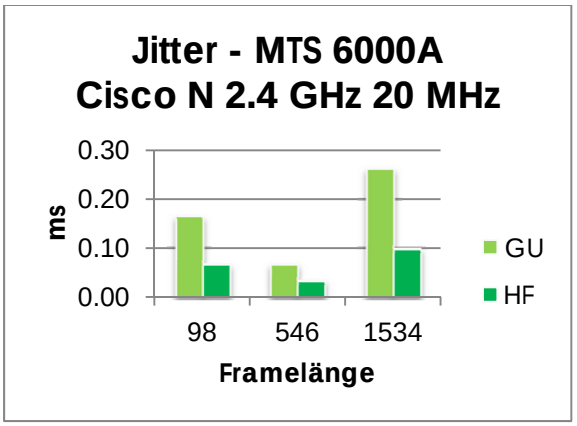




		GU	HF
Frame-länge	**98**	1.50	2.12
	546	1.65	3.52
	1534	1.73	7.06

		GU	HF
Frame-länge	**98**	8.77	2.65
	546	10.16	22.01
	1534	14.91	35.59





Frame-länge	GU	HF
98	0.07	0.03
546	0.07	0.10
1534	0.18	0.12

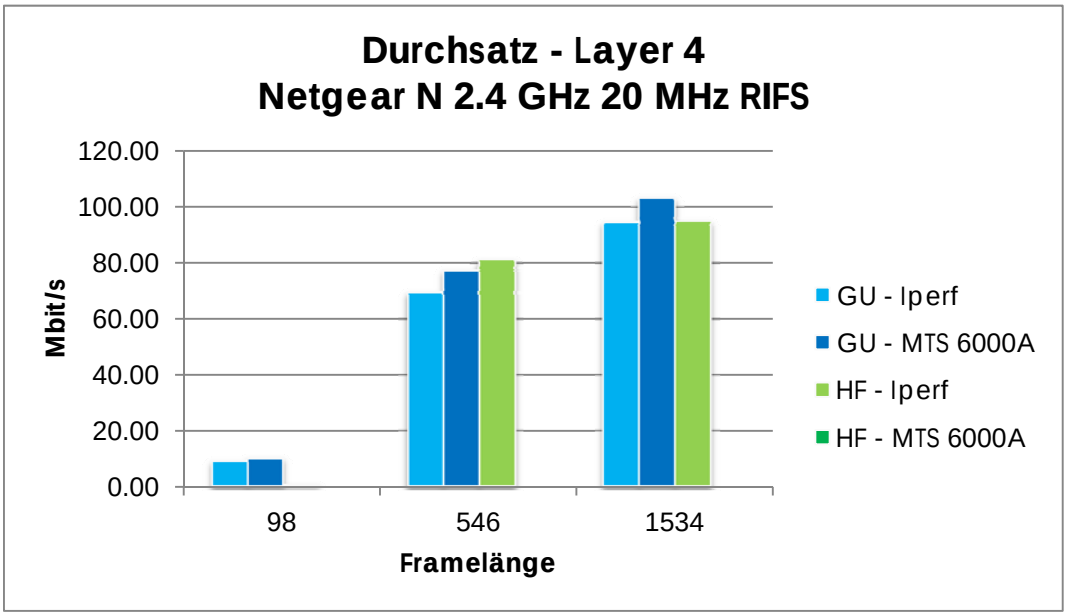
Frame-länge	GU	HF
98	0.16	0.07
546	0.07	0.03
1534	0.26	0.10

Verlorene Frames - Iperf
Cisco N 2.4 GHz 20 MHz

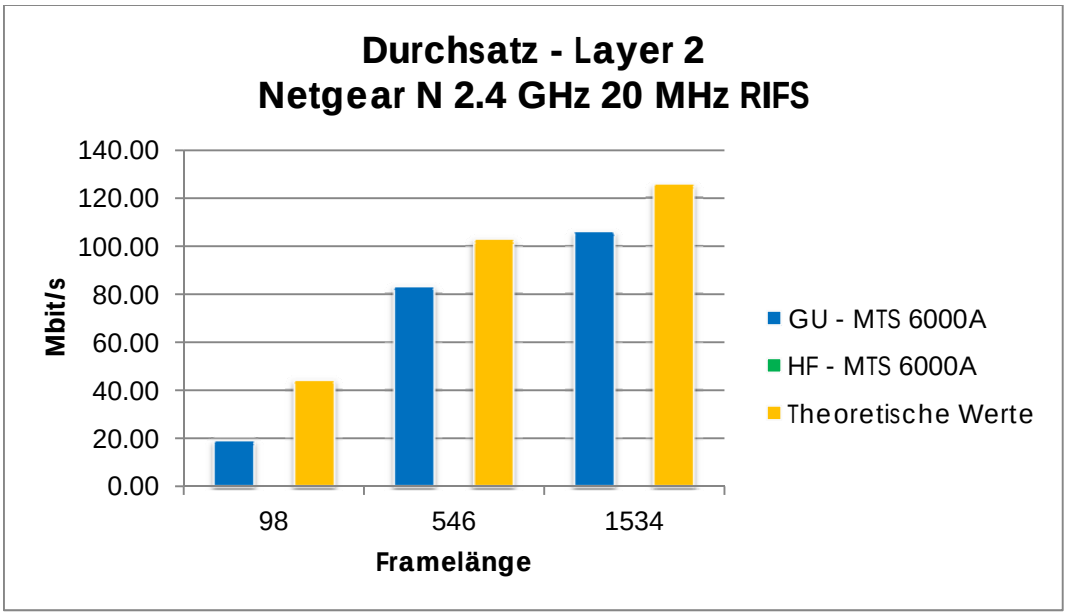
Frame-länge	GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
98	40.37%	378823	934123	12.05%	39395	320701
546	0.00%	0	566329	0.11%	502	503830
1534	0.00%	0	240866	0.01%	26	256048

NETGEAR

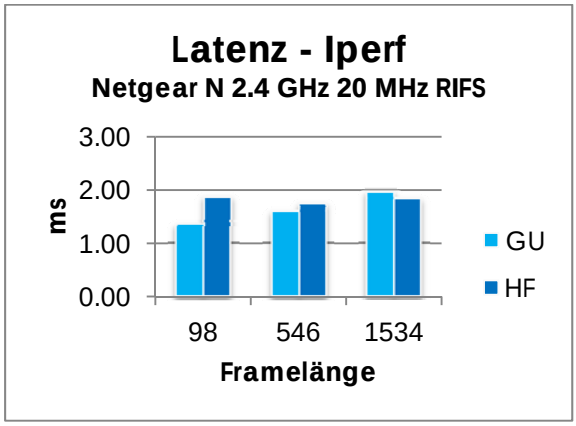
RIFS



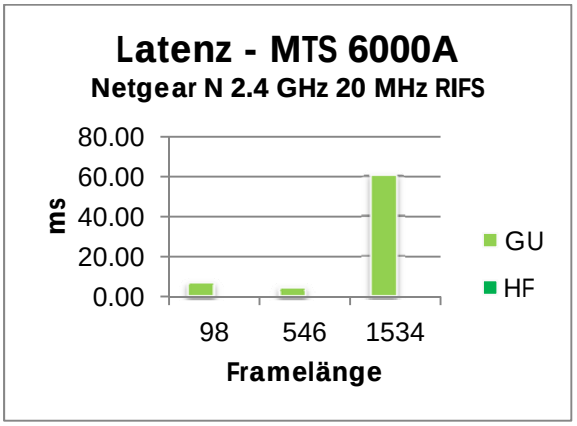
		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	9.22	10.23	0.56	Unavailable
	546	69.57	77.42	81.26	Unavailable
	1534	94.69	103.35	95.04	Unavailable



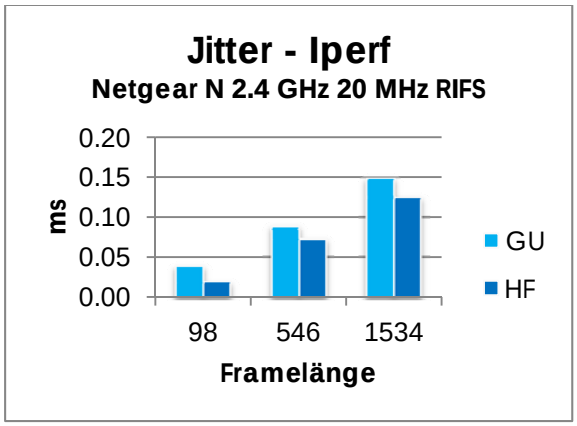
Frame-länge	GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
98	19.07	Unavailable	44.44
546	83.40	Unavailable	102.86
1534	106.00	Unavailable	125.66

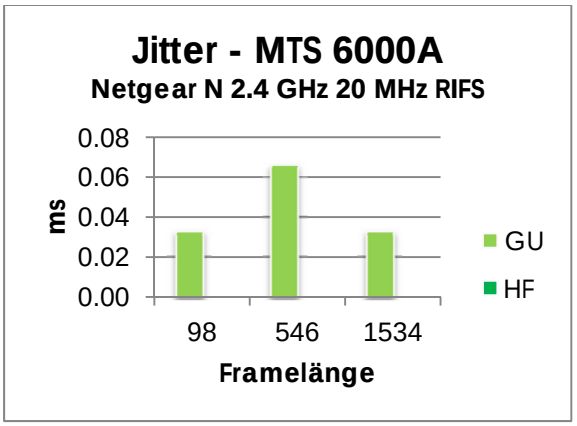


Frame-länge	GU	HF
98	1.36	1.88
546	1.60	1.75
1534	1.97	1.85



Frame-länge	GU	HF
98	6.79	Unavailable
546	4.48	Unavailable
1534	60.96	Unavailable





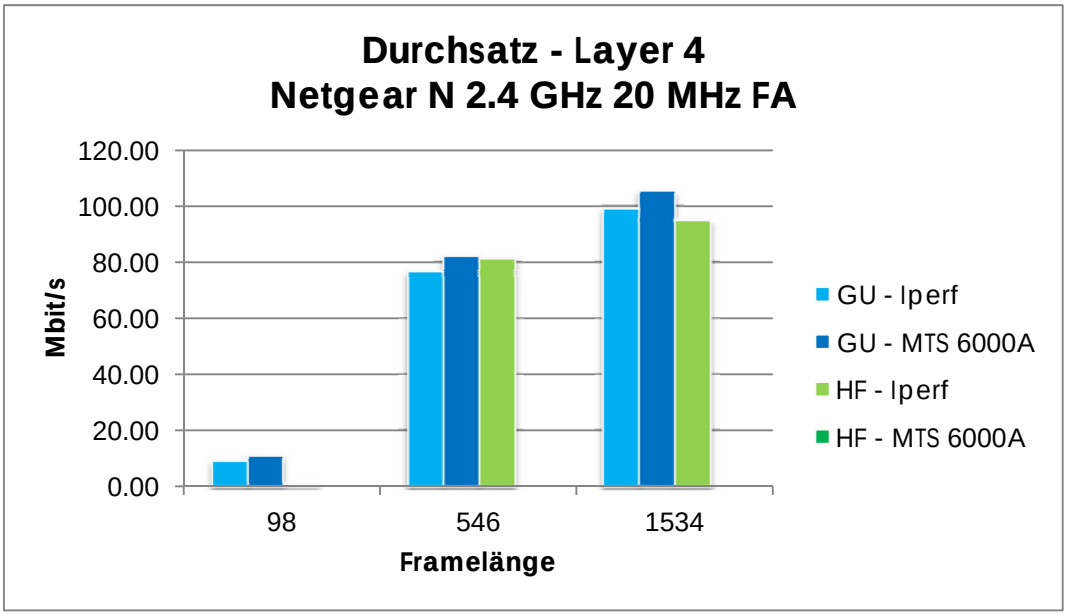
		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.04	0.02
	546	0.09	0.07
	1534	0.15	0.13

		GU	HF
Frame-länge	**98**	0.03	Unavailable
	546	0.07	Unavailable
	1534	0.03	Unavailable

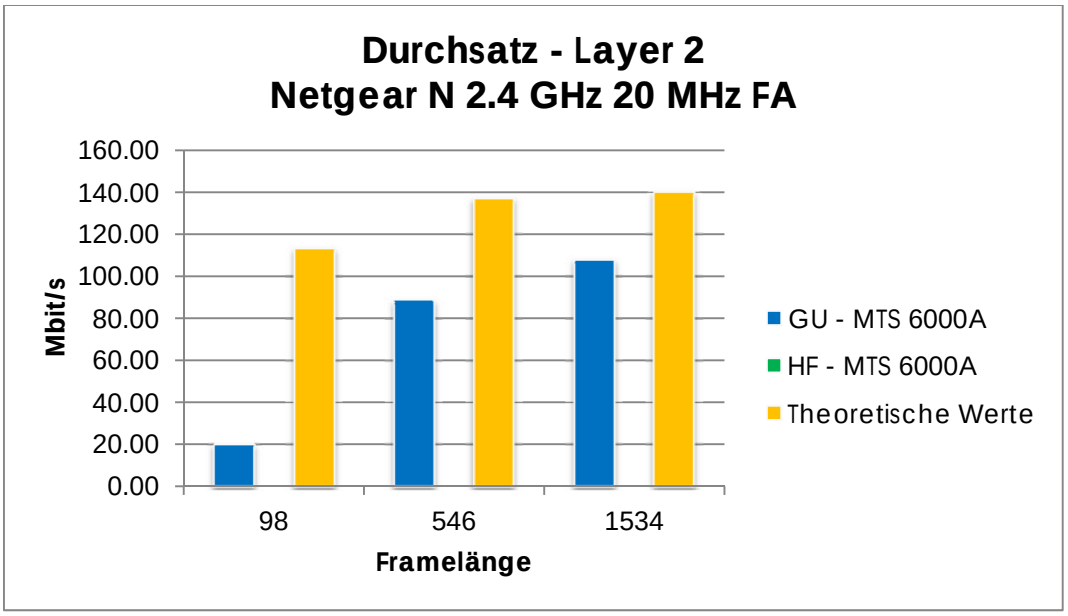
Verlorene Frames - Iperf
Netgear N 2.4 GHz 20 MHz RIFS

		GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
Frame-länge	**98**	0.53%	4823	965627	8.48%	3995	62149
	546	0.37%	1528	540510	0.04%	255	629907
	1534	0.00%	0	241569	0.01%	14	242462

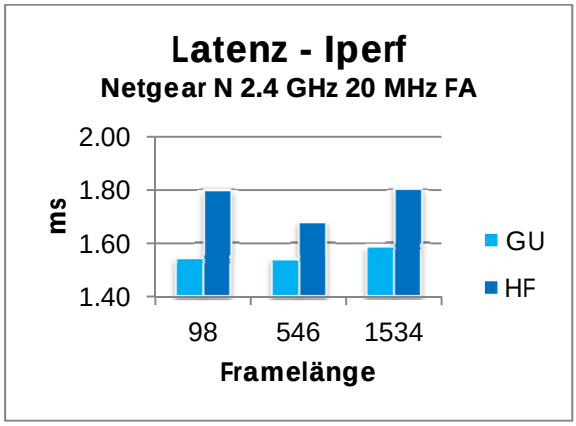
FRAME AGGREGATION



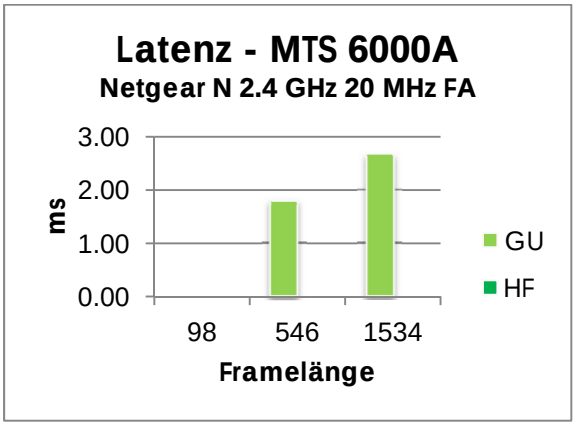
		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	9.11	10.77	0.83	Unavailable
	546	76.68	82.33	81.50	Unavailable
	1534	99.31	105.38	95.03	Unavailable



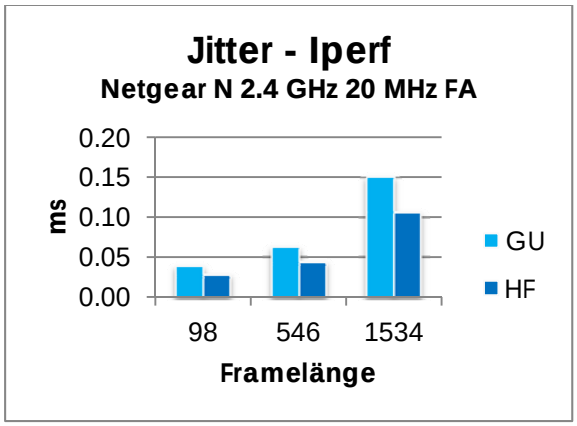
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	20.07	Unavailable	113.52
	546	88.68	Unavailable	137.34
	1534	108.09	Unavailable	140.34

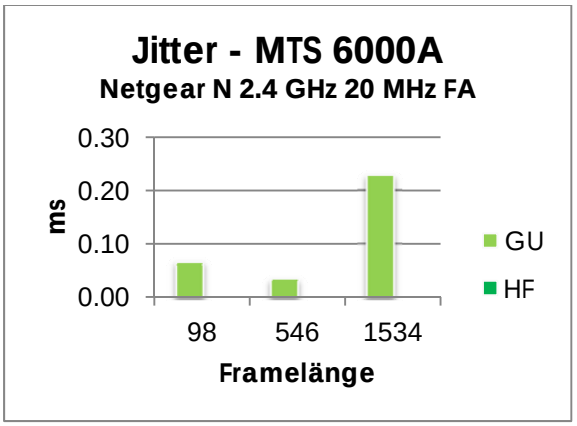


		GU	HF
Frame-länge	**98**	1.54	1.80
	546	1.54	1.68
	1534	1.58	1.80



		GU	HF
Frame-länge	**98**	Unavailable	Unavailable
	546	1.80	Unavailable
	1534	2.67	Unavailable





Frame-länge	GU	HF
98	0.04	0.03
546	0.06	0.04
1534	0.15	0.11

Frame-länge	GU	HF
98	0.07	Unavailable
546	0.03	Unavailable
1534	0.23	Unavailable

Verlorene Frames - Iperf
Netgear N 2.4 GHz 20 MHz FA

Frame-länge	GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
98	0.33%	3241	951671	6.05%	4992	90944
546	0.02%	114	594160	0.04%	237	610664
1534	0.00%	0	253455	0.00%	8	242429

RESULTATE N-STANDARD 2.4 GHZ

Beim Cisco Access-Point konnte die Frame-Aggregation bzw. RIFS nicht manuell eingestellt werden. Durch das Sniffen mittels Wireshark wurde erkannt, dass bei den Messungen die Frame-Aggregation aktiv war. Auffallend ist, dass bei kurzen Frames von 98 Byte ein geringer Durchsatz erzielt worden ist. Zusätzlich ist die Frameverlustrate bei dieser Framelänge im gestörten Umfeld mit 40 Prozent sehr hoch. Auch in der HF-Kammer waren Frameverluste vorhanden. Der theoretische Durchsatz wurde vor allem bei kurzen Frames sehr schlecht erreicht. Auch bei längeren Frames wird der theoretische Durchsatz nicht annähernd erreicht. Ein Grund dafür ist, dass die Frame-Aggregation nicht voll ausgenutzt wurde. Es wurde erkannt, dass immer nur ca. 20 Frames zu einem langen Frame aggregiert wurden. Laut Standard können aber zu 64 Frames aggregiert werden. Durch die Aggregation von lediglich 20 Frames werden weniger Daten übertragen, was wiederum einen Einfluss auf den Durchsatz zur Folge hat.

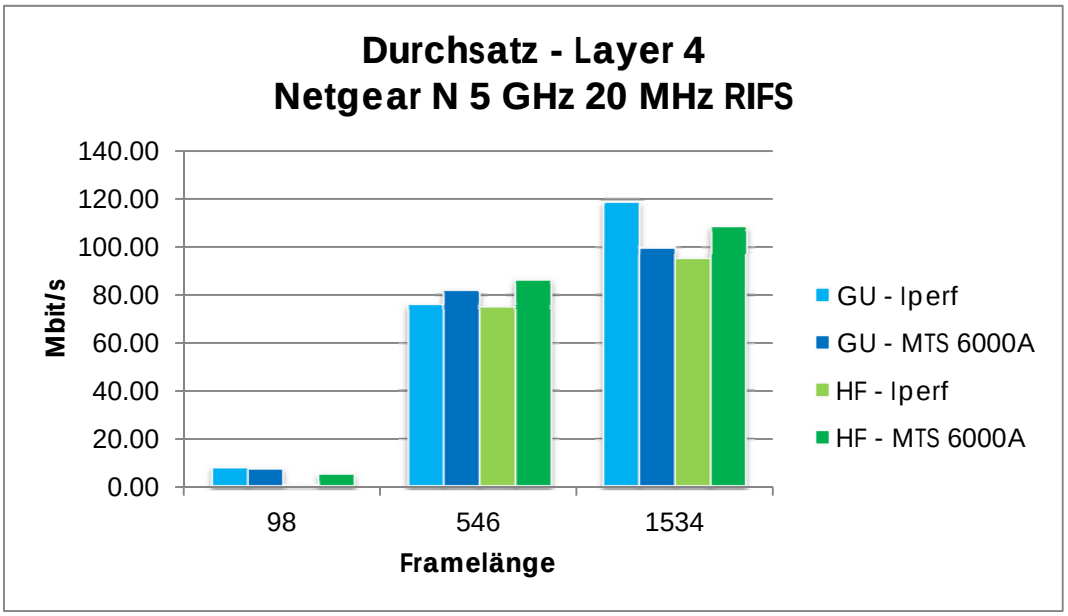
Bei Netgear war der erreiche Durchsatz unter Verwendung der Frame-Aggregation höher als mit RIFS. Dies war auch auf Grund der Berechnungen der Durchsätze zu erwarten. Die erreichten Durchsätze sind allerdings niedriger als die theoretischen. Auch hier ist wiederum aufgefallen, dass RIFS als auch die Frame-Aggregation nicht vollständig ausgenutzt wurde. Bei RIFS wurden nicht 64 Frames hintereinander ausgesendet, wie es durch den Standard möglich wäre. Bei der Frame-Aggregation wurden maximal 30 Frames aggregiert. Dadurch wurden beide Technologien nicht vollständig ausgenutzt, was sich auf einen niedrigeren Durchsatz auswirkt.

