

Tobias Gieseke gieseke@irt.de
Hermann Lipfert lipfert@irt.de
Sachgebiet Speicher und Netze im Rundfunk

Arno Kral ak@tomsnetworking.de
Taras Sajuk ts@tomsnetworking.de
Toms Networking Guide Deutschland

Testbericht: Netgear WNR854T WLAN 802.11n Router im drahtlosen Heimnetz

März 2008

Allgemeiner Hinweis

Das IRT führte in Kooperation mit dem Toms Networking Guide Deutschland umfangreiche Tests mit WLAN-Geräten durch. Mit einem hoch professionellen Messverfahren ermittelt es anhand zahlreicher Durchsatzmessungen die Eignung der WLAN-Geräte für den Einsatz in Heimumgebungen und Büros. Das Messverfahren ist unter <http://www.irt.de/de/themengebiete/digitale-netze/wlan-router.html> ausführlich beschrieben.

Besonderes Augenmerk richtet das IRT auf die Reichweite und die Tauglichkeit für Rundfunkanwendungen wie drahtloses Video/Audio-Streaming in Echtzeit, VoIP u.v.m.. In drahtlosen Heimnetzwerken stehen besonders Multi- und Broadcast-Anwendungen im Vordergrund. Eine nähere Beschreibung der im Standard IEEE 802.11n eingesetzten WLAN-Techniken, insbesondere des MIMO-Verfahrens, ist in Englisch unter <http://www.irt.de/de/themengebiete/digitale-netze/mimo-ofdm.html> und in Deutsch unter http://www.tomsnetworking.de/content/reports/j2006a/report_mimo_1_grundlagen/index.html zu finden.

1. Einführung

Der Funkstandard IEEE 802.11n befindet sich seit 2003 im Entwurfsstadium und eine Vielzahl von Herstellern lässt es sich nicht nehmen, vor der immer noch ausstehenden, Verabschiedung des Standards bereits Produkte anzubieten, die auf dem so genannten „Draft N“ (Vorschlag N) basieren. So auch Marktgröße Netgear, die in der Vergangenheit schon häufig mit guten WLAN-Geräten im 802.11b/g Standard aufwarten konnte.

Der hier getestete WLAN- Router WNR854, der auf der Hersteller-Homepage als RangeMax NEXT Wireless-N Router aufgeführt wird, bietet viele Features, die für die komplette und sichere Verteilung des Internets im Haushalt mehr oder weniger wichtig sind.

Dazu gehören:

- Eine Firewall mit NAT und SPI
- Eine umfangreiche Kindersicherung (Content Filterung) und Website logging

- Denial of Service (DoS)
- Sogenannte „Intrusion detection and prevent“, also eine Einbruchserkennung
- 4 Port Gigabit-Switch
- Die Unterstützung aller gängigen WLAN Verschlüsselungen (WEP, WPA, WPA2)



Abbildung 1: Produktfoto des Netgear WNR854T

Netgear setzt auch bei diesem Modell wieder auf die bewährten internen Antennen, deshalb ist der Router rein äußerlich nicht als WLAN-Gerät zu erkennen. Unter dem schlichten Gewand versteckt sich jedoch ein Wi-Fi Chipsatz der Firma Marvell mit dem Namen Topdog. Er unterstützt die WLAN Modi 802.11 b, g und n (Draft) und alle drei Verschlüsselungsarten. Mit großem Vertrauen in den Chipsatz, verspricht der Hersteller 10-mal mehr Reichweite und 15-mal mehr Geschwindigkeit als bei 802.11 b- oder g-Produkten. Somit wäre dieser Router, laut Produktbeschreibung, ideal für jegliche Art von Netzwerkanwendung, insbesondere Onlinegaming, HD-Videostreaming und VoIP. In einer kleinen Fußnote wird aber deutlich, dass die versprochenen Werte auch mal abweichen können.

“Die maximal erreichbaren Wireless-Geschwindigkeiten sind abgeleitet von den Spezifikationen im IEEE-Standard 802.11. Der tatsächliche Datendurchsatz kann abweichen. So verringern verschiedene Netzwerk- und Umgebungsfaktoren, wie z. B. der Datenverkehr im Netzwerk, Netzwerkverwaltungsdaten, aber auch Baumaterialien und bauliche Merkmale Ihrer Umgebung den Durchsatz. (...)”

Gemessen wurde der Router mit der, zum Zeitpunkt des Tests, aktuellen Firmwareversion 1.4.23. Im Clientnotebook (siehe nachfolgende Messbeschreibung) wurde der USB-Clientadapter Netgear WN121T installiert (Treiberversion: 1.0.5.5). Diese externe Netzwerkkarte besitzt ein ca. 50cm langes Kabel, welches es dem User erlaubt, den Adapter an einer funktechnisch günstigen Stelle zu platzieren.