Bei den Messungen des N-Standards fällt auf, dass bei manchen Messungen der erreichte Durchsatz in der HF-Kammer geringer ist als im gestörten Umfeld. Der Grund dafür liegt in der Verwendung von MIMO-Antennen. Hierbei werden die Signale über mehrere Antennen ausgesendet und an Wänden und Gegenständen unterschiedlich reflektiert, bis sie das Ziel erreichen. Weil in der HF-Kammer die Signale an den Wänden absorbiert werden, funktioniert diese Technologie nicht immer einwandfrei. Dies führt dann zu einem geringeren Durchsatz und zu einer erhöhten Frameverlustrate.

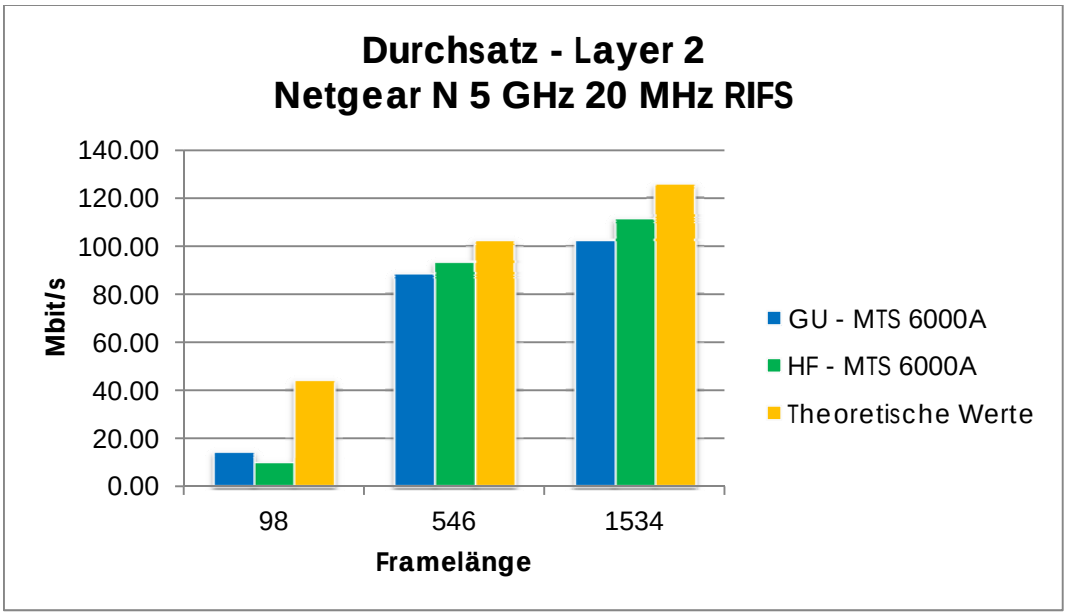
N-STANDARD 5 GHZ

NETGEAR 20 MHZ

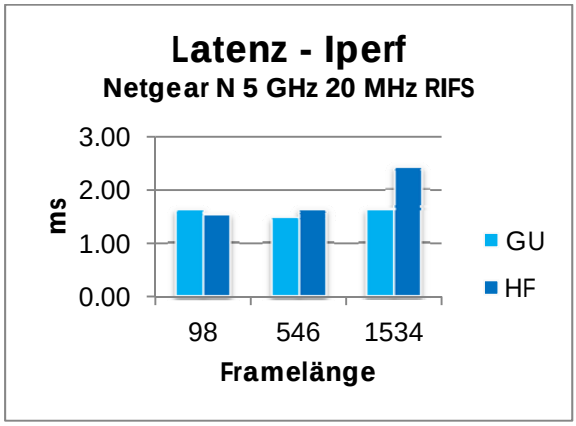
RIFS



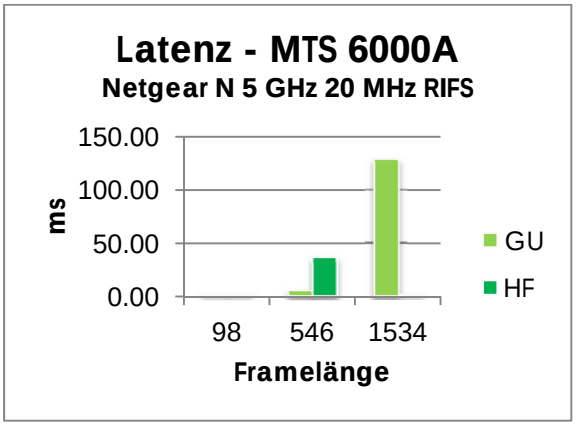
		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	8.24	7.70	0.53	5.38
	546	76.09	82.10	75.10	86.65
	1534	119.00	99.86	95.38	108.62



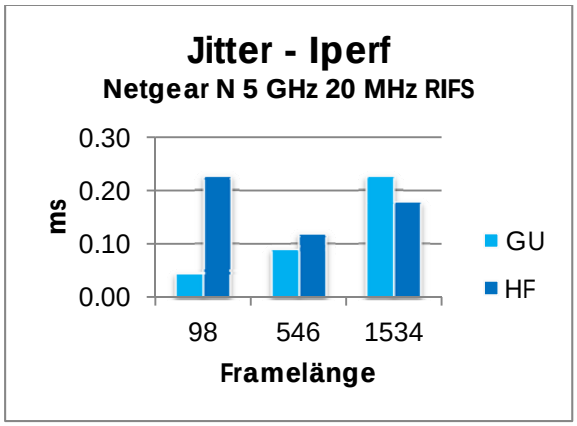
Frame-länge	GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
98	14.34	10.03	44.24
546	88.44	93.34	102.3
1534	102.42	111.41	125.66

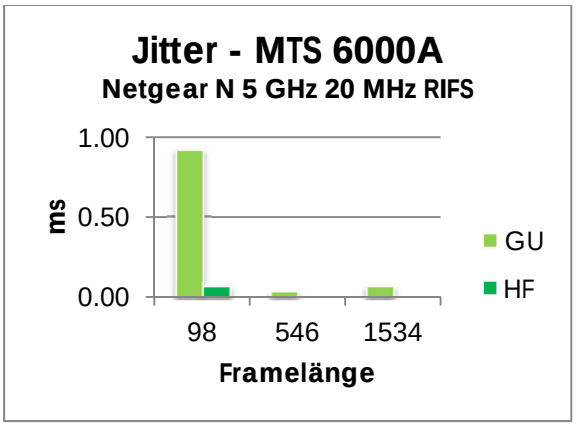


Frame-länge	GU	HF
98	1.63	1.54
546	1.47	1.63
1534	1.63	2.42



Frame-länge	GU	HF
98	1.19	1.23
546	5.19	36.45
1534	129.20	1.48





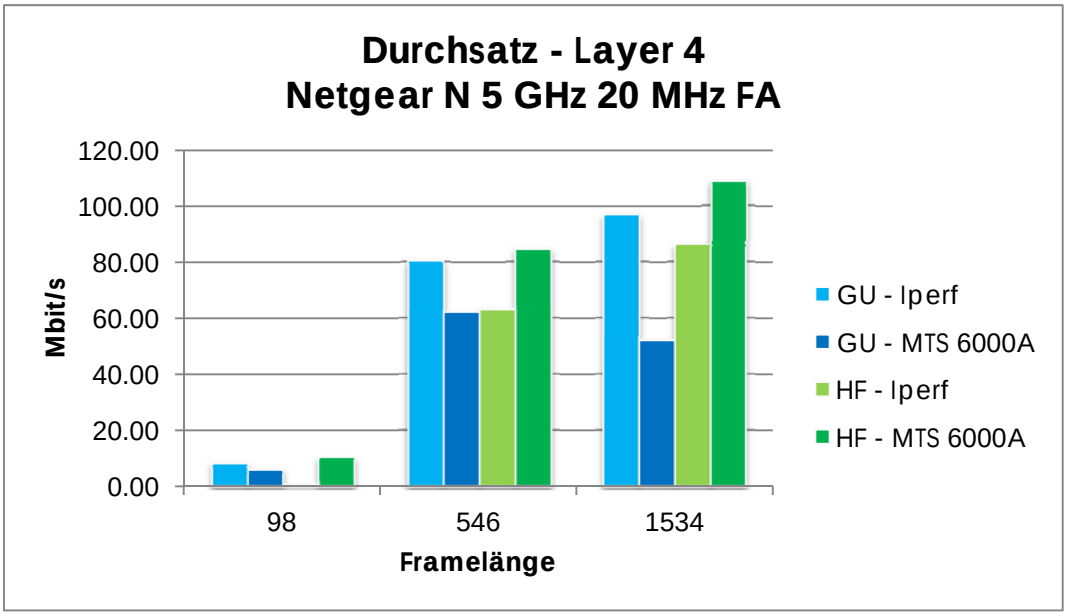
Frame-länge	GU	HF
98	0.04	0.23
546	0.09	0.12
1534	0.23	0.18

Frame-länge	GU	HF
98	0.92	0.07
546	0.03	0.00
1534	0.07	0.00

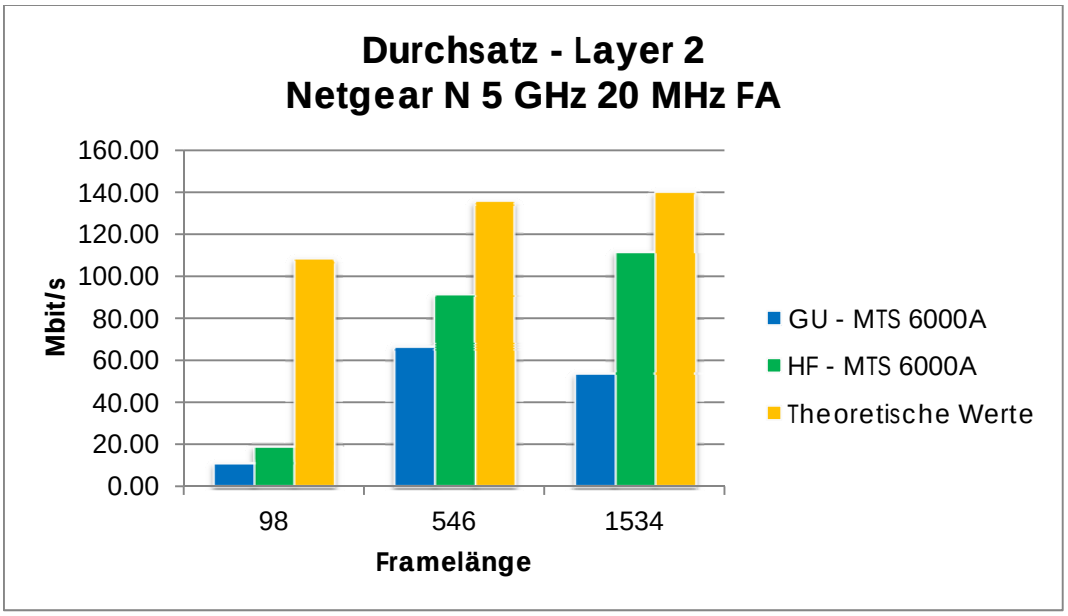
Verlorene Frames - Iperf
Netgear N 5 GHz 20 MHz RIFS

Frame-länge	GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
98	0.33%	2747	861235	5.63%	205290	258713
546	0.02%	110	589688	0.16%	984	582828
1534	0.00%	0	220523	0.00%	0	243300

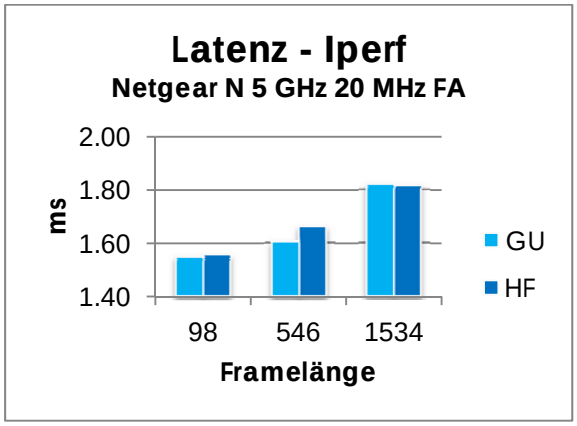
FRAME AGGREGATION



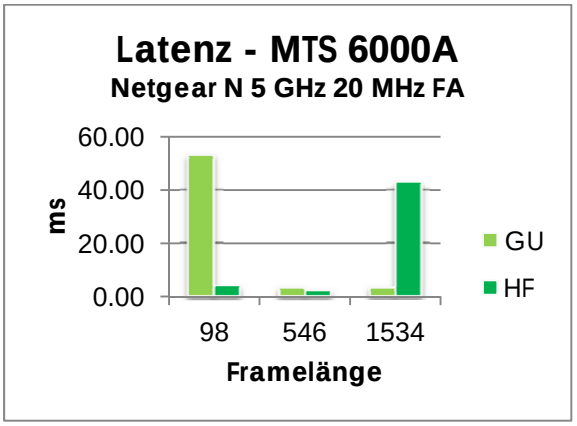
		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	8.29	5.94	0.50	10.21
	546	80.46	61.87	63.16	84.72
	1534	96.86	52.26	86.11	108.9



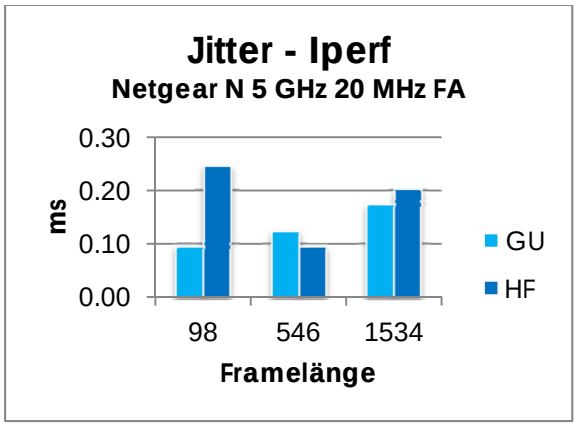
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	11.06	19.03	108.4
	546	66.65	91.27	135.64
	1534	53.60	111.7	140.34

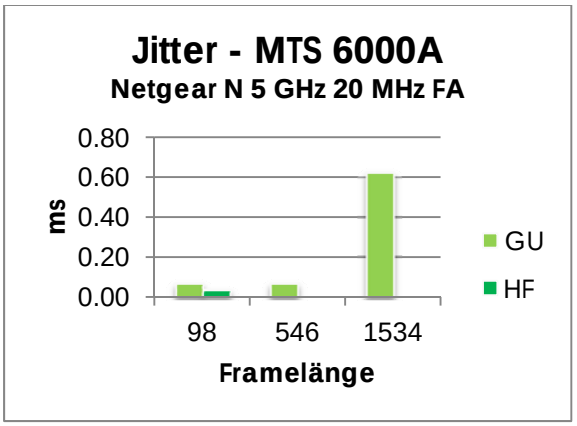


		GU	HF
Frame-länge	**98**	1.55	1.55
	546	1.61	1.66
	1534	1.82	1.82



		GU	HF
Frame-länge	**98**	53.38	3.92
	546	3.14	2.21
	1534	3.33	43.17





Frame-länge	GU	HF
98	0.09	0.25
546	0.12	0.09
1534	0.17	0.20

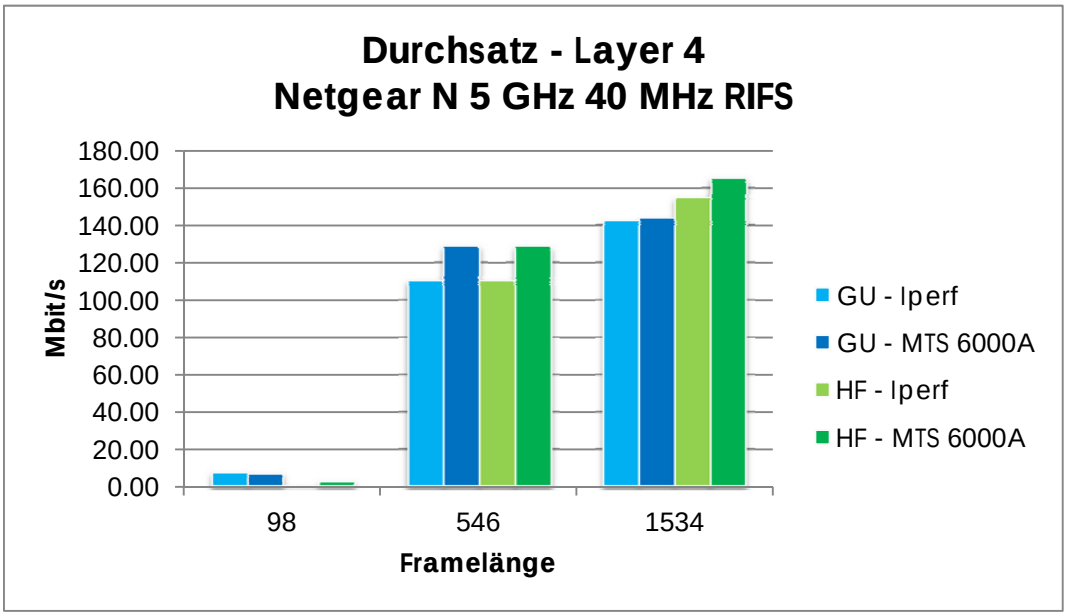
Frame-länge	GU	HF
98	0.07	0.03
546	0.07	0.00
1534	0.62	0.00

Verlorene Frames - Iperf
Netgear N 5 GHz 20 MHz FA

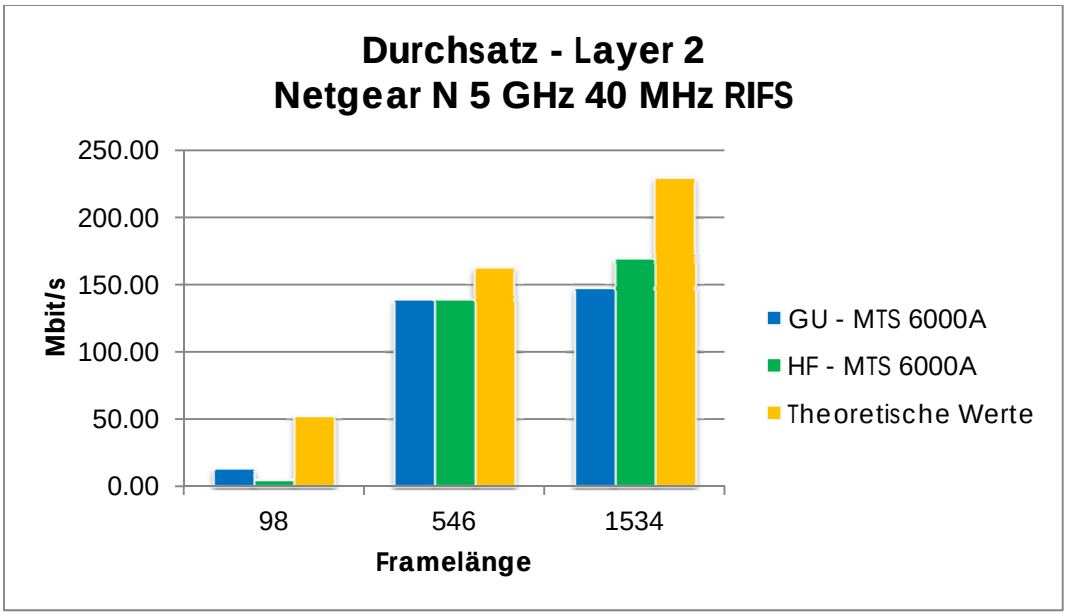
Frame-länge	GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
98	0.28%	2561	865663	2.33%	2791	54864
546	3.36%	27952	507335	0.17%	864	490226
1534	0.00%	0	247096	0.00%	0	219674

NETGEAR 40 MHZ

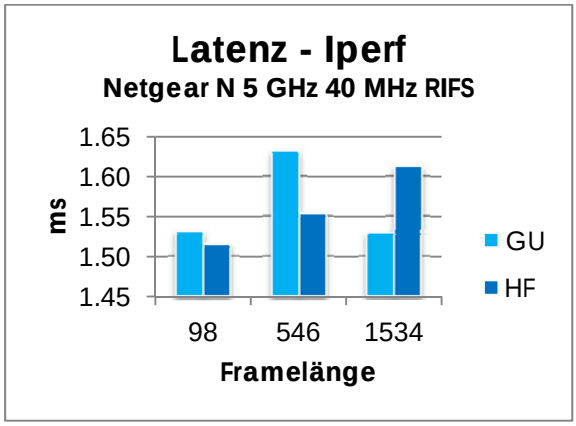
RIFS

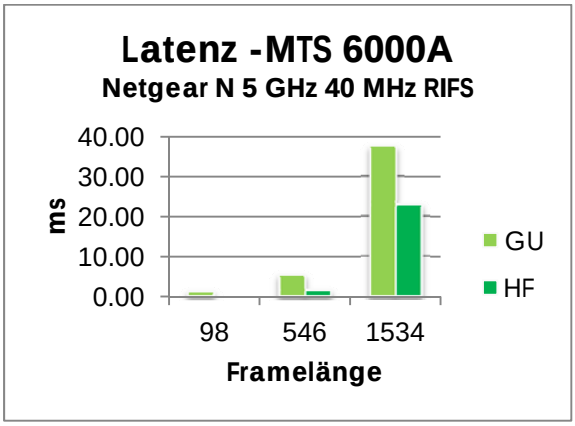


		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	7.60	7.04	0.10	2.69
	546	110.29	128.97	110.19	128.72
	1534	142.37	143.85	154.73	165.22



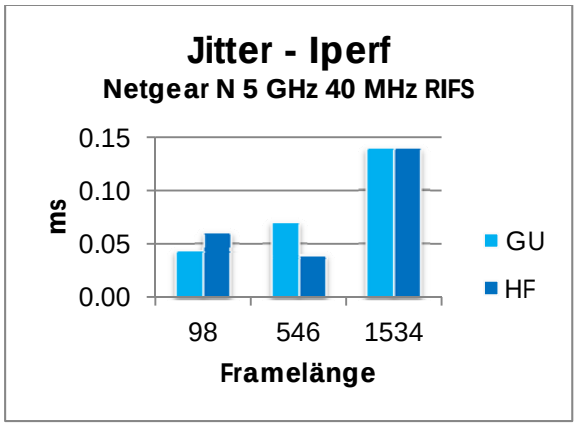
		GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
Frame-länge	**98**	13.13	5.02	52.68
	546	138.93	138.66	162.68
	1534	147.55	169.47	229.32

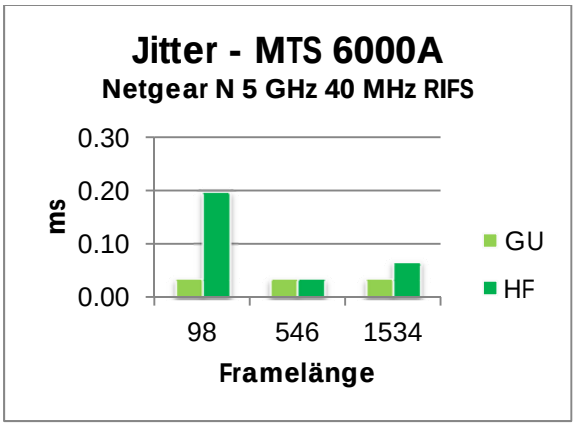




		GU	HF
Frame-länge	**98**	1.53	1.52
	546	1.63	1.55
	1534	1.53	1.61

		GU	HF
Frame-länge	**98**	1.22	Unavailable
	546	5.31	1.46
	1534	37.57	22.95





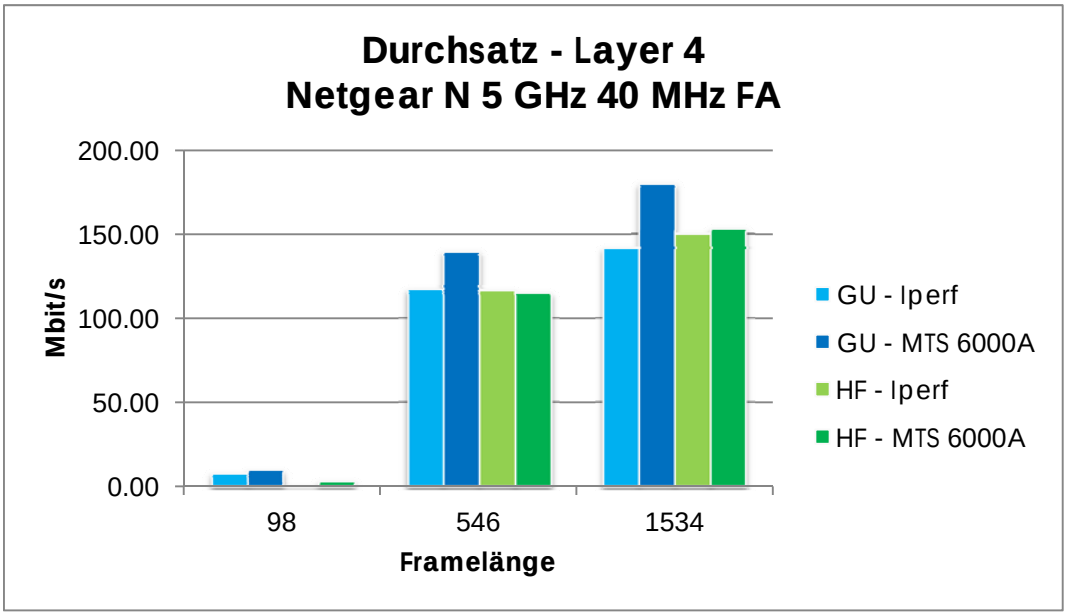
Frame-länge	GU	HF
98	0.04	0.06
546	0.07	0.04
1534	0.14	0.14

Frame-länge	GU	HF
98	0.03	0.20
546	0.03	0.03
1534	0.03	0.07

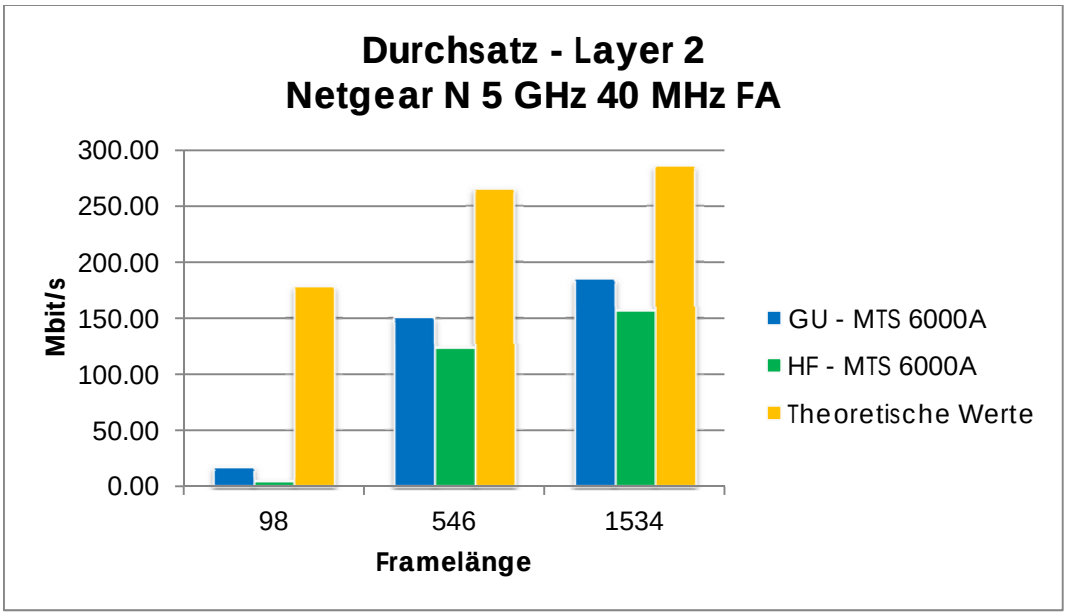
Verlorene Frames - Iperf
Netgear N 5 GHz 40 MHz RIFS

Frame-länge	GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
98	0.00%	0	792130	3.29%	3429	12009
546	0.00%	24	854153	0.07%	614	853579
1534	0.00%	0	363136	0.00%	4	394568

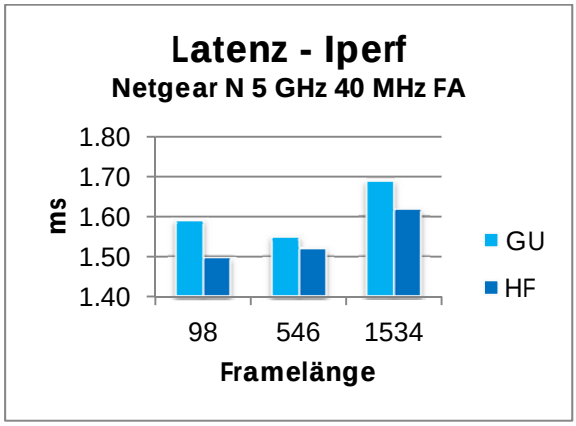
FRAME AGGREGATION

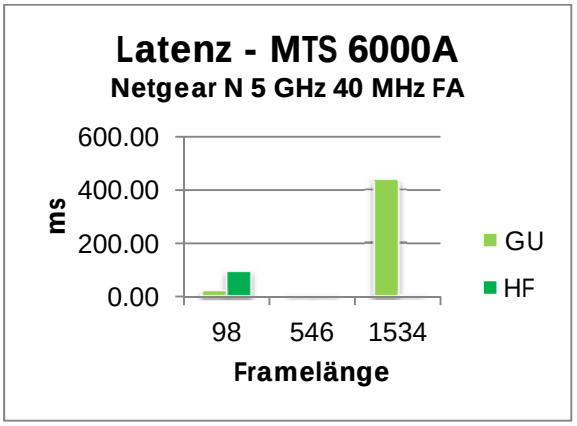


		GU - Iperf	GU - MTS 6000A	HF - Iperf	HF - MTS 6000A
Frame-länge	**98**	7.73	9.39	0.29	2.69
	546	117.05	139.66	116.43	115.05
	1534	141.70	180.02	150.03	152.9



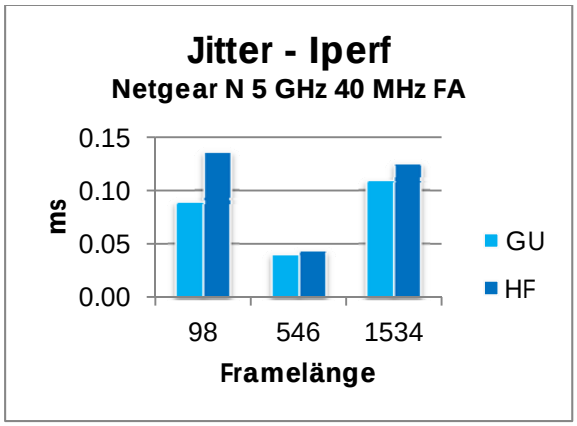
Frame-länge	GU - MTS 6000A	HF - MTS 6000A	Theoretische Werte
98	17.49	5.02	178.16
546	150.44	123.93	265.66
1534	184.65	156.82	285.42

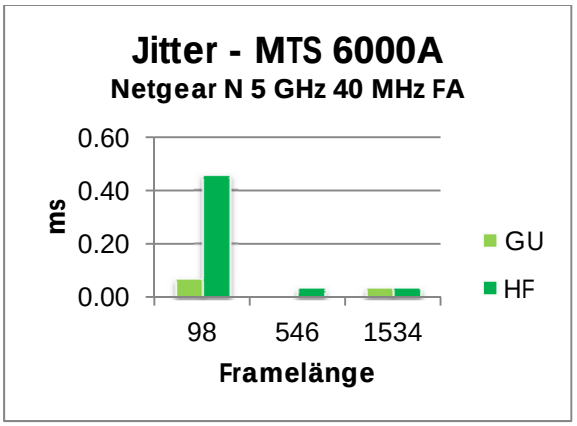




Frame-länge	GU	HF
98	1.59	1.50
546	1.55	1.52
1534	1.69	1.62

Frame-länge	GU	HF
98	20.56	95.11
546	2.96	2.00
1534	439.67	2.78





Frame-länge	GU	HF
98	0.09	0.14
546	0.04	0.04
1534	0.11	0.13

Frame-länge	GU	HF
98	0.07	0.46
546	0.00	0.03
1534	0.03	0.03

Verlorene Frames - Iperf
Netgear N 5 GHz 40 MHz FA

Frame-länge		GU Verloren %	GU Verloren	GU Gesendet	HF Verloren %	HF Verloren	HF Gesendet
	98	0.32%	2729	807876	2.15%	2094	32593
	546	0.22%	1750	907927	0.13%	1091	902958
	1534	0.00%	0	361353	0.00%	0	382939

RESULTATE N-STANDARD 5 GHZ

Auch beim N-Standard 5 GHz kann deutlich festgestellt werden, dass die Implementierung von Frame Aggregation und RIFS von Netgear nicht standardisiert umgesetzt wurde.

Nachfolgende Tabelle veranschaulicht den prozentualen Unterschied zum theoretischen Durchsatz:

	GU MTS6000A	HF MTS6000A	Theoretische Werte
N 5 GHz 20 MHz RIFS	102.42 Mbit/s	111.41 Mbit/s	125.66 Mbit/s
	81.50%	88.66%	100.00%
	- 18.50%	- 11.34%	
N 5 GHz 20 MHz FA	53.60 Mbit/s	111.70 Mbit/s	140.34 Mbit/s
	38.19%	79.59%	100.00%
	- 61.81%	- 20.41%	
N 5 GHz 40 MHz RIFS	147.55 Mbit/s	169.47 Mbit/s	229.32 Mbit/s
	64.34%	73.90%	100.00%
	- 35.66%	- 26.10%	
N 5 GHz 40 MHz FA	184.65 Mbit/s	156.82 Mbit/s	285.42 Mbit/s
	64.69%	54.94%	100.00%
	- 35.31%	- 45.06%	

Die GU und HF Messungen liegen mit durchschnittlich 31 Prozent gegenüber dem theoretischen Durchsatz relativ tief.

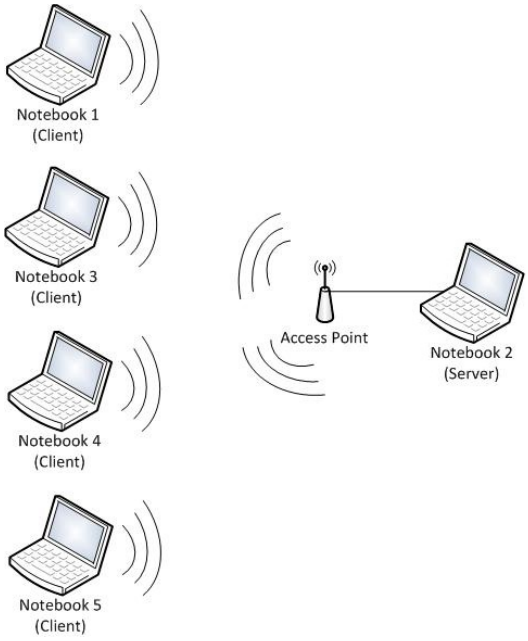
Auffallend ist auch, dass die IPerf Messungen in der 20 MHz Kanalbreite besser abschneiden, als die nach RFC 2544 standardisierten MTS 6000A Messungen. Dies ist höchstwahrscheinlich darauf zurück zu führen, dass die Parameter der MTS 6000A Messungen schon von Grund auf besser implementiert sind, als die manuellen Parameter, welche dem IPerf mitgeliefert werden können. Diese Aussage wird auch durch die Jitter- und Latenzwerten bestätigt.

ERGÄNZENDE MESSUNGEN

Neben den Layer 2 Messungen nach dem Standard RFC 2544 werden noch zusätzliche Durchsatzmessungen durchgeführt. Dabei wird der Durchsatz einer Station (Client) analysiert, wenn zusätzliche Stationen Daten über das WLAN senden. Dafür wird wiederum das Tool IPerf eingesetzt. Diese Messungen werden nur im gestörten Umfeld durchgeführt.

MESSSETUP

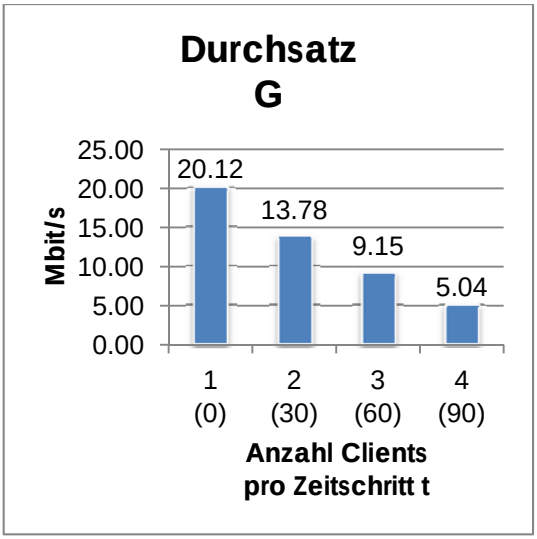
Das Messsetup entspricht demjenigen, welches bereits für die RFC 2544 Messungen mittels IPerf verwendet wurde. Zusätzlich wurden noch drei weitere Notebooks installiert und konfiguriert. Bei diesen Messungen wurde analysiert, wie sich der Durchsatz auf dem Notebook 1 verhält, wenn andere Stationen Daten über das WLAN zu übertragen beginnen. Die Clients (Notebook 1, 3, 4, und 5) senden UDP-Datengramme an den Server (Notebook 2). Auf dem Server wird der Durchsatz des Notebook 1 angezeigt und ausgewertet. Zu Beginn sendet nur das Notebook 1 Daten an den Server. Nach 30 Sekunden beginnt ein weiterer Client (Notebook 3) parallel Daten an den Server zu übertragen. Nach weiteren 30 Sekunden startet ein weiterer Client (Notebook 4) mit der Übertragung der Daten an den Server. Dies wird solange durchgeführt, bis alle 4 Clients gemeinsam Daten an den Server senden. Diese Messungen veranschaulichen den resultierenden Durchsatz des Notebooks 1, wenn mehrere Clients im WLAN Daten übertragen. Dadurch kann der mögliche Durchsatz abgeleitet werden, wenn mehrere Stationen in einem WLAN vorhanden sind. Die nachfolgenden Messungen werden nur unter Verwendung des Netgear Access-Points durchgeführt.

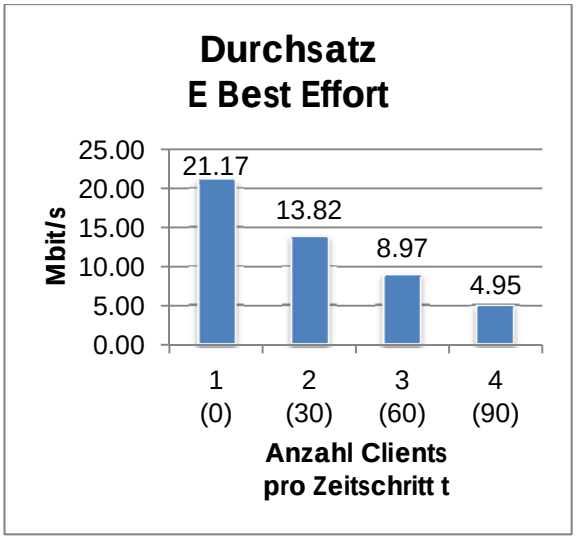


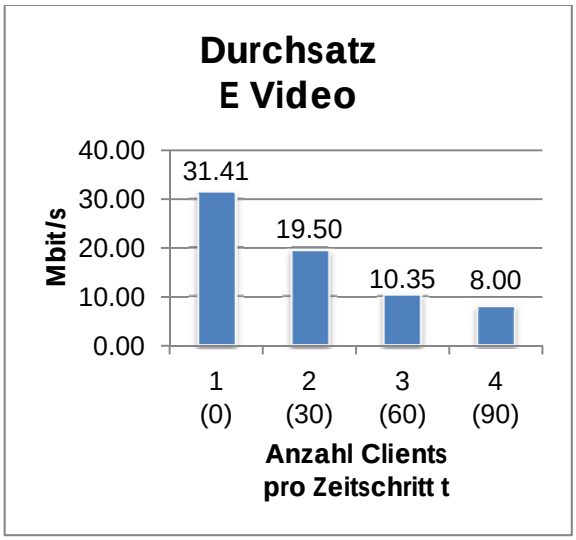
MESSAUSWERTUNG

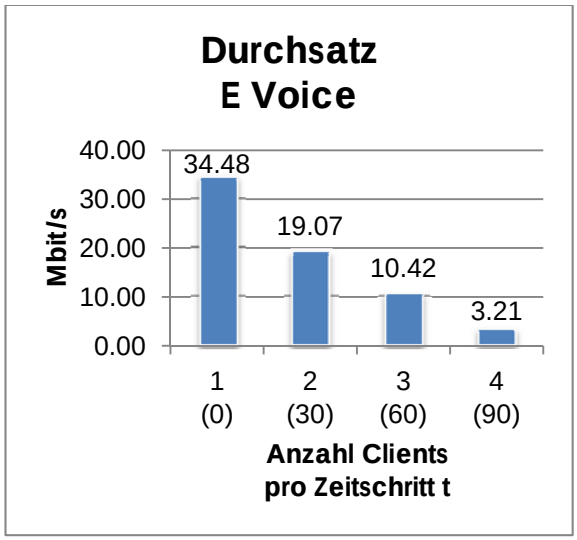
Die Ergebnisse der Messungen werden für jeden Standard und für jede eingestellte Technologie in einem Diagramm dargestellt. Die Messungen wurden wiederum mit dem G-, E- und N-Standard durchgeführt. Beim E-Standard wurden die Messungen mit Best Effort und mit den EDCA-Parametern Video und Voice durchgeführt. Beim N-Standard wurden die Technologien RIFS und Frame-Aggregation auf beiden Frequenzbändern (2.4 und 5 GHz) gemessen. Die Messungen im 2.4 GHz-Band wurden nur mit einer Kanalbreite von 20 MHz durchgeführt, währendem im 5 GHz-Band sowohl mit einer 20 MHz als auch mit einer 40 MHz Kanalbreite gemessen wurde.

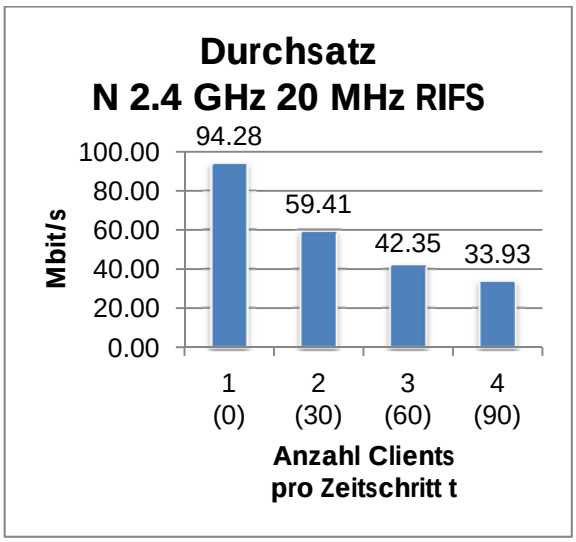
Die Diagramme veranschaulichen den Durchsatz des Notebook 1, wenn wiederholt nach 30 Sekunden ein weiteres Notebook mit der Übertragung von Daten beginnt. In der X-Achse wird jeweils angezeigt, wie viele Clients gleichzeitig Daten senden. Zusätzlich wird der Zeitschritt t in Klammern dargestellt. Der Durchsatz wurde für jeden Zeitschritt mit einer Dauer von 30 Sekunden als Mittelwert berechnet. Dieser Wert wird für jeden Zeitschritt im Diagramm angezeigt.

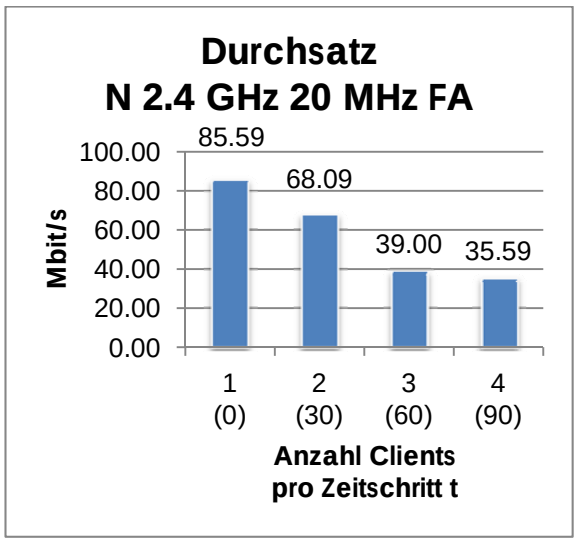


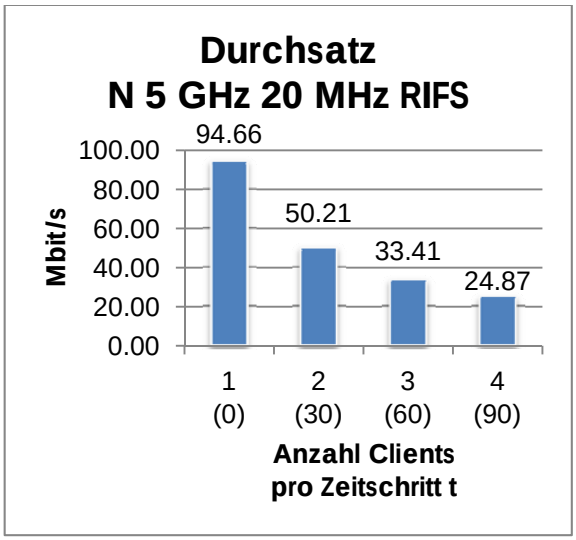


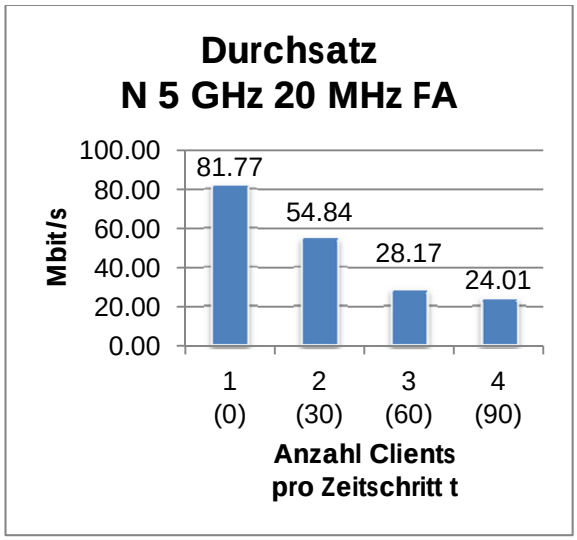

Durchsatz
E Video
Mbit/s
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
31.41
19.50
10.35
8.00
1 (0)
2 (30)
3 (60)
4 (90)
Anzahl Clients pro Zeitschritt t

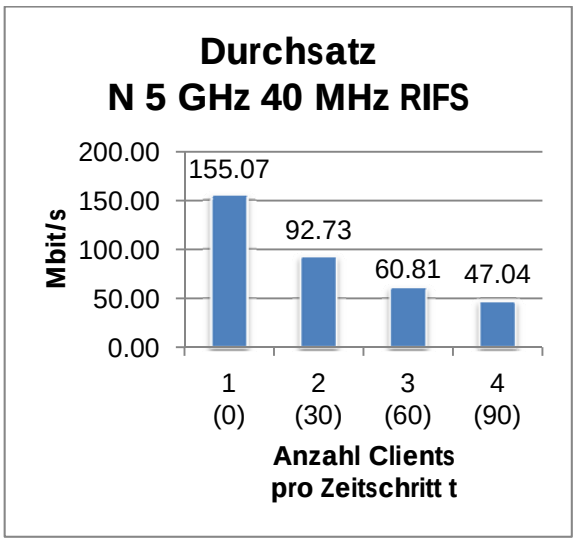

Durchsatz
E Voice
Mbit/s
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
34.48
19.07
10.42
3.21
1 (0)
2 (30)
3 (60)
4 (90)
Anzahl Clients pro Zeitschritt t

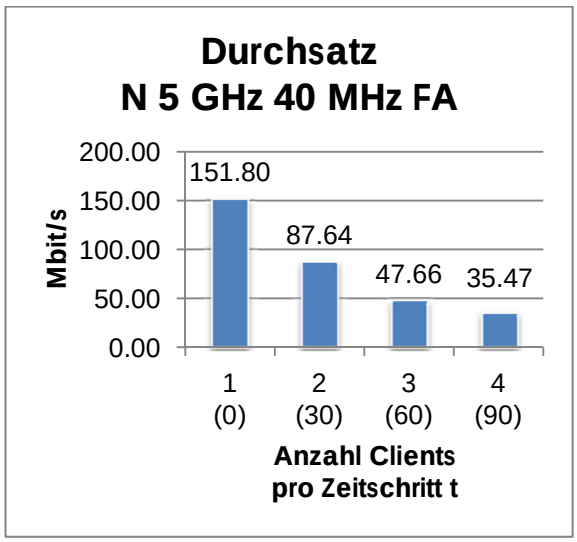

Durchsatz
N 2.4 GHz 20 MHz RIFS
Mbit/s
100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
0.00
94.28
59.41
42.35
33.93
1 (0)
2 (30)
3 (60)
4 (90)
Anzahl Clients pro Zeitschritt t


Durchsatz
N 2.4 GHz 20 MHz FA
Mbit/s
100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
0.00
85.59
68.09
39.00
35.59
1 (0)
2 (30)
3 (60)
4 (90)
Anzahl Clients pro Zeitschritt t


Durchsatz
N 5 GHz 20 MHz RIFS
Mbit/s
100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
0.00
94.66
50.21
33.41
24.87
1 (0)
2 (30)
3 (60)
4 (90)
Anzahl Clients pro Zeitschritt t


Durchsatz
N 5 GHz 20 MHz FA
Mbit/s
100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
0.00
81.77
54.84
28.17
24.01
1 (0)
2 (30)
3 (60)
4 (90)
Anzahl Clients pro Zeitschritt t


Durchsatz
N 5 GHz 40 MHz RIFS
Mbit/s
200.00
150.00
100.00
50.00
0.00
155.07
92.73
60.81
47.04
1 (0)
2 (30)
3 (60)
4 (90)
Anzahl Clients pro Zeitschritt t


Durchsatz
N 5 GHz 40 MHz FA
Mbit/s
200.00
150.00
100.00
50.00
0.00
151.80
87.64
47.66
35.47
1 (0)
2 (30)
3 (60)
4 (90)
Anzahl Clients pro Zeitschritt t

RESULTATE

Wie erwartet nimmt der Durchsatz mit zunehmender Anzahl an Stationen innerhalb eines WLANs ab. Der Grund dafür liegt darin, dass das WLAN ein geteiltes Medium ist. Somit müssen alle Stationen das Medium Luft teilen und es kann daher nur jeweils eine Station Daten übertragen. Wollen mehrere Stationen gleichzeitig das Medium belegen, so konkurrieren diese sich.

Bevor eine Station mit der Datenübertragung beginnen kann, muss Sie eine DIFS –Distributed Inter Frame Space – Zeit abwarten. Anschliessend wird der Backoff-Algorithmus aktiviert. Mit dem Backoff-Algorithmus wird sichergestellt, dass nicht alle Stationen nach Ablauf eines DIFS zeitgleich auf das Medium zugreifen und es deshalb zwangsläufig zu Kollisionen kommt. Dieser Algorithmus wird von jeder Station einzeln berechnet, bevor diese versucht, auf das Medium zuzugreifen. Je mehr Stationen nun in einem WLAN vorhanden sind, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Medium bereits von einer anderen Station belegt ist bzw. auch nach dem Ablauf des Backoff-Algorithmus bereits eine andere Station auf das Medium zugreift, da ihr Backoff-Algorithmus bereits durchlaufen wurde. Dies führt dann dazu, dass Stationen öfters einen Medienzugriff versuchen müssen, um Daten zu übertragen. Daraus resultiert dann wiederum einen Einbruch im Durchsatz für jede Station.

In den Messungen fällt vor allem auf, dass der Durchsatz nicht linear mit der Anzahl vorhandenen Stationen abnimmt. Vielmehr ähnelt das Ergebnis einer exponentiellen Verteilungsfunktion.

ANLEITUNG ZUR OPTIMIERUNG, FEHLERSUCHE UND BEHEBUNG VON WLAN NETZEN

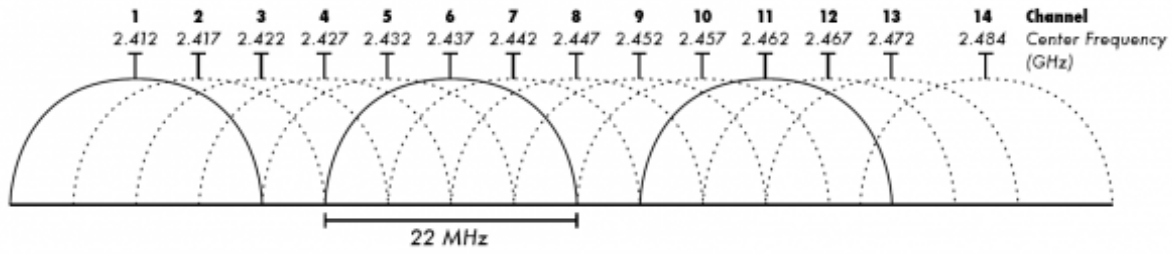
In diesem Kapitel werden verschiedene Methoden beschrieben, um WLANs zu optimieren. Zusätzlich wird aufgezeigt, wie Fehler gesucht und behoben werden können. Dabei wird nur auf den Layer 1 und Layer 2 geachtet.

LAYER 1

KANALPLANUNG

Eine der wichtigsten Optimierungen eines WLANs ist die Auswahl des verwendeten Kanales. Jedes WLAN verwendet für die Übertragung der Daten einen bestimmten Kanal. Da WLAN ein geteiltes Medium darstellt, konkurrieren alle vorhandenen WLANs um das Medium Luft.

Im 2.4 GHz Bereich sind in Europa 13 verschiedene Kanäle vorhanden. Ein Kanal besitzt eine Bandbreite von 22 MHz. Der Abstand zwischen den einzelnen Kanälen ist 5 MHz breit. Dies führt dazu, dass es innerhalb des 2.4 GHz-Bereiches lediglich drei bzw. 4 verschiedene Kanäle gibt, die sich nicht überlappen, nämlich Kanal 1, 7, und 13 bzw. 1, 6, 11 und 1, 5, 9, 13. Bei den ersten zwei Kanalaufteilungen ist zwischen den einzelnen Kanälen ein Mindestabstand von 5 MHz gewährleistet, in der letzten Kanalaufteilung sind die einzelnen Kanäle direkt hintereinander. In der Schweiz empfiehlt das BAKOM die Verwendung der Kanäle 1, 7 und 13. Im nachfolgenden Bild sind die Kanäle und deren Frequenzen dargestellt.



[Quelle: http://wiki.funkfeuer.at]

Im 2.4 GHz Bereich sollten unbedingt Kanäle verwendet werden, welche sich nicht überlappen, auch wenn diese bereits durch andere WLANs verwendet werden. Dies liegt daran, dass überlappende Kanäle den Durchsatz erheblich vermindern.

Bevor Stationen Daten senden, hören sie zuerst ihren verwendeten Kanal ab, um festzustellen, ob bereits andere Stationen Daten senden. Ist das Medium frei, beginnt die Station mit dem Aussenden der Daten. Verwenden Stationen überlappende Kanäle, wird diese Fähigkeit der Station eingeschränkt. Das bedeutet, dass sie andere Übertragungen nicht mehr erkennen kann und es zwangsläufig zu Kollisionen und somit zur ständigen Neuübertragung von Datenframes kommt, was sich negativ auf den Durchsatz auswirkt.

Als Beispiel nehmen wir zwei WLAN. Das WLAN A ist auf Kanal 1 eingestellt und verwendet den Frequenzbereich von 2.401 – 2.423 GHz. Das führt dazu, dass das WLAN A auch den Kanal 2 und 3 mitverwendet. Das WLAN B ist auf Kanal 3 mit dem Frequenzbereich von 2.411 – 2.433 GHz eingestellt und verwendet somit teilweise die Kanäle 2, 4 und 5. Nun starten zwei Stationen beiden WLANs gleichzeitig mit Aussenden von Daten an. Da sich die beiden WLANs in den Kanälen überlappen, vermischen sich die ausgesendeten Signale der Stationen miteinander und es kommt zur Kollision der Signale. Dadurch werden die ausgesendeten Daten verfälscht und können entsprechend nicht von den Stationen interpretiert werden. Die Stationen beginnen somit erneut mit der Übertragung der Daten, was sich natürlich auf den Durchsatz auswirkt. Aus diesem Grund ist es im 2.4 GHz Bereich wichtig, dass man Kanäle verwendet, welche sich nicht überlappen.

Der 5 GHz Bereich ist in drei Unterbänder aufgeteilt. Die ersten beiden Unterbänder sind im Bereich von 5.15-5.25 GHz bzw. von 5.25-5.35 GHz. Jeder dieser Unterbänder besitzt vier Kanäle Jeder Kanal besitzt eine Bandbreite von 20 MHz. Das dritte Unterband besitzt 11 Kanäle im Bereich von 5.47-5.725 GHz. Auch hier hat jeder Kanal eine Breite von 20 MHz. Der 5 GHz Bereich stellt 19 unabhängige Kanäle bereit. Somit können im Vergleich zum 2.4 GHz Bereich mehr Systeme betrieben werden, die sich gegenseitig nicht beeinflussen.

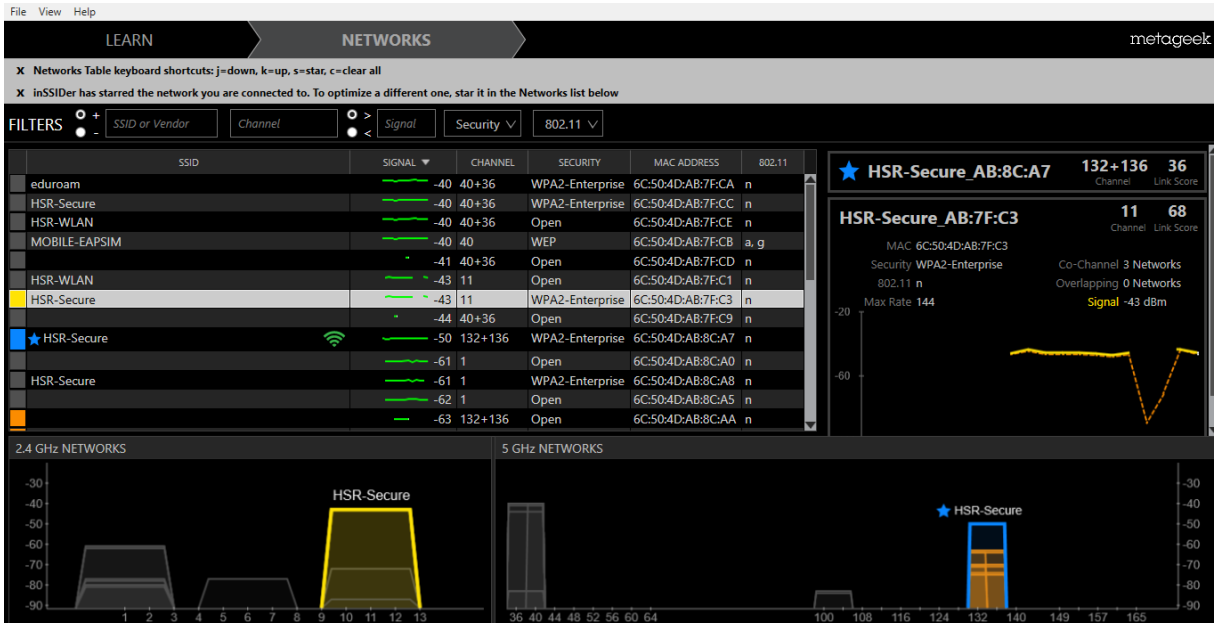
Der Vorteil vom 5 GHz Bereich im Vergleich zum 2.4 GHz Bereich ist, dass im 5 GHz Bereich keine überlappenden Kanäle vorhanden sind.

Ein Nachteil ist allerdings, die Reichweite. Je höher die Frequenz ist, desto geringer ist die Reichweite des WLANs.

In beiden Frequenzbereichen sollte immer ein Kanal verwendet werden, welcher am wenigsten durch andere WLANs benutzt wird. Im 2.4 GHz Bereich sollte man sich an die Regel halten, dass man einen Kanal der Kanäle 1, 7 und 13 auswählt, auch wenn diese evtl. bereits von anderen WLANs benutzt werden. Im 5 GHz Bereich hat man mit 19 Kanälen eine grössere Auswahl und es ist wahrscheinlicher, dass es Kanäle gibt, welche kaum von umgebenden WLANs benutzt werden.

Die beste Lösung jedoch ist, wenn man eine Kanalanalyse durchführt. Für eine solche Analyse kann ein WLAN-Scanner verwendet werden. Mit dem WLAN-Scanner werden alle vorhandenen WLANs aufgelistet. Zu jedem WLAN wird je nach Software der verwendete Kanal, die SSID, die Signalstärke, die Sicherheit etc. angezeigt. Danach sucht man nach einem Kanal, welcher am wenigsten von anderen WLANs verwendet wird. Dieser Kanal kann dann auf dem Access-Point statisch eingestellt werden.

Für Windows ist „inSSIDer“ ein sehr gutes WLAN-Scanner Tool, welches für den privaten Einsatz kostenfrei angeboten wird. Das unten aufgeführte Bild zeigt den Einsatz von „inSSIDer“ in der Hochschule Rapperswil.



Links im unteren Bereich sind die verwendeten Kanäle des 2.4 GHz Bereichs und rechts die des 5 GHz Bereichs dargestellt.

Im 2.4 GHz Bereich sind die Kanäle 1, 6 und 11 belegt. Auf dem Kanal 1 sind drei WLANs, auf dem Kanal 6 ist ein WLAN und auf dem Kanal 11 sind drei WLANs. Hätte man Probleme mit dem WLAN bzw. würde man ein weiteres WLAN installieren wollen, wäre der Kanal 6 optimal, da dieser nur von einem WLAN bereits verwendet wird.

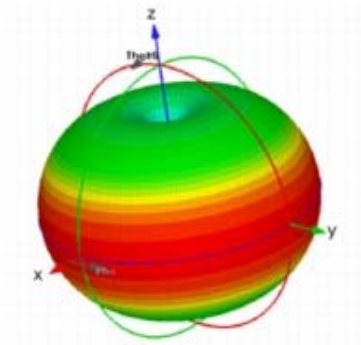
Im 5 GHz Bereich sind die Kanäle 36 + 40, 100 + 104 als auch 132 + 136 belegt. Dabei ist bei diesen Kanälen eine Kanalbündelung aktiv. Im 5 GHz Bereich sind noch einige Kanäle frei und sollten deshalb aktiv verwendet werden.

Auch für andere Betriebssysteme wie Linux oder MAC gibt es WLAN-Scanner. In Linux kann beispielsweise das Programm „inSSIDer“ und auf MAC das Programm „AirRadar“ verwendet werden.

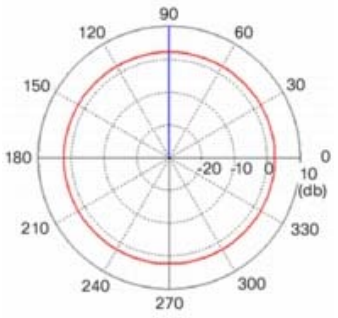
ANTENNEN

Eine weitere Optimierung von WLANs kann mit der Aufstellung des Access-Points erzielt werden. Praktisch alle Access-Points, welche auf dem Markt erhältlich sind, werden mit omnidirektionalen Antennen ausgeliefert.

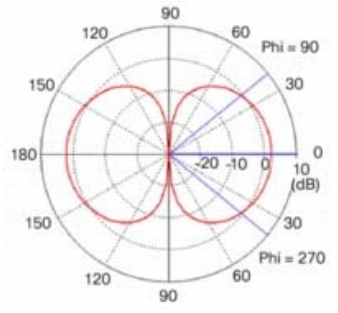
Omnidirektionale Antennen sind Rundstrahler und senden somit kreisförmig.



Im nebenstehenden Bild ist ein Antennenpattern einer omnidirektionalen Antenne abgebildet. Die Antenne ist dabei vertikal in der Z-Achse ausgerichtet. Das Strahlungs-Pattern sieht einem Donut ähnlich. Das ausgesendete Signal ist in der X- und Y-Achse am stärksten (rot) und nimmt in Richtung der Z-Achse ab (grün).



Um das Strahlungs-Pattern detaillierter zu beschreiben, wird es noch einmal in zwei weitere Patterns unterteilt. Diese Patterns werden Azimuth und Elevation Pattern genannt. Das Azimuth Pattern entsteht dadurch, dass man das oben dargestellte Pattern auf der X- und Y-Achse horizontal durchschneidet. Dies sieht dann wie im rechts dargestellten Bild aus. Das Signal wird kreisförmig in alle Richtungen ausgestrahlt.



Beim Elevation-Pattern wird das Strahlungs-Pattern vertikal in Richtung der Z-Achse, daher in der Mitte der Antenne, durchgeschnitten. Ist eine Antenne nun vertikal ausgerichtet, so ist die Strahlung in horizontaler Richtung am besten, während die Strahlung ober- und unterhalb der Antenne am schlechtesten ist.

[Quelle: http://cisco.com]

Durch das Wissen dieser Patterns können die Antennen der Access-Points optimal für die jeweilige Umgebung ausgerichtet werden.

Möchte man beispielsweise ein einzelnes Stockwerk mit WLAN versorgen, so ist es am besten den Access-Point an einer möglichst zentralen Position des Stockwerkes zu installieren.

Es hat sich gezeigt, dass die Installation der Access-Points an der Decke optimal ist. Dadurch werden die Signale weniger behindert, da keine Möbel, oder andere Einrichtungen im Weg stehen. Die Antennen des Access-Points müssen dann aufgrund der Patterns senkrecht zum Access-Point ausgerichtet werden. So ist das Signal hauptsächlich entlang des Stockwerkes am besten.

Hingegen ist das Signal über mehrere Stockwerke nicht optimal. Ist die Anforderung so, dass das Signal über mehrere Stockwerke reichen soll, müssen die Antennen waagrecht zum Access-Point ausgerichtet werden. So ist gewährleistet, dass das Signal sich in der Höhe ausbreitet. Ein Nachteil dort ist allerdings, dass die Breite geringer wird.

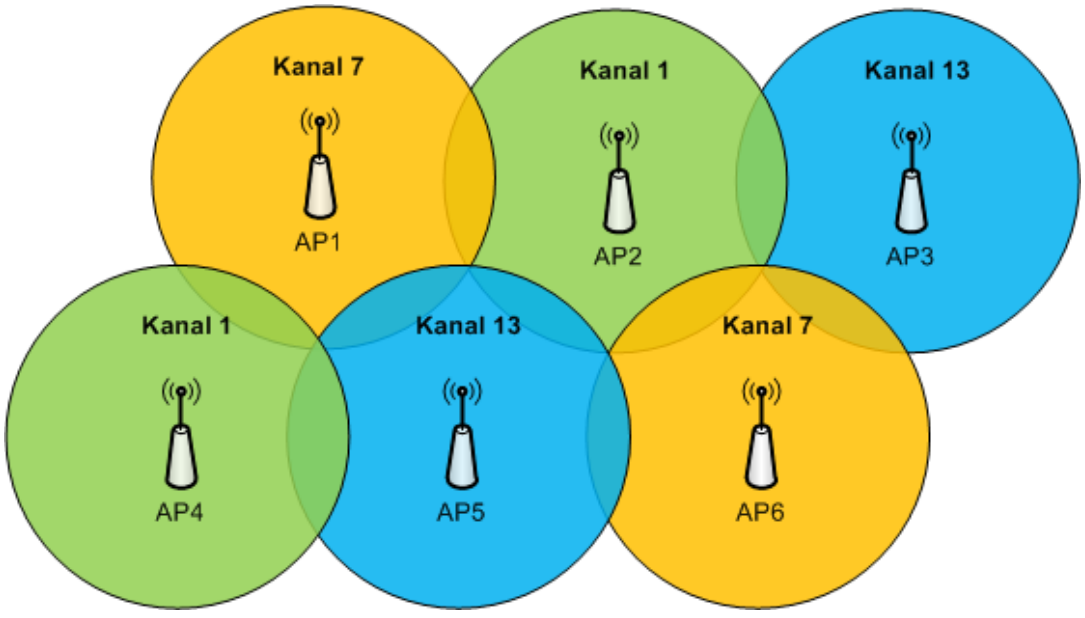
Die Ausrichtung der Antennen kann nur mit Access-Points eingestellt werden, welche über externe Antennen verfügen. Bei Access-Points mit internen Antennen sind diese fest montiert und können daher nicht dynamisch ausgerichtet werden. Bei diesen Access-Points muss jeweils herausgefunden werden, wie die Antennen intern ausgerichtet sind. Dies kann entweder in den Handbüchern, im Internet oder aber durch Öffnen des entsprechenden Access-Points herausgefunden werden.

Eine weitere Möglichkeit zum Herausfinden der Antennenausrichtung ist wiederum das Programm „inSSIDer“. Dieses Programm zeigt jeweils die Signalstärke des WLANs an. Mit der Signalstärke kann das Strahlungs-Pattern ermittelt werden. Dies ist allerdings aufwendig und schwierig. Hat man durch eine der oben genannten Methoden die Ausrichtung der Antennen im Access-Point ermittelt, muss der Access-Point mit den internen Antennen korrekt montiert werden. Dafür gelten wiederum dieselben Regeln wie beim Access-Point mit externen Antennen.

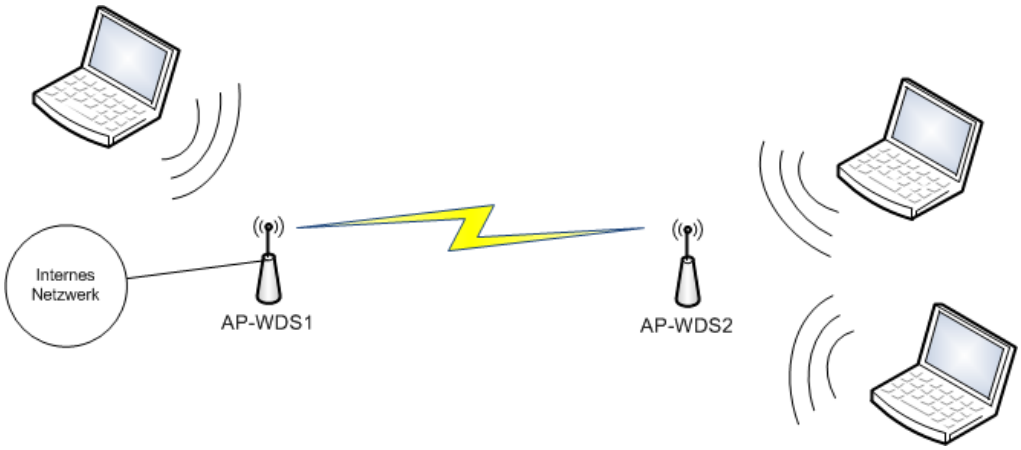
REICHWEITE

Die Reichweite von WLAN Signalen ist eingeschränkt. Die Signalstärke nimmt mit zunehmender Distanz quadratisch ab. Je höher die Frequenz ist, desto geringer ist die maximale Distanz. Somit ist die Reichweite der Signale von Access-Points, welche den 5 GHz Bereich verwenden, geringer als bei solchen, die den 2.4 GHz Bereich benutzen.

Um die Reichweite von WLANs zu erhöhen, gibt es verschieden Ansätze. Der erste Ansatz besteht darin, den Access-Point mit besseren Antennen auszustatten (Antennengewinn). Hier ist man allerdings wieder darauf angewiesen, dass der Access-Point externe Antennen installiert hat. Der zweite Ansatz ist die Benutzung von mehreren Access-Points, welche räumlich voneinander getrennt sind. Dabei ist jeder einzelne Access-Point über ein LAN-Kabel mit dem internen Netzwerk verbunden. Es muss hier gewährleistet sein, dass sich die Signale der einzelnen Access-Points überlappen, damit eine vollständige Abdeckung gewährleistet werden kann. Es muss allerdings wieder eine Kanalplanung durchgeführt werden. Alle Access-Points, welche sich mit Ihren Signalen überlappen, müssen einen anderen Kanal verwenden. Der Kanalabstand zwischen den einzelnen Access-Points und der Wiederverwendung des entsprechenden Kanals muss möglichst weit voneinander entfernt sein. Unten abgebildet ist eine mögliche Kanalplanung mit den Kanälen 1, 7 und 13.



Eine weitere Möglichkeit, die Reichweite eines WLANs zu erhöhen, ist die Benutzung eines WDS – Wireless Distribution Systems. Dieses System erlaubt die Verbindung von mehreren Access-Points über Funk. Im Gegensatz zur vorher beschriebenen Möglichkeit müssen mit WDS nicht alle Access-Points über ein LAN-Kabel mit dem internen LAN verbunden sein. Somit bildet das WDS ein WLAN Netzwerk über mehrere Access-Points.



Der AP-WDS1 ist über ein LAN Kabel mit dem internen Netzwerk verbunden. Die Access-Points sind über ein WDS miteinander verbunden. Die Clients können über beide Access-Points dem WLAN beitreten. Der Vorteil hier ist, dass der AP-WDS2 nicht über ein LAN Kabel angeschlossen werden muss. Die beiden Access-Points kommunizieren über Luft miteinander. Ein Nachteil dieses Setups ist, dass der Verkehr der Clients, welche mit dem AP-WDS2 verbunden sind, jeweils zwei Mal über die Luft übertragen werden müssen.

Nehmen wir dafür an, dass ein Client einen Ping (ICMP Echo-Request) ins Internet sendet. Dabei wird der Ping an den AP-WDS2 gesendet. Dieser muss nun das Paket wieder über Luft an den AP-WDS1 senden, welcher dann das Paket ins interne Netzwerk weiterleitet und von dort aus gelangt es ins Internet. Die Antwort auf den Ping (ICMP Echo-Reply) wird beim AP-WDS1 empfangen und an AP-WDS2 weitergeleitet und dieser leitet das Paket dann schlussendlich wieder an den Client. Somit sind für die Übertragung eines einzelnen Paketes vier Übertragungen über die Luft notwendig. Ohne WDS wären nur zwei Übertragungen über die Luft von Nöten gewesen. Dadurch kann es bei WDS vorkommen, dass der Durchsatz halbiert wird.

LAYER 2

G-STANDARD

Ist man im Besitz von Access-Points, welche den G-Standard und E-Standard, aber nicht den N-Standard implementiert haben, so sollte der E-Standard aktiviert werden. Optimal wäre hier noch die Möglichkeit, die EDCA-Parameter entsprechend zu aktivieren. Bei den Messungen hat sich deutlich gezeigt, dass damit der Durchsatz eines WLANs gesteigert werden kann. Sendet man nur Daten über das WLAN, so kann man die EDCA-Parameter der Voice oder Video Klasse in die Best Effort Klasse übernehmen.

N-STANDARD

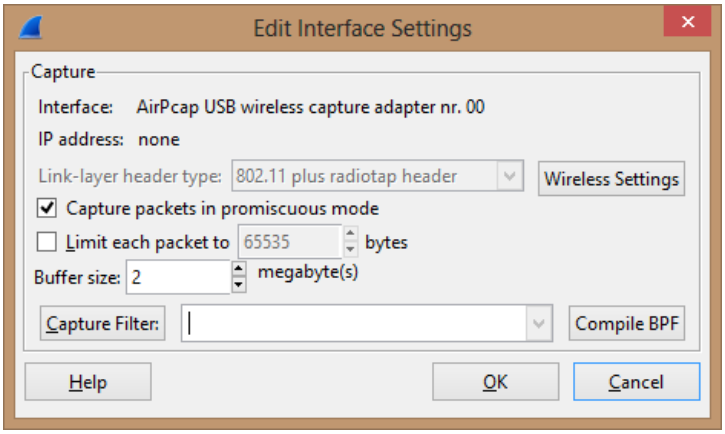
Im N-Standard sollte überprüft werden, ob die neuen Technologien wie RIFS oder Frame-Aggregation auf dem Access-Point aktiviert sind. Dies kann bei einigen Access-Points manuell eingestellt werden. Leider gibt es auch hier Access-Points, bei denen dies nicht eingestellt werden kann.

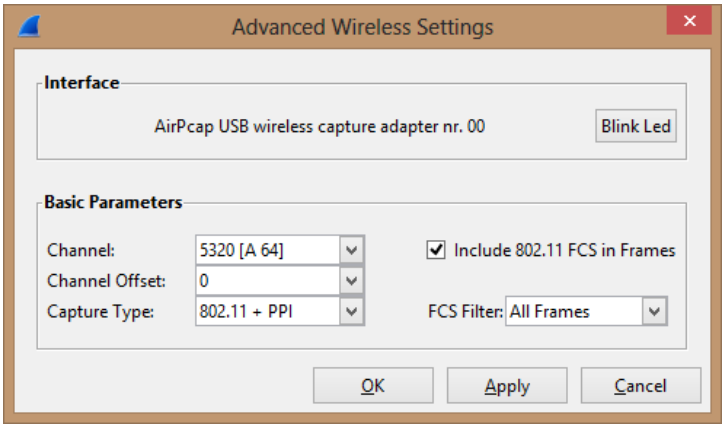
WLAN ANALYSE

Ein WLAN kann unter Verwendung des Programmes Wireshark und einem entsprechenden Hardware Adapter analysiert werden. Für diesen Abschnitt wurde der AirPcap Nx der Firma riverbed verwendet. Diese ist ein USB-Adapter, welcher mit dem Wireshark-Programm die über die Luft übertragenen Daten aufzeichnet. Dieser Adapter ist mit den Standards 802.11a/b/g/n kompatibel und arbeitet sowohl im 2.4 GHz als auch im 5 GHz Bereich.

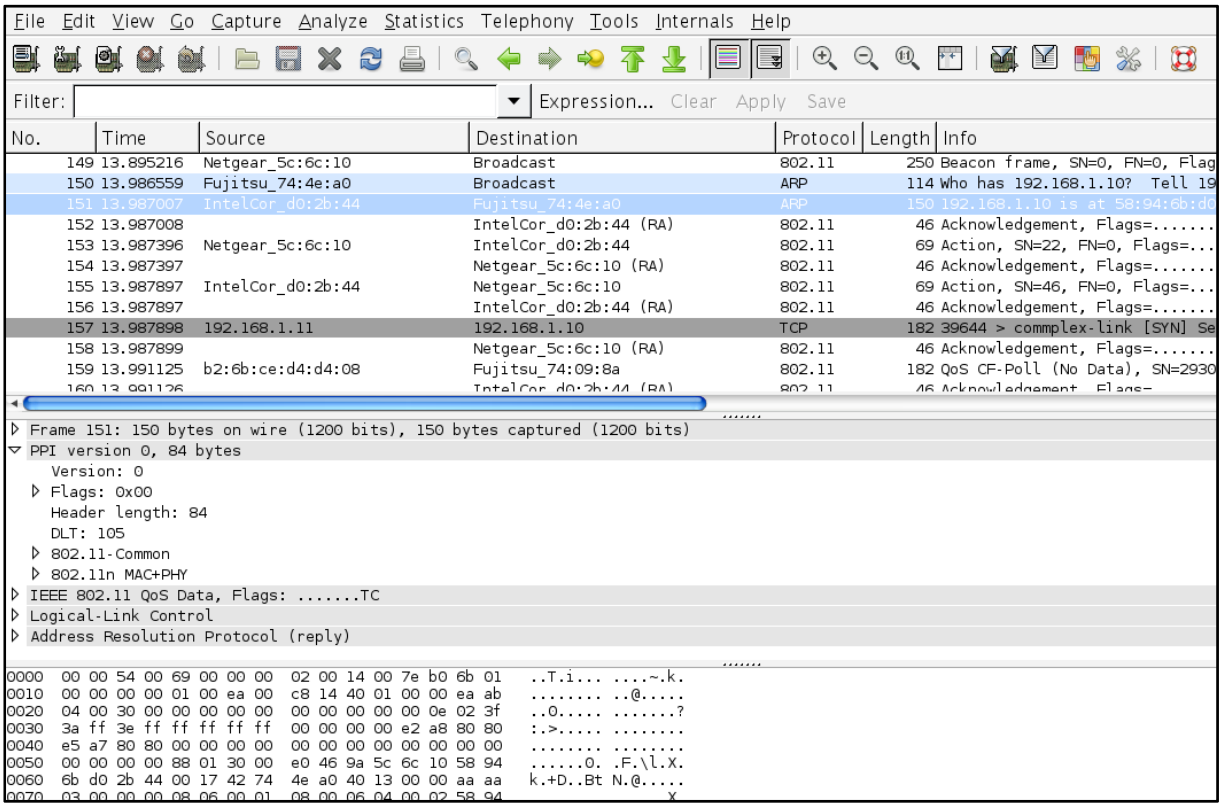
Damit die Daten des entsprechenden WLANs mit Wireshark und AirPcap NX aufgezeichnet werden können, muss in Wireshark der Kanal des WLANs eingestellt werden. Dazu wählt man in Wireshark den AirPcap Adapter aus und klickt auf „Wireless Settings“.

Unten abgebildet wurde der Kanal 64 im 5 GHz Bereich ausgewählt. Verwendet man den N-Standard, werden durch die Auswahl des Capture Type „802.11 + PPI“ zusätzliche Informationen wie beispielsweise die Verwendung von Frame Aggregation in Wireshark angezeigt. Wurde der Kanal und der Capture Type angegeben, kann durch Klicken auf den Button „Ok“ der Kanal fixiert werden. Danach kann durch Anklicken des „Start“ Buttons mit der Aufzeichnung der Daten begonnen werden.

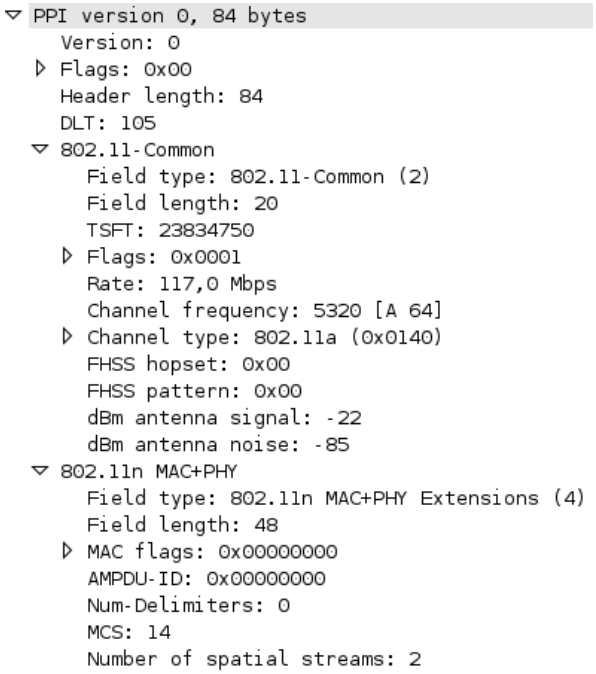




Ein Beispiel einer solchen Aufzeichnung ist im unteren Bild dargestellt. Es werden alle Frames, welche über die Luft übertragen werden, dargestellt. In der oberen Hälfte des Fensters werden alle Frames dargestellt. Durch Anklicken eines Frames werden in der unteren Hälfte des Fensters verschiedene Informationen zum ausgewählten Frame angezeigt. Zu diesen Informationen gehören unter anderem die WLAN-Header Informationen, der Frametyp, als auch Layer 3 und Layer 4 Informationen wie IP-Adressen und verwendete Ports.



Durch die Aktivierung des PPI Capture Type werden zusätzliche Informationen zum ausgewählten Frame aufgezeichnet. Folgende Informationen sind dabei enthalten:



Rate Gibt die Rate an, mit der das Frame übertragen wurde. In diesem Beispiel wurde das Frame mit einer Datenrate von 117 Mbps übertragen.

Channel Frequency Zeigt die Frequenz und den Kanal an, über der das Frame übertragen wurde.

dBm antenna Signal Gibt die Signalstärke an.

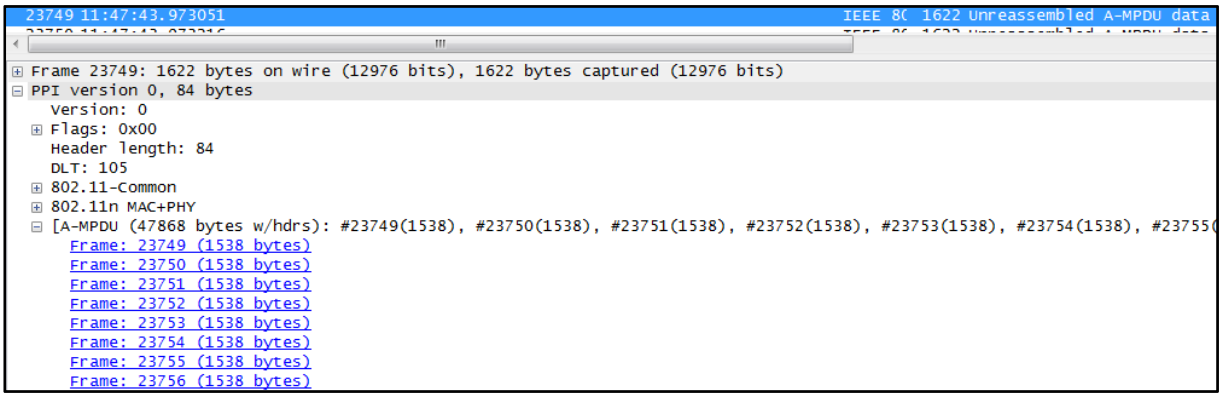
dBm antenna noise Gibt die Rauschstärke an.

AMPDU-ID Zeigt Informationen zur Frame-Aggregation an.

MCS	MCS steht für Modulation and Coding Schemes und bezeichnet verschiedene Kombinationen der genutzten Modulation, Codierung, Anzahl Spatial Streams, Kanalbreite und Guard Interval. Diese Kombinationsmöglichkeiten werden im N-Standard über diese MCS Indexe beschrieben. Eine Liste der Indexe und der verwendeten Modulationen und Codierungen ist auf Wikipedia unter http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n-2009 einsehbar.
Number of spatial streams	Gibt die Anzahl verwendeter Spatial Streams an, mit der das Frame übertragen wurde.

FRAME-AGGREGATION

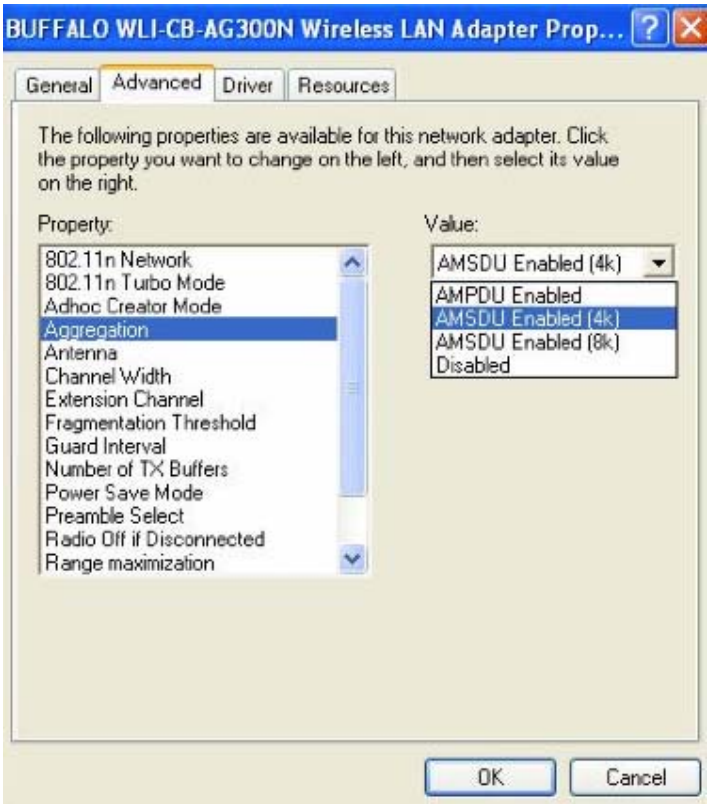
Ob in einem WLAN die Aggregation von Frames unterstützt wird, kann durch das Aufzeichnen der Daten überprüft werden. Wichtig ist, dass der PPI Capture Type aktiviert ist. Ansonsten werden dazu keine Informationen angegeben. In der unteren Abbildung ist ein Beispiel einer Frame-Aggregation aufgezeigt.



Die Verwendung der Frame-Aggregation wird in Wireshark als „Unreassembled A-MPDU data“ angezeigt. Durch Anklicken eines solchen Frames werden alle A-MPDUs und deren Länge angezeigt. Im oben angezeigten Beispiel wurden mehrere Frames mit jeweils einer Länge von 1538 Bytes aggregiert. Die gesamte Länge des aggregierten Frames ist 47’868 Bytes.

Falls durch das Aufzeichnen der Frames keine Frame-Aggregation ersichtlich ist, sollte in der Konfiguration des Access-Points überprüft werden, ob die Frame-Aggregation eingestellt werden kann. Falls diese eingestellt werden kann, sollte dies aktiviert werden.

Zusätzlich sollte auch auf den Clients überprüft werden, ob die Frame-Aggregation unterstützt wird. Bei manchen Netzwerk-Adaptern muss dies manuell eingestellt werden. Dazu wählt man in den Adapter-Einstellungen unter Aggregation „AMPDU Enabled“ aus.



ABWÄRTSKOMPATIBILITÄT

Die Abwärtskompatibilität muss bei jeder Neuentwicklung eines Standards berücksichtigt werden. Dies aus dem Grund, da Mischbetriebe von unterschiedlichen Standards wie a/b/g/n vorhanden sein können. Der N-Standard sieht drei Betriebsmodi vor, um die Abwärtskompatibilität zu gewährleisten. Diese sind Legacy Mode, Mixed Mode und Green Field.

Beim Legacy Mode werden alle Frames gemäss a/g Verfahren übertragen. In diesem Fall erhält man keine Steigerung des Durchsatzes.

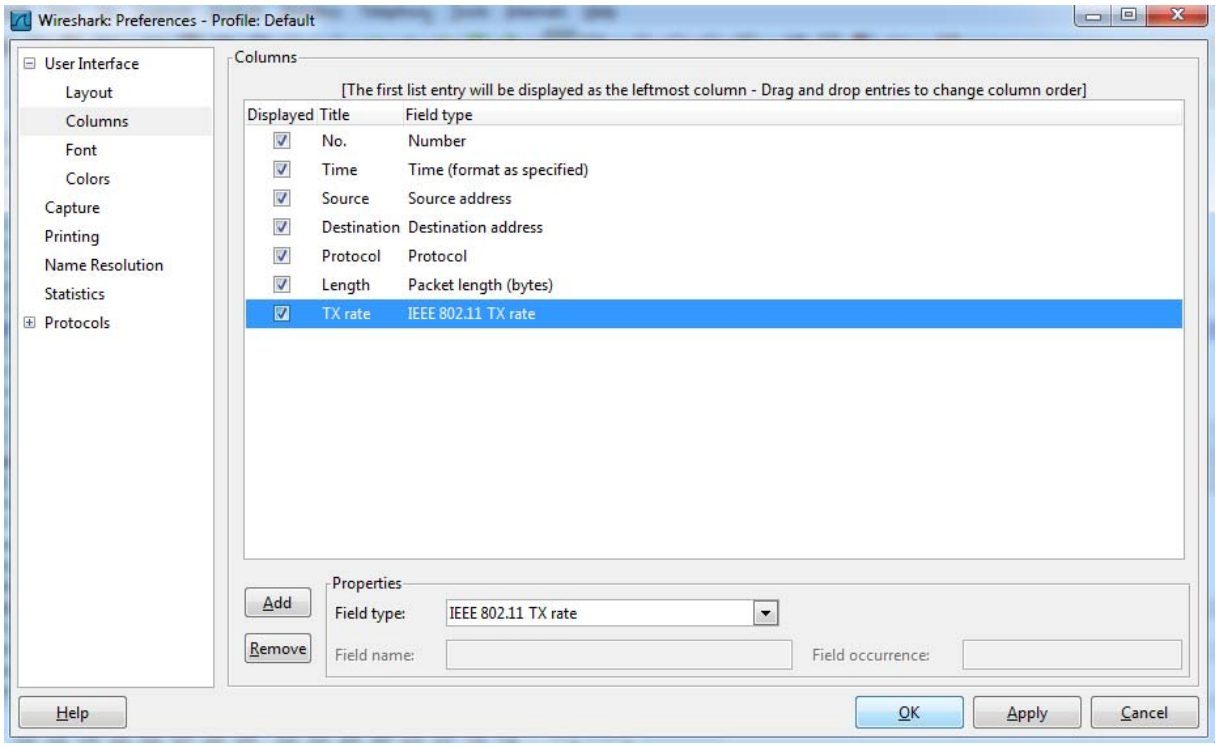
Beim Mixed Mode wird die Präambel und das CTS-to-Self nach a/g Verfahren übertragen. Dies gewährleistet, dass vorhandene Stationen, welche den N-Standard nicht unterstützen, diese auswerten können und wissen, dass das Medium für die Dauer des NAV besetzt ist. Wäre dieser Mechanismus nicht implementiert würden a/g Stationen nicht erkennen, das Daten übertragen werden. Dies führt dann dazu das a/g Stationen der Meinung sind, dass das Medium frei ist und mit der Übertragung von Daten beginnen, was dann zu Kollisionen führt. Die eigentlichen Nutzdaten bei Stationen mit N-Standard werden dann nach N-Standard übertragen.

Green Field ist ein optionaler Betriebsmodus bei dem alle Daten über den N-Standard übertragen werden. Hier muss gewährleistet sein, dass alle Stationen als auch der Access-Point den N-Standard implementiert haben.

Durch die Abwärtskompatibilität wird der Durchsatz von WLANs ausgebremst. Optimal ist es den Green Field Modus zu verwenden. Dieser ist allerdings optional und kann nicht immer konfiguriert werden.

Ob Stationen mit unterschiedlichen Standards in einem WLAN vorhanden sind, kann wiederum durch den Einsatz von AirPcap und Wireshark herausgefunden werden. Dazu müsste man bei jedem Frame die Rate suchen, mit der die Daten übertragen wurden.

Dies kann allerdings auch durch hinzufügen einer weiteren Spalte erzielt werden. Dazu klickt man in der Menüleiste auf „Edit“ und dann wählt man „Preferences“ aus. Unter „User Interface“, „Columns“ wählt man unter Field type „IEEE 802.11 TX rate“ aus und fügt diese Spalte durch „Add“ hinzu.

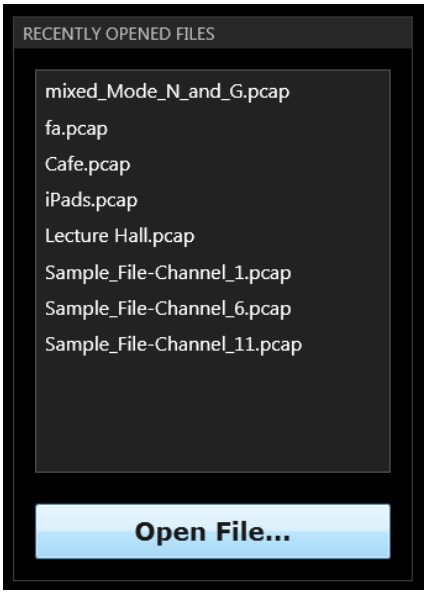


Danach wird zu jedem Frame auch die entsprechende Übertragungsrate dargestellt. In der folgenden Abbildung wird die hinzugefügte Spalte angezeigt. Es ist ersichtlich, dass eine Station den N-Standard benutzt und eine andere den G-Standard, da diese nur mit einer Übertragungsrate von maximal 54 Mbps sendet.

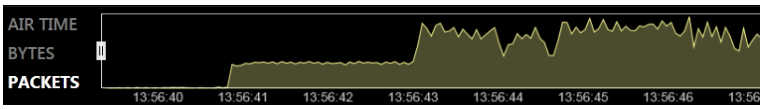
No.	Time	TX rate	Source	Destination	Protocol	Length
97960	13:56:51.120358	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97961	13:56:51.120359	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97962	13:56:51.120359	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97963	13:56:51.120360	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97964	13:56:51.120599	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97965	13:56:51.120600	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97966	13:56:51.120601	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97967	13:56:51.120602	130.0 Mbps	192.168.1.11	192.168.1.13	TCP	
97968	13:56:51.120603	24.0 Mbps	Apple_3b:a0:a0 (TA)	Netgear_5c:6c:00 (RA)	802.11	
97969	13:56:51.120610	48.0 Mbps	192.168.1.10	192.168.1.11	UDP	
97970	13:56:51.120878	24.0 Mbps		IntelCor_d0:2b:44 (RA)	802.11	
97971	13:56:51.120885	54.0 Mbps	192.168.1.10	192.168.1.11	UDP	
97972	13:56:51.120916	24.0 Mbps		IntelCor_d0:2b:44 (RA)	802.11	
97973	13:56:51.120923	54.0 Mbps	192.168.1.10	192.168.1.11	UDP	
97974	13:56:51.120924	24.0 Mbps		IntelCor_d0:2b:44 (RA)	802.11	
97975	13:56:51.121377	54.0 Mbps	192.168.1.10	192.168.1.11	UDP	
97976	13:56:51.121379	24.0 Mbps		IntelCor_d0:2b:44 (RA)	802.11	
97982	13:56:51.121526	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97983	13:56:51.121527	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97984	13:56:51.121628	130.0 Mbps			IEEE 8(	
97985	13:56:51.121629	130.0 Mbps	192.168.1.11	192.168.1.13	TCP	
97986	13:56:51.121631	24.0 Mbps	Apple_3b:a0:a0 (TA)	Netgear_5c:6c:00 (RA)	802.11	
97990	13:56:51.121858	130.0 Mbps			IEEE 8(	

EYE P.A.

Eye P.A. ist ein weiteres Programm zur Analyse der Daten von WLANs. Dieses Programm kann für 15 Tage kostenlos getestet werden. Danach ist der Kauf einer Lizenz notwendig, damit es weiterhin benutzt werden kann. Mit Eye P.A. können Aufzeichnungen, welche mit Wireshark und AirPcap durchgeführt werden, visualisiert werden. Dazu kann das entsprechende Wireshark PCAP-File ausgewählt und geöffnet werden.



Eye P.A. analysiert danach das PCAP-File und stellt alle erhaltenen Informationen grafisch dar. Als erstes ist ein zeitlicher Ablauf dargestellt. Der zeitliche Verlauf kann in Air Time, Bytes oder Packets angezeigt werden.

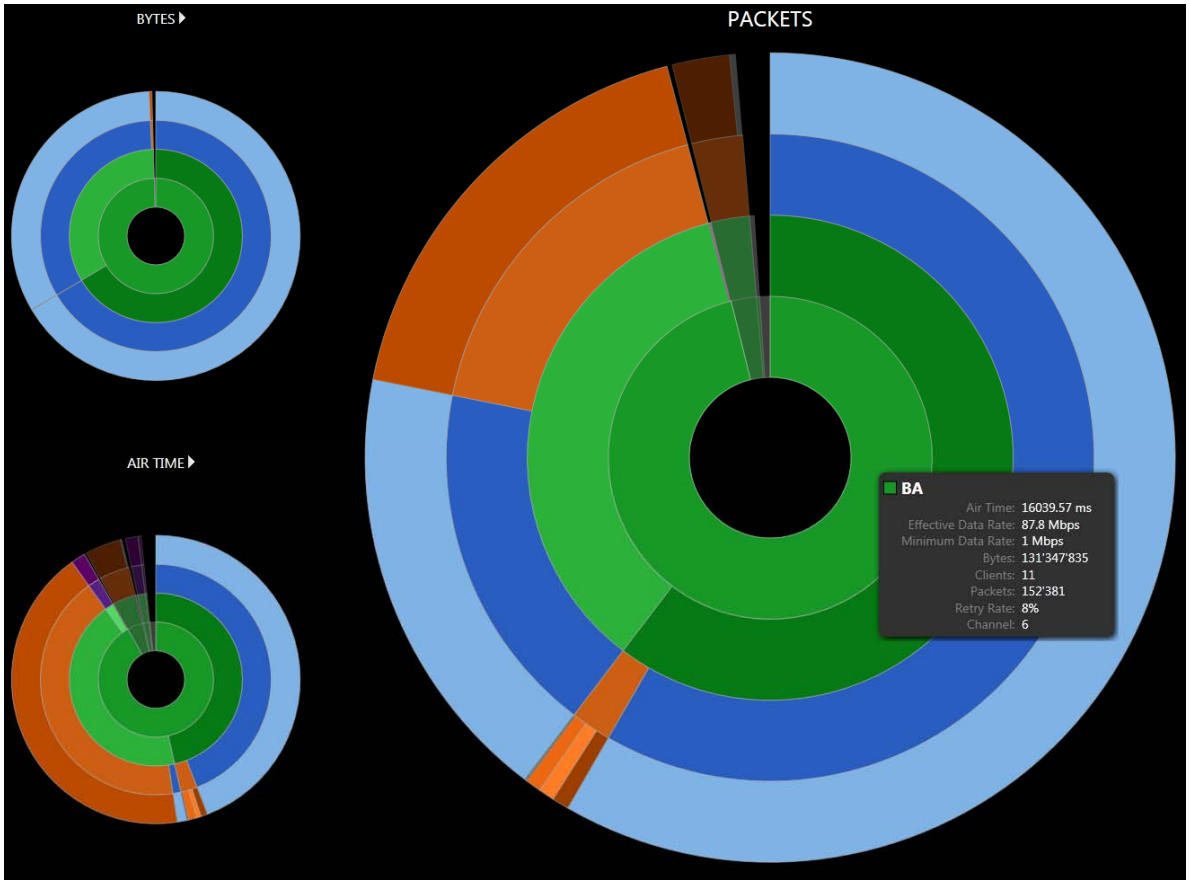


Unter Associated Data werden alle vorhandenen SSIDs angezeigt. Zu jeder SSID wird die Air Time, die Anzahl übertragener Bytes, die Anzahl vorhandener Clients und weitere Informationen angezeigt.

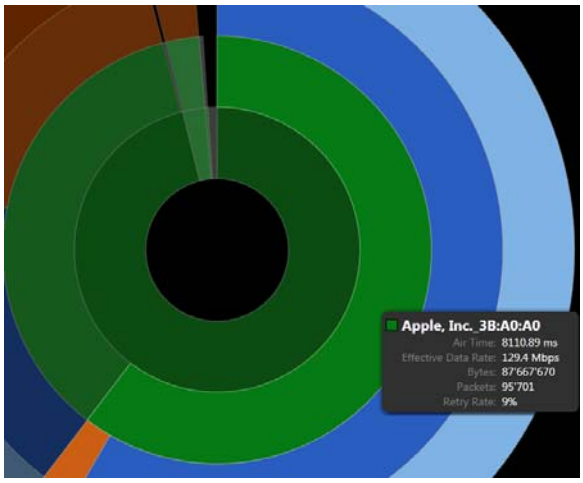
ASSOCIATED DATA

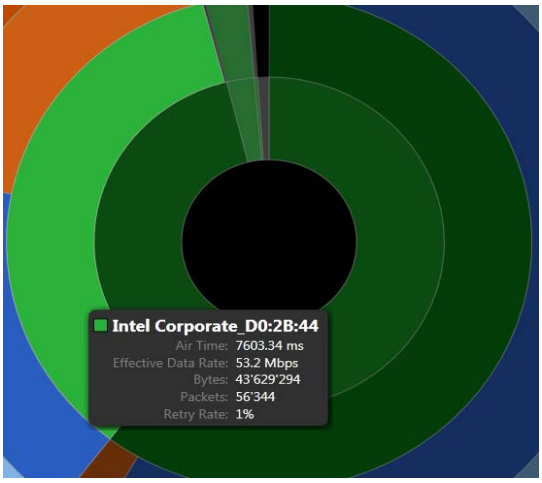
SSID	Air Time	Bytes	Clients	Effective D	Retry Rate
BA	16,024.01	131'346'645	11	87.8	8
Apple, Inc._3B:A0:A0	738.34	122'756	1	--	0
HSR-Secure	63.85	63'962	5	10	17
eduroam	37.13	54'059	2	--	100
HSR-Secure	37.59	45'694	2	--	100
HSR-WLAN	37.95	44'895	2	--	100
eduroam	28.50	42'167	1	--	0
samichlaus	233.98	38'994	3	--	50
HSR-WLAN	24.26	38'442	1	--	0
MOBILE-EAPSIM	50.36	32'587	2	--	100
MOBILE-EAPSIM	46.47	26'134	1	--	0

Zusätzlich werden alle vorhandenen Daten im PCAP-File als Ringe dargestellt. Diese werden wiederum als Anzahl Pakete, Anzahl Bytes und Air Time angezeigt. Die Informationen sind jeweils von innen nach aussen ringförmig dargestellt. Der innerste Ring stellt dabei die SSID dar (BA). Es werden dann verschiedene Informationen wie effektive Datenrate, minimale Datenrate, Anzahl gesendeter Bytes, Kanal, Wiederholungsrate, etc. zu dieser SSID aufgelistet.



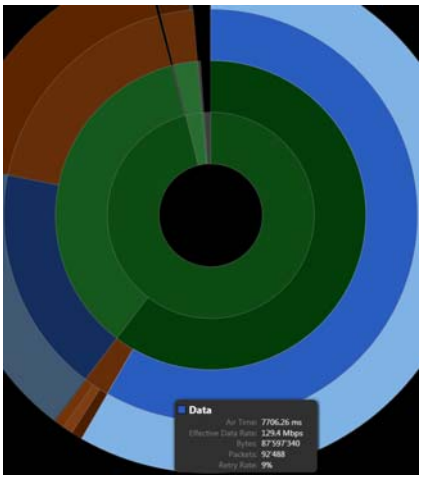
Der nächste Ring veranschaulicht die Clients, welche mit der entsprechenden SSID assoziiert sind. In diesem Beispiel sind hauptsächlich zwei Clients aktiv. Zum einen ein Apple Notebook und ein Notebook mit einem Intel WLAN-Adapter.

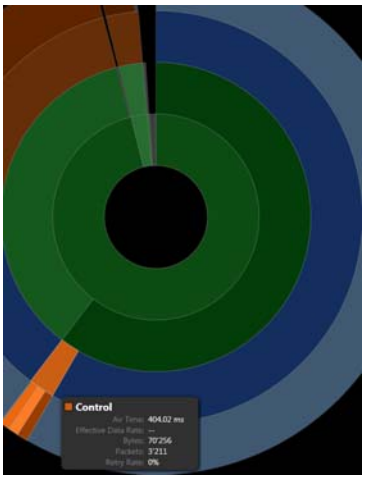




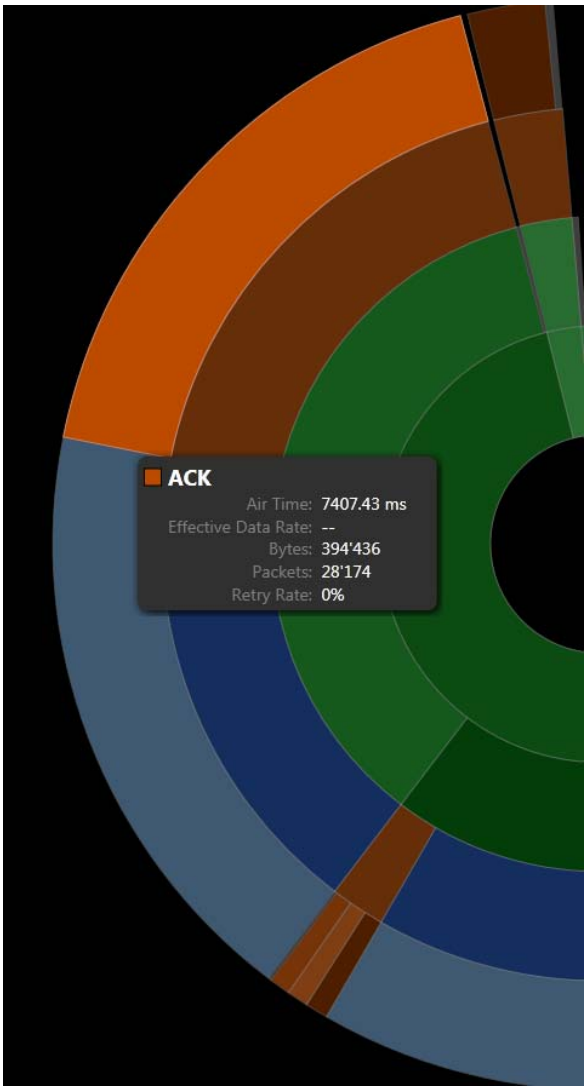
Für jeden Client wird wiederum die Air Time, Datenrate, Anzahl übertragener Bytes und Pakete dargestellt. Auch die Wiederholungsrate von Paketen wird angezeigt. Beim Apple Notebook ist ersichtlich, dass der N-Standard verwendet wird, da dieser eine Datenrate von ungefähr 130 Mbps verwendet. Das Notebook mit dem Intel WLAN-Adapter hat eine Datenrate von ca. 54 Mbps und verwendet somit den G-Standard.

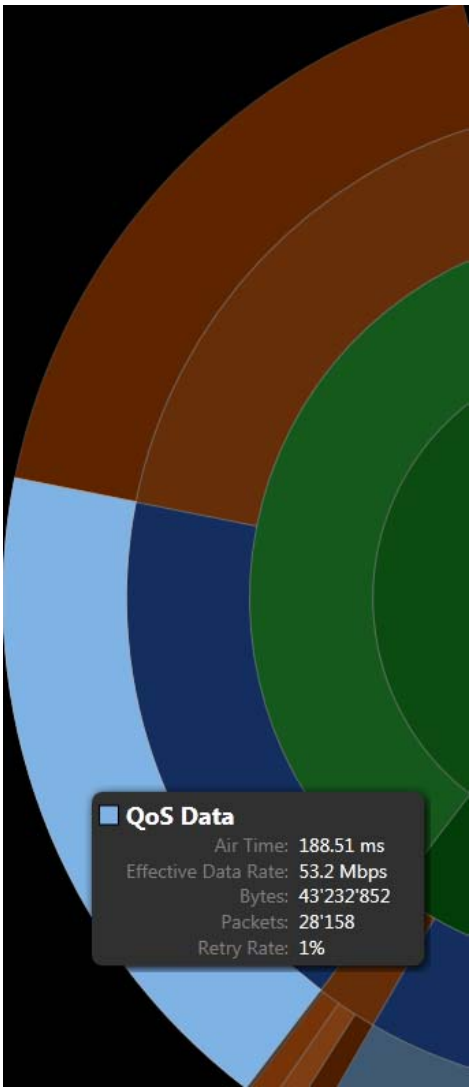
Zu jedem vorhandenen Notebook werden im nächsten Ring die Frametypen farblich dargestellt. Blau entspricht dabei den Nutzdaten und orange den Kontrolldaten.



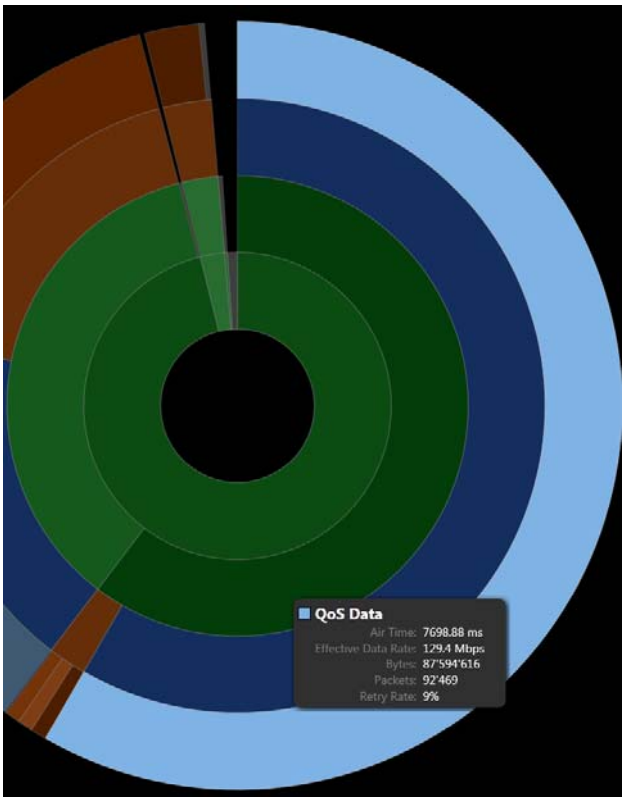


Im äussersten Ring werden die Kontrolldaten für jeden vorhandenen Client ein weiteres Mal unterteilt. Beim Notebook mit dem Intel WLAN-Adapter, welcher den G-Standard verwendet, sind die Kontrolldaten die Acknowledgement-Frames (ACK). Es ist ersichtlich, dass die Anzahl an Paketen von Nutzdaten (QoS Data) und Acknowledgement-Frames gleich gross ist. Auch das lässt wiederum auf den G-Standard schliessen, da jedes einzelne Datenframe (hellblau) vom Empfänger mit einem Acknowledgement-Frame bestätigt werden muss.

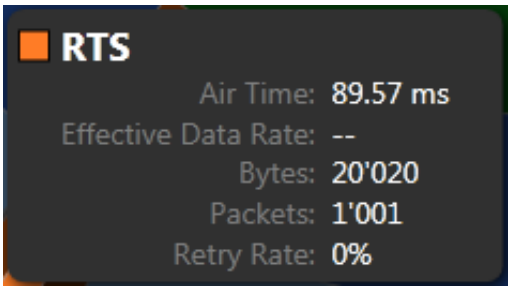


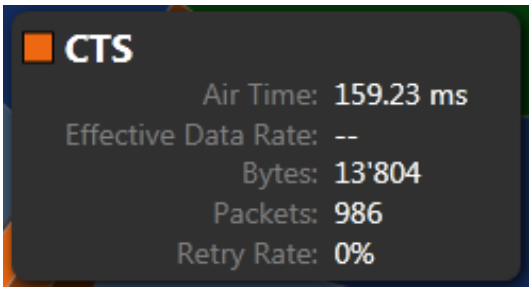


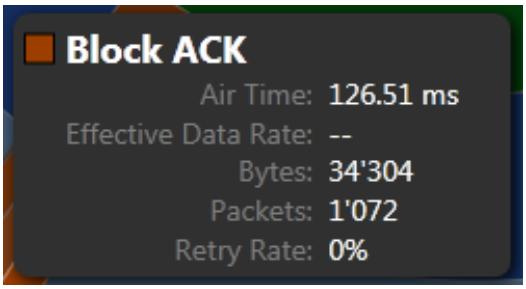
Beim Notebook welches den N-Standard verwendet, ist der Anteil an Kontrolldaten im Vergleich zu den Nutzdaten sehr gering.



Die Kontrolldaten bestehen aus RTS-/CTS- und aus Block-Acknowledgement-Frames.







Die Verwendung von RTS-/CTS- und Block-Acknowledgement Frames lässt darauf schliessen, dass dieser Client die Daten mittels Frame-Aggregation übertragen hat. Nur mit dieser Technologie ist es zwingend notwendig, dass zuerst ein RTS- und CTS-Frame übertragen wird. Danach werden die Nutzdaten aggregiert übertragen und mittels Block-Acknowledgement bestätigt.

Durch die Visualisierung des PCAP-Files können bereits einige Informationen über ein WLAN und deren assoziierten Clients schnell und einfach herausgelesen werden. So ist deutlich erkennbar, welcher Client welchen Standard verwendet, welche Datenrate dieser verwendet und ob viele Pakete / Frames wiederholt übertragen werden müssen.

Das Programm Eye P.A. kann unter folgendem Link für eine Testdauer von 15 Tagen heruntergeladen werden:

http://www.metageek.net/products/eye-pa/gimmeeyepa/

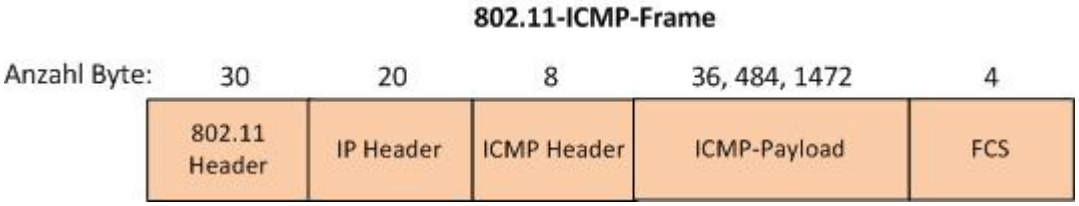
PROBLEME WÄHREND DER ARBEIT

IPERF

Bei IPerf hatten wir das Problem, dass die Latenz-Werte auf dem Server nicht ausgegeben wurden. Somit musste die Latenz mittels ICMP-Protokoll herausgefunden werden. Dazu wurde folgendes Skript geschrieben:

```
#!/bin/bash
for i in 36, 484, 1472
do
ping -c 10 –s $i 192.168.1.11
done
```

Die Variable i identifiziert die Datenlänge des ICMP-Payloads. Ergänzt man diese Datenlänge noch mit einem 8 Byte ICMP-Header, 20 Byte IP-Header und 34 Byte WLAN-Header, erhält man die Framelängen von 98, 546 und 1534 Byte. Folgendes Bild veranschaulicht den Frame-Aufbau:



Für jede Framelänge werden innerhalb der do-Schleife 10 ICMP-Requests an den Server unter der IP-Adresse 192.168.1.11 gesendet. Dies ermöglicht die Auswertung der Latenz.

Das Hauptproblem des Skripts ist, dass beim Start der ARP-Cache vom Client leer ist. Dies führt dazu, dass beim ersten ICMP-Request ein ARP-Request ausgesendet und vom Server beantwortet werden muss, welches entsprechend zu einer erhöhten Verzögerung beim ersten ICMP-Request führt. Daher wurde bei der Berechnung der Latenz der erste Latenz-Wert nicht in den Mittelwert mit einbezogen.

LAN TORNADO

LAN Tornado ist eine weitere Software, mit der man RFC 2544 Tests durchführen könnte. Leider bemerkten wir, dass diese Software bei jeder Testdurchführung nach einigen Sekunden abstürzte. Nach Kontaktaufnahme und Konfigurationsüberprüfungen mit dem Support von LAN Tornado waren wir leider gezwungen, die Messungen mit LAN Tornado abzubrechen.

HF-KAMMER

Bei den Messungen des N-Standards fiel auf, dass bei einigen Messungen die erreichte Bandbreite in der HF-Kammer geringer ist als im gestörten Umfeld. Der Grund dafür liegt in der Verwendung von MIMO-Antennen. Hierbei werden die Signale über mehrere Antennen ausgesendet und an Wänden und Gegenständen unterschiedlich reflektiert, bis sie das Ziel erreichen. Weil in der HF-Kammer die Signale an den Wänden absorbiert werden, funktioniert diese Technologie nicht einwandfrei. Das führt dann zu einer geringeren Bandbreite und zum Verlust von UDP-Datengrammen.

FRAMEVERLUSTRATE MIT LAYER 2 MESSGERÄTEN

Die Frameverlustrate konnte bei den MTS 6000A Messgeräten nicht angegeben werden, da wir jeweils nur zwei Durchsatzwerte (min, max) angegeben konnten. Laut RFC 2544 Standard müsste der Frameverlust-Test entsprechend die Frameverlustrate mit dem maximalen Durchsatz durchführen. Sind mit diesem Durchsatz Frames verloren gegangen, müsste anschliessend der Durchsatz um 10 Prozent verringert werden. Dann würde der Test erneut durchgeführt werden, bis bei zwei Versuchen keine Frames mehr verloren gehen. Bei den Messungen mit den MTS 6000A wurde jedoch nur jeweils die Frameverlustrate bei einem voreingestellten Durchsatz von min und max durchgeführt. Dies könnte an einer von uns falsch konfigurierten Einstellung liegen. Aus diesem Grund konnte die Frameverlustrate für die MTS 6000 A Geräte nicht dargestellt werden.

LATENZ MIT LAYER 2 MESSGERÄTEN

Bei manchen Messungen war auffallend, dass die Latenz-Werte als „Unavailable“ dargestellt wurden. Das heisst, dass bei der entsprechenden Messung die Latenz nicht ermittelt werden konnte.

Leider konnten wir nicht feststellen, an welchen Gründen dies lag.

KMU MESSUNGEN

In der Studienarbeit von Fabian Schweizer und Angelique Vinkestijn wurden spezifische Netzwerkverkehrsmuster zu Internetverhalten, VoIP Telefonaten und Druckeraufträgen erstellt, um KMU Netzwerke zu simulieren.

Es war vorgesehen, die vorhergehenden Messungen wiederholt in dieser Bachelorarbeit mit dem RFC 2544 Messstandard durchzuführen.

Aus der Tatsache heraus, dass die MTS 6000A Messgeräte nur eine Woche zur Verfügung standen, konnten wir diese KMU Netzwerksimulation nicht wiederherstellen und entsprechend die vorhergehenden Messungen nicht nach RFC 2544 verifizieren.

Damit die Auswirkung verschiedener Lasten im Netzwerk trotzdem dargestellt werden konnte, wurde von uns das Kapitel "Ergänzenden Messungen" mit zusätzliche Messungen mit aufbauender Last von 4 Clients auf einen Server kreiert. Bei einer maximalen Auslastung ist dies vergleichbar mit dem Netzwerkverkehrsmuster "Data".

AUSBLICK

Im Anschluss an diese Arbeit wird ein Paper zur Veröffentlichung der erhaltenen Resultate erstellt. Herr Rinkel und wir sind der Meinung, dass die erhaltenen Ergebnisse einer Veröffentlichung würdig und von allgemeinem Interesse sind. Deshalb werden diese zur Veröffentlichung eingereicht.

Als weiterer Ausblick für diese Bachelorarbeit wäre die Durchführung aller Messungen mit dem neuen WLAN-Standard 802.11ac. In einer zusätzlichen Arbeit könnte somit das Versprechen eines Durchsatzes von Gigabit über die Luft testen. Dies wird hauptsächlich dadurch erreicht, dass eine Kanalbandbreite von 80 MHz bzw. 160 MHz verwendet wird. Auch die MIMO Technologie und die Anzahl Spatial Streams wurde mit 8 Streams drastisch erhöht. Zusätzlich wird eine 256-QAM Modulation eingesetzt.

PERSÖNLICHE BERICHTE

FABIAN BECK

Diese Arbeit hat mir erneut sehr viel Erfahrung und Wissen gebracht, welches ich später in meiner beruflichen Laufbahn im Netzwerkumfeld anwenden kann. Dabei gab es ein breites Spektrum vom Finden und Analysieren von entsprechenden Messstandards bis hin zur Planung, Vorbereitung, Realisierung und Auswertung von Messungen.

Das Durchlesen von Standards hat mir wieder neue Erfahrungen gebracht. Einerseits sind diese aufwendig zu lesen und nahmen dementsprechend viel Zeit in Anspruch. Andererseits finde ich das Lesen von Standards sehr informativ.

Besonders gut gefallen haben mir die Berechnungen des theoretischen Durchsatzes der einzelnen WLAN-Standards und deren verwendeten Technologien. Ich habe es als sehr interessant empfunden, die theoretischen Werte mit den praktischen Werten gegenüberzustellen und zu vergleichen.

Für mich persönlich negativ war, dass wir aus zeitlichen Gründen den RFC 2544 Standard nicht komplett mit allen Parametern und Framelängen durchführen konnten.

Die Betreuung während der Arbeit durch Herrn Rinkel habe ich als sehr angenehm empfunden. Durch wöchentliche Sitzungen erhielten wir stets Feedbacks und konnten auch die erzielten Fortschritte und anstehenden Aufgaben besprechen. Des Weiteren konnten Probleme besprochen und Lösungen gefunden werden.

Die Arbeit mit Angelique Vinkestijn war angenehm.

ANGELIQUE VINKESTIJN

Die Bachelorarbeit als aufbauende Arbeit der Studienarbeit war für mich eine zusätzliche Erfahrung, welche ich sehr genossen habe. Bisher konnte ich mit der Studienarbeit sehr viel Erfahrung bezüglich Dokumentation und Messaufbau sammeln. Mit der Evaluation von verschiedenen Messstandards wurde uns dann die Möglichkeit gegeben, nochmals einen erneuten Blick auf unsere alten Messungen zu werfen.

Herr Rinkel hat uns selbständig arbeiten lassen, jedoch immer wieder Besprechungen mit uns durchgeführt. Auf Basis dieser Besprechungen konnten wir dann zusätzlich mit Herrn Rinkel offene Fragen beantworten und entsprechend unser Wissen erweitern.

Der Kontakt mit der isatel AG zeigte mir, dass auch im Umfeld der Hochschule professionell wie in einem normalen Arbeitsumfeld gearbeitet werden kann. Die Zusammenarbeit mit der isatel AG hat mir von Beginn an sehr viel Freude bereitet. Ausserdem möchte ich mich hiermit besonders für die grosszügige Bereitstellung der MTS 6000A Messgeräte bedanken, mit welchen wir nach RFC 2544 Messstandard Messungen durchführen durften.

Für die Zukunft nehme ich enormes Wissen, Erfahrung mit externen Kunden, und die direkte Zusammenarbeit mit einem Projektpartner gerne mit.

Organisatorisch durfte ich während dieser Bachelorarbeit erfahren, dass die Studienarbeit mich gut auf die Risiken der Arbeit vorbereitet hat.

Die Arbeit mit Fabian Beck habe ich sehr genossen. Fabian ist immer offen, eine Frage bezüglich Netzwerk zu beantworten und sieht es als selbstverständlich an, sein enormes Wissen zu teilen.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] RFC Standard 2544 „Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices“, März 1999
http://www.ietf.org/rfc/rfc2544.txt

[2] ITU-T Y.1564 „Ethernet service activation test methodology“, März 2011
http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1564-201103-I/en

[3] Fabian Beck, „Aufbau und Entwicklung einer WLAN-Messumgebung zur Untersuchung de QoS des G- und N-Standards“, Juni 2012

[4] Fabian Schweizer, Angelique Vinkestijn, „WLAN Durchsatzmessung“, Dezember 2012

[5] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n-2009

[6] LAN Tornado
http://www.lantesttools.com/

[7] Kali Linux Dokumentation und Definition
http://docs.kali.org/
http://en.wikipedia.org/wiki/Kali_Linux

PROJEKTDOKUMENTE

PROJEKTPLAN

	Start	Ende	SOLL	IST	18.02.13	19.02.13	20.02.13	21.02.13	22.02.13	23.02.13	24.02.13	25.02.13	26.02.13	27.02.13	28.02.13	01.03.13	02.03.13	03.03.13	04.03.13	05.03.13	06.03.13	07.03.13
Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn			*357.00*	*320.00*																		
Verfügbarkeit - Fabian Beck			*357.00*	*372.00*																		
Besprechungen	18.02.2013	14.06.2013	34.00	24.50																		
Angelique Vinkestijn				*11.50*				*1.00*							*1.00*							*0.00*
Fabian Beck				*13.00*				*1.00*							*1.00*							*1.00*
Projekteinarbeitung	18.02.2013	22.03.2013	160.00	188.50																		
Aufgabenbeschrieb & Ideen																						
Angelique Vinkestijn				*16.00*			*8.00*	*8.00*														
Fabian Beck				*16.00*			*8.00*	*8.00*														
Projektplan, Risikoanalyse																						
Angelique Vinkestijn				*10.50*								*8.00*							*1.50*			
Fabian Beck				*10.50*								*8.00*							*1.50*			
Theorie - Messstandard beschreiben - Reflexion SA Beck & Vinkestijn - Vergleich Messstandard & SA - Messgeräte finden & besorgen																						
Angelique Vinkestijn				*66.00*																*7.00*		
Fabian Beck				*69.50*																*7.00*	*8.00*	
Vorbereitung Test-Setup	25.03.2013	12.04.2013	110.00	112.50																		
Evaluation Hard- & Software																						
Angelique Vinkestijn				*32.00*																		
Fabian Beck				*49.00*																		
Installation																						
Angelique Vinkestijn				*16.00*																		
Fabian Beck				*15.50*																		
Praktische Umsetzung	15.04.2013	03.05.2013	150.00	152.00																		
Fehlende Messungen																						
Gestörtes Umfeld																						
Angelique Vinkestijn				*8.00*																		
Fabian Beck				*8.00*																		
HF-Kammer																						
Angelique Vinkestijn				*8.00*																		
Fabian Beck				*8.00*																		
Layer 2 Messungen																						
Gestörtes Umfeld																						
Angelique Vinkestijn				*32.50*																		
Fabian Beck				*33.50*																		
HF-Kammer																						
Angelique Vinkestijn				*27.00*																		
Fabian Beck				*27.00*																		
Ergänzende Messungen																						
Angelique Vinkestijn				*0.00*																		
Fabian Beck				*12.00*																		
Theoretische Zusammenfassung	04.05.2013	01.06.2013	140.00	121.50																		
Auswertung Messungen																						
Angelique Vinkestijn				*41.00*																		
Fabian Beck				*55.50*																		
Optimierungsmöglichkeiten																						
Angelique Vinkestijn				*0.50*																		
Fabian Beck				*24.50*																		
Projektabschluss	03.06.2013	14.06.2013	80.00	81.00																		
Abstract, Management Summary & Persönlicher Bericht																						
Angelique Vinkestijn				*2.00*																		
Fabian Beck				*4.00*																		
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten																						
Angelique Vinkestijn				*29.00*																		
Fabian Beck				*9.50*																		
Plakat																						
Angelique Vinkestijn				*8.00*																		
Fabian Beck				*1.50*																		
Präsentation																						
Angelique Vinkestijn				*12.00*																		
Fabian Beck				*15.00*																		
Reservezeit	18.02.2013	14.06.2013	40.00	0.00																		

	Start	Ende	SOLL	IST	08.03.13	09.03.13	10.03.13	11.03.13	12.03.13	13.03.13	14.03.13	15.03.13	16.03.13	17.03.13	18.03.13	19.03.13	20.03.13	21.03.13	22.03.13	23.03.13
Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn			*357.00*	*320.00*																
Verfügbarkeit - Fabian Beck			*357.00*	*372.00*																
Besprechungen	18.02.2013	14.06.2013	34.00	24.50																
Angelique Vinkestijn				*11.50*							*1.00*							*1.00*		
Fabian Beck				*13.00*							*1.00*							*1.00*		
Projekteinarbeitung	18.02.2013	22.03.2013	160.00	188.50																
Aufgabenbeschrieb & Ideen																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*16.00*																
Projektplan, Risikoanalyse																				
Angelique Vinkestijn				*10.50*				*1.00*												
Fabian Beck				*10.50*				*1.00*												
Theorie - Messstandard beschreiben - Reflexion SA Beck & Vinkestijn - Vergleich Messstandard & SA - Messgeräte finden & besorgen																				
Angelique Vinkestijn				*66.00*			*8.00*	*7.00*	*8.00*						*8.00*	*8.00*				
Fabian Beck				*69.50*		*8.00*		*7.00*	*5.00*											
Vorbereitung Test-Setup	25.03.2013	12.04.2013	110.00	112.50																
Evaluation Hard- & Software																				
Angelique Vinkestijn				*32.00*																
Fabian Beck				*49.00*					*4.00*	*5.00*					*8.00*					
Installation																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*15.50*																
Praktische Umsetzung	15.04.2013	03.05.2013	150.00	152.00																
Fehlende Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
Layer 2 Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*32.50*																
Fabian Beck				*33.50*																
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*27.00*																
Fabian Beck				*27.00*																
Ergänzende Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*0.00*																
Fabian Beck				*12.00*																
Theoretische Zusammenfassung	04.05.2013	01.06.2013	140.00	121.50																
Auswertung Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*41.00*																
Fabian Beck				*55.50*																
Optimierungsmöglichkeiten																				
Angelique Vinkestijn				*0.50*																
Fabian Beck				*24.50*																
Projektabschluss	03.06.2013	14.06.2013	80.00	81.00																
Abstract, Management Summary & Persönlicher Bericht																				
Angelique Vinkestijn				*2.00*																
Fabian Beck				*4.00*																
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten																				
Angelique Vinkestijn				*29.00*																
Fabian Beck				*9.50*																
Plakat																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*1.50*																
Präsentation																				
Angelique Vinkestijn				*12.00*																
Fabian Beck				*15.00*																
Reservezeit	18.02.2013	14.06.2013	40.00	0.00																

	Start	Ende	SOLL	IST	24.03.13	25.03.13	26.03.13	27.03.13	28.03.13	29.03.13	30.03.13	31.03.13	01.04.13	02.04.13	03.04.13	04.04.13	05.04.13	06.04.13	07.04.13	08.04.13
Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn			*357.00*	*320.00*																
Verfügbarkeit - Fabian Beck			*357.00*	*372.00*																
Besprechungen	18.02.2013	14.06.2013	34.00	24.50																
Angelique Vinkestijn				*11.50*					*0.00*							*1.00*				
Fabian Beck				*13.00*					*1.00*							*1.00*				
Projekteinarbeitung	18.02.2013	22.03.2013	160.00	188.50																
Aufgabenbeschrieb & Ideen																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*16.00*																
Projektplan, Risikoanalyse																				
Angelique Vinkestijn				*10.50*																
Fabian Beck				*10.50*																
Theorie - Messstandard beschreiben - Reflexion SA Beck & Vinkestijn - Vergleich Messstandard & SA - Messgeräte finden & besorgen																				
Angelique Vinkestijn				*66.00*																
Fabian Beck				*69.50*																
Vorbereitung Test-Setup	25.03.2013	12.04.2013	110.00	112.50																
Evaluation Hard- & Software																				
Angelique Vinkestijn				*32.00*		*8.00*	*8.00*							*8.00*	*8.00*					
Fabian Beck				*49.00*		*8.00*	*8.00*							*8.00*	*8.00*					
Installation																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*															*4.00*	*4.00*
Fabian Beck				*15.50*																*4.00*
Praktische Umsetzung	15.04.2013	03.05.2013	150.00	152.00																
Fehlende Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
Layer 2 Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*32.50*																
Fabian Beck				*33.50*																
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*27.00*																
Fabian Beck				*27.00*																
Ergänzende Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*0.00*																
Fabian Beck				*12.00*																
Theoretische Zusammenfassung	04.05.2013	01.06.2013	140.00	121.50																
Auswertung Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*41.00*																
Fabian Beck				*55.50*																
Optimierungsmöglichkeiten																				
Angelique Vinkestijn				*0.50*																
Fabian Beck				*24.50*																
Projektabschluss	03.06.2013	14.06.2013	80.00	81.00																
Abstract, Management Summary & Persönlicher Bericht																				
Angelique Vinkestijn				*2.00*																
Fabian Beck				*4.00*																
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten																				
Angelique Vinkestijn				*29.00*																
Fabian Beck				*9.50*																
Plakat																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*1.50*																
Präsentation																				
Angelique Vinkestijn				*12.00*																
Fabian Beck				*15.00*																
Reservezeit	18.02.2013	14.06.2013	40.00	0.00																

	Start	Ende	SOLL	IST	09.04.13	10.04.13	11.04.13	12.04.13	13.04.13	14.04.13	15.04.13	16.04.13	17.04.13	18.04.13	19.04.13	20.04.13	21.04.13	22.04.13	23.04.13	24.04.13
Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn			*357.00*	*320.00*																
Verfügbarkeit - Fabian Beck			*357.00*	*372.00*																
Besprechungen	18.02.2013	14.06.2013	34.00	24.50																
Angelique Vinkestijn				*11.50*			*1.00*							*1.00*						
Fabian Beck				*13.00*			*1.00*							*1.00*						
Projekteinarbeitung	18.02.2013	22.03.2013	160.00	188.50																
Aufgabenbeschrieb & Ideen																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*16.00*																
Projektplan, Risikoanalyse																				
Angelique Vinkestijn				*10.50*																
Fabian Beck				*10.50*																
Theorie - Messstandard beschreiben - Reflexion SA Beck & Vinkestijn - Vergleich Messstandard & SA - Messgeräte finden & besorgen																				
Angelique Vinkestijn				*66.00*																
Fabian Beck				*69.50*						*5.00*										
Vorbereitung Test-Setup	25.03.2013	12.04.2013	110.00	112.50																
Evaluation Hard- & Software																				
Angelique Vinkestijn				*32.00*																
Fabian Beck				*49.00*																
Installation																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*	*8.00*															
Fabian Beck				*15.50*	*4.50*															
Praktische Umsetzung	15.04.2013	03.05.2013	150.00	152.00																
Fehlende Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
Layer 2 Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*32.50*							*9.00*	*9.00*		*7.00*		*2.50*				
Fabian Beck				*33.50*							*8.50*	*11.50*		*8.50*						
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*27.00*														*9.00*	*9.00*	
Fabian Beck				*27.00*														*9.00*	*9.00*	
Ergänzende Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*0.00*																
Fabian Beck				*12.00*																
Theoretische Zusammenfassung	04.05.2013	01.06.2013	140.00	121.50																
Auswertung Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*41.00*																
Fabian Beck				*55.50*																
Optimierungsmöglichkeiten																				
Angelique Vinkestijn				*0.50*																
Fabian Beck				*24.50*																
Projektabschluss	03.06.2013	14.06.2013	80.00	81.00																
Abstract, Management Summary & Persönlicher Bericht																				
Angelique Vinkestijn				*2.00*																
Fabian Beck				*4.00*																
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten																				
Angelique Vinkestijn				*29.00*																
Fabian Beck				*9.50*																
Plakat																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*1.50*																
Präsentation																				
Angelique Vinkestijn				*12.00*																
Fabian Beck				*15.00*																
Reservezeit	18.02.2013	14.06.2013	40.00	0.00																

	Start	Ende	SOLL	IST	25.04.13	26.04.13	27.04.13	28.04.13	29.04.13	30.04.13	01.05.13	02.05.13	03.05.13	04.05.13	05.05.13	06.05.13	07.05.13	08.05.13	09.05.13	10.05.13
Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn			*357.00*	*320.00*																
Verfügbarkeit - Fabian Beck			*357.00*	*372.00*																
Besprechungen	18.02.2013	14.06.2013	34.00	24.50																
Angelique Vinkestijn				*11.50*	*0.50*														*1.00*	
Fabian Beck				*13.00*	*0.50*							*0.50*								
Projekteinarbeitung	18.02.2013	22.03.2013	160.00	188.50																
Aufgabenbeschrieb & Ideen																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*16.00*																
Projektplan, Risikoanalyse																				
Angelique Vinkestijn				*10.50*																
Fabian Beck				*10.50*																
Theorie - Messstandard beschreiben - Reflexion SA Beck & Vinkestijn - Vergleich Messstandard & SA - Messgeräte finden & besorgen																				
Angelique Vinkestijn				*66.00*																
Fabian Beck				*69.50*	*4.00*			*4.00*	*5.50*								*4.00*		*4.00*	*1.00*
Vorbereitung Test-Setup	25.03.2013	12.04.2013	110.00	112.50																
Evaluation Hard- & Software																				
Angelique Vinkestijn				*32.00*																
Fabian Beck				*49.00*																
Installation																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*15.50*																
Praktische Umsetzung	15.04.2013	03.05.2013	150.00	152.00																
Fehlende Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*												*8.00*				
Fabian Beck				*8.00*												*8.00*				
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*													*8.00*			
Fabian Beck				*8.00*													*8.00*			
Layer 2 Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*32.50*					*5.00*											
Fabian Beck				*33.50*					*5.00*											
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*27.00*						*9.00*										
Fabian Beck				*27.00*						*9.00*										
Ergänzende Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*0.00*																
Fabian Beck				*12.00*																
Theoretische Zusammenfassung	04.05.2013	01.06.2013	140.00	121.50																
Auswertung Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*41.00*																
Fabian Beck				*55.50*																*4.00*
Optimierungsmöglichkeiten																				
Angelique Vinkestijn				*0.50*																
Fabian Beck				*24.50*																
Projektabschluss	03.06.2013	14.06.2013	80.00	81.00																
Abstract, Management Summary & Persönlicher Bericht																				
Angelique Vinkestijn				*2.00*																
Fabian Beck				*4.00*																
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten																				
Angelique Vinkestijn				*29.00*																
Fabian Beck				*9.50*																
Plakat																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*1.50*																
Präsentation																				
Angelique Vinkestijn				*12.00*																
Fabian Beck				*15.00*																
Reservezeit	18.02.2013	14.06.2013	40.00	0.00																

	Start	Ende	SOLL	IST	11.05.13	12.05.13	13.05.13	14.05.13	15.05.13	16.05.13	17.05.13	18.05.13	19.05.13	20.05.13	21.05.13	22.05.13	23.05.13	24.05.13	25.05.13	26.05.13
Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn			*357.00*	*320.00*																
Verfügbarkeit - Fabian Beck			*357.00*	*372.00*																
Besprechungen	18.02.2013	14.06.2013	34.00	24.50																
Angelique Vinkestijn				*11.50*			*0.50*													
Fabian Beck				*13.00*			*0.50*													
Projekteinarbeitung	18.02.2013	22.03.2013	160.00	188.50																
Aufgabenbeschrieb & Ideen																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*16.00*																
Projektplan, Risikoanalyse																				
Angelique Vinkestijn				*10.50*																
Fabian Beck				*10.50*																
Theorie - Messstandard beschreiben - Reflexion SA Beck & Vinkestijn - Vergleich Messstandard & SA - Messgeräte finden & besorgen																				
Angelique Vinkestijn				*66.00*																
Fabian Beck				*69.50*																
Vorbereitung Test-Setup	25.03.2013	12.04.2013	110.00	112.50																
Evaluation Hard- & Software																				
Angelique Vinkestijn				*32.00*																
Fabian Beck				*49.00*																
Installation																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*15.50*																*7.00*
Praktische Umsetzung	15.04.2013	03.05.2013	150.00	152.00																
Fehlende Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
Layer 2 Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*32.50*																
Fabian Beck				*33.50*																
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*27.00*																
Fabian Beck				*27.00*																
Ergänzende Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*0.00*																
Fabian Beck				*12.00*																
Theoretische Zusammenfassung	04.05.2013	01.06.2013	140.00	121.50																
Auswertung Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*41.00*				*8.00*	*8.00*					*8.00*	*8.00*					
Fabian Beck				*55.50*			*4.00*	*6.00*	*7.50*		*1.50*	*3.00*			*7.00*					
Optimierungsmöglichkeiten																				
Angelique Vinkestijn				*0.50*																
Fabian Beck				*24.50*																
Projektabschluss	03.06.2013	14.06.2013	80.00	81.00																
Abstract, Management Summary & Persönlicher Bericht																				
Angelique Vinkestijn				*2.00*																
Fabian Beck				*4.00*												4.00				
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten																				
Angelique Vinkestijn				*29.00*																
Fabian Beck				*9.50*																
Plakat																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*1.50*																
Präsentation																				
Angelique Vinkestijn				*12.00*																
Fabian Beck				*15.00*																
Reservezeit	18.02.2013	14.06.2013	40.00	0.00																

	Start	Ende	SOLL	IST	27.05.13	28.05.13	29.05.13	30.05.13	31.05.13	01.06.13	02.06.13	03.06.13	04.06.13	05.06.13	06.06.13	07.06.13	08.06.13	09.06.13	10.06.13	11.06.13
Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn			*357.00*	*320.00*																
Verfügbarkeit - Fabian Beck			*357.00*	*372.00*																
Besprechungen	18.02.2013	14.06.2013	34.00	24.50																
Angelique Vinkestijn				*11.50*	*1.00*											*0.50*				
Fabian Beck				*13.00*	*1.00*											*0.50*				
Projekteinarbeitung	18.02.2013	22.03.2013	160.00	188.50																
Aufgabenbeschrieb & Ideen																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*16.00*																
Projektplan, Risikoanalyse																				
Angelique Vinkestijn				*10.50*																
Fabian Beck				*10.50*																
Theorie - Messstandard beschreiben - Reflexion SA Beck & Vinkestijn - Vergleich Messstandard & SA - Messgeräte finden & besorgen																				
Angelique Vinkestijn				*66.00*	*2.00*						*4.00*	*8.00*			*6.00*					
Fabian Beck				*69.50*		*7.00*														
Vorbereitung Test-Setup	25.03.2013	12.04.2013	110.00	112.50																
Evaluation Hard- & Software																				
Angelique Vinkestijn				*32.00*																
Fabian Beck				*49.00*																
Installation																				
Angelique Vinkestijn				*16.00*																
Fabian Beck				*15.50*																
Praktische Umsetzung	15.04.2013	03.05.2013	150.00	152.00																
Fehlende Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*																
Fabian Beck				*8.00*																
Layer 2 Messungen																				
Gestörtes Umfeld																				
Angelique Vinkestijn				*32.50*																
Fabian Beck				*33.50*																
HF-Kammer																				
Angelique Vinkestijn				*27.00*																
Fabian Beck				*27.00*																
Ergänzende Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*0.00*																
Fabian Beck				*12.00*								*8.00*	*4.00*							
Theoretische Zusammenfassung	04.05.2013	01.06.2013	140.00	121.50																
Auswertung Messungen																				
Angelique Vinkestijn				*41.00*	*9.00*															
Fabian Beck				*55.50*	*7.50*	*4.00*							*8.00*	*3.00*						
Optimierungsmöglichkeiten																				
Angelique Vinkestijn				*0.50*															*0.50*	
Fabian Beck				*24.50*							*2.00*	*2.50*		*5.00*		*6.00*	*4.00*	*5.00*		
Projektabschluss	03.06.2013	14.06.2013	80.00	81.00																
Abstract, Management Summary & Persönlicher Bericht																				
Angelique Vinkestijn				*2.00*															*2.00*	
Fabian Beck				*4.00*																
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten																				
Angelique Vinkestijn				*29.00*														*6.00*	*7.00*	*6.00*
Fabian Beck				*9.50*														*2.50*		
Plakat																				
Angelique Vinkestijn				*8.00*												*8.00*				
Fabian Beck				*1.50*															*0.50*	
Präsentation																				
Angelique Vinkestijn				*12.00*																*4.00*
Fabian Beck				*15.00*															*4.00*	*3.00*
Reservezeit	18.02.2013	14.06.2013	40.00	0.00																

	Start	Ende	SOLL	IST	12.06.13	13.06.13	14.06.13
Verfügbarkeit - Angelique Vinkestijn			*357.00*	*320.00*			
Verfügbarkeit - Fabian Beck			*357.00*	*372.00*			
Besprechungen	**18.02.2013**	**14.06.2013**	**34.00**	**24.50**			
Angelique Vinkestijn				*11.50*	*1.00*		
Fabian Beck				*13.00*	*1.00*		
Projekteinarbeitung	**18.02.2013**	**22.03.2013**	**160.00**	**188.50**			
Aufgabenbeschrieb & Ideen							
Angelique Vinkestijn				*16.00*			
Fabian Beck				*16.00*			
Projektplan, Risikoanalyse							
Angelique Vinkestijn				*10.50*			
Fabian Beck				*10.50*			
Theorie - Messstandard beschreiben - Reflexion SA Beck & Vinkestijn - Vergleich Messstandard & SA - Messgeräte finden & besorgen							
Angelique Vinkestijn				*66.00*			
Fabian Beck				*69.50*			
Vorbereitung Test-Setup	**25.03.2013**	**12.04.2013**	**110.00**	**112.50**			
Evaluation Hard- & Software							
Angelique Vinkestijn				*32.00*			
Fabian Beck				*49.00*			
Installation							
Angelique Vinkestijn				*16.00*			
Fabian Beck				*15.50*			
Praktische Umsetzung	**15.04.2013**	**03.05.2013**	**150.00**	**152.00**			
Fehlende Messungen							
Gestörtes Umfeld							
Angelique Vinkestijn				*8.00*			
Fabian Beck				*8.00*			
HF-Kammer							
Angelique Vinkestijn				*8.00*			
Fabian Beck				*8.00*			
Layer 2 Messungen							
Gestörtes Umfeld							
Angelique Vinkestijn				*32.50*			
Fabian Beck				*33.50*			
HF-Kammer							
Angelique Vinkestijn				*27.00*			
Fabian Beck				*27.00*			
Ergänzende Messungen							
Angelique Vinkestijn				*0.00*			
Fabian Beck				*12.00*			
Theoretische Zusammenfassung	**04.05.2013**	**01.06.2013**	**140.00**	**121.50**			
Auswertung Messungen							
Angelique Vinkestijn				*41.00*			
Fabian Beck				*55.50*			
Optimierungsmöglichkeiten							
Angelique Vinkestijn				*0.50*			
Fabian Beck				*24.50*			
Projektabschluss	**03.06.2013**	**14.06.2013**	**80.00**	**81.00**			
Abstract, Management Summary & Persönlicher Bericht							
Angelique Vinkestijn				*2.00*			
Fabian Beck				*4.00*			
Korrekturlesen, Abschlussarbeiten							
Angelique Vinkestijn				*29.00*	*6.00*	*4.00*	
Fabian Beck				*9.50*	*3.00*	*4.00*	
Plakat							
Angelique Vinkestijn				*8.00*			
Fabian Beck				*1.50*	*1.00*		
Präsentation							
Angelique Vinkestijn				*12.00*			*8.00*
Fabian Beck				*15.00*			*8.00*
Reservezeit	**18.02.2013**	**14.06.2013**	**40.00**	**0.00**			

RISIKOANALYSE

Risk ID	Risiko	Auswirklung	Massnahme	Kosten der Massnahmen in Zeit	Max. Schaden	Wahrschein-lichkeit des Eintreffen	Gewichteter Schaden in h	Priorität
R01	Messgeräte stehen für Messungen nicht zur Verfügung	Messungen können nicht durch-geführt werden verspäten sich	Termin für Messungen bekannt geben und im vorhinein die Firma kontaktieren	30 Minuten	100	15%	15	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 Verfüng	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
	Total Kosten in Arbeitspaketen enthalten (Angaben in h)			**5**				
	Total Rückstellungen				**270**		**32**	