2. WLAN-Messungen

Das Institut für Rundfunktechnik untersucht Durchsatz und Reichweite an acht Messorten mit verschiedenen Hochfrequenzdämpfungen und Entfernungen zwischen WLAN-Access-Point (WLAN-Router) und WLAN-Station (WLAN-Client). Dabei misst es detailliert die TCP- sowie UDP-Durchsatzraten und simuliert Video-Streaming und VoIP. Für die Erzeugung des Netzwerkverkehrs kommt dabei die professionelle Software IxChariot von Ixia zum Einsatz. Das Spektrum wird mit dem Airmagnet Spektrumanalysator überwacht. Alle Messungen finden im Frequenzbereich 2,4GHz (ISM-Band) statt. Die exakte Beschreibung des Messverfahrens kann unter <http://www.irt.de/de/themengebiete/digitale-netze/wlan-router.html> nachgelesen werden, es sei hier in Kürze aber noch einmal vorgestellt.

2.1. Messverfahren

Die Räumlichkeiten des IRT entsprechen einem normalen Bürogebäude, welches in seinen baulichen Eigenschaften (Dicke von Wänden, Baumaterialien) mit einem Einfamilienhaus gleich zu setzen ist.

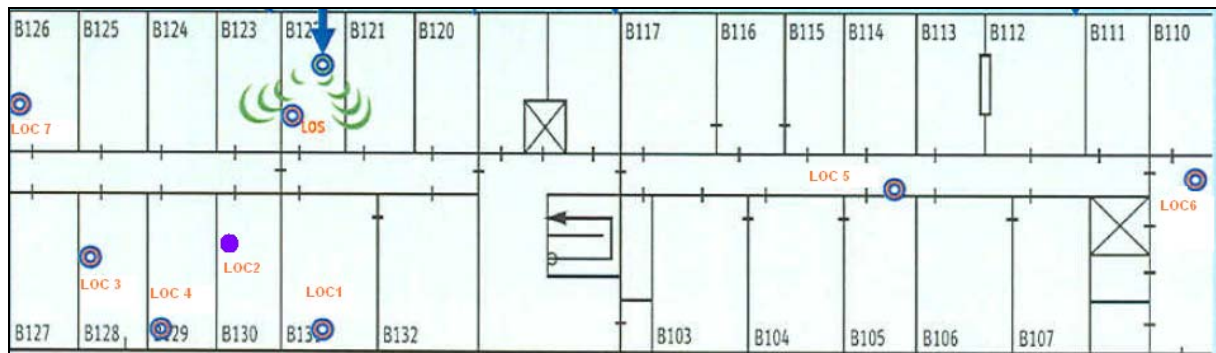


Abbildung 2: Platzierung der acht Messorte in den Räumlichkeiten des IRT

Die Messung erfolgt mit insgesamt drei Computern, wobei der Datentransfer immer nur zwischen den beiden Endpoints läuft. Der dritte Computer dient als Konsole. Neben normalen TCP-Durchsatzmessungen werden auch Videostreams und VoIP-Gespräche simuliert. Eine Messung läuft ca. drei Minuten und liefert den Durchschnittswert einer Zeitreihe.

Test Setup		Throughput	Transaction Rate	Response Time	Raw Data	Totals	Endpoint Configuration			
Group	Pair Group Name	Run Status	Timing Records Completed	95% Confidence Interval	Average (Mbps)	Minimum (Mbps)	Maximum (Mbps)	Measured Time (sec)	Relative Precision	
1	TCP Messung 1		200		10,433	41,451	63,291			
	Pair 2	TCP Messung Finished	200	-0,717 : +0,717	53,261	41,451	63,291	150,204	1,346	
1	TCP Messung 2		200		10,433	22,779	63,492			
	Pair 3	TCP Messung Finished	200	-0,988 : +0,988	50,152	22,779	63,492	159,515	1,971	
1	TCP Messung 3		200		10,433	18,190	61,538			
	Pair 4	TCP Messung Finished	200	-1,437 : +1,437	43,803	18,190	61,538	182,638	3,282	
3	TCP		198		10,329	10,468	28,450			
	Pair 5	TCP Messung Finished	66	-0,880 : +0,880	19,442	11,908	27,701	135,789	4,529	
	Pair 6	TCP Messung Finished	66	-0,997 : +0,997	19,320	10,468	28,450	136,644	5,159	
	Pair 7	TCP Messung Finished	66	-0,917 : +0,917	19,419	11,866	27,567	135,947	4,721	
5	TCP		200		10,433	10,241	16,287			
	Pair 8	TCP Messung Finished	40	-0,432 : +0,432	13,576	10,241	16,247	117,854	3,181	
	Pair 9	TCP Messung Finished	40	-0,373 : +0,373	13,563	10,554	16,162	117,965	2,753	
	Pair 10	TCP Messung Finished	40	-0,415 : +0,415	13,623	10,264	16,227	117,446	3,047	
	Pair 11	TCP Messung Finished	40	-0,414 : +0,414	13,625	10,262	16,287	117,427	3,036	
	Pair 12	TCP Messung Finished	40	-0,394 : +0,394	13,569	10,554	16,273	117,913	2,903	
	Ramp up		25		1,304	48,019	60,150			
	Pair 1	TCP Messung Finished	25	-0,916 : +0,916	51,477	48,019	60,150	19,426	1,780	

Abbildung 3: Messergebnisse der IxChariot TCP-Durchsatzmessungen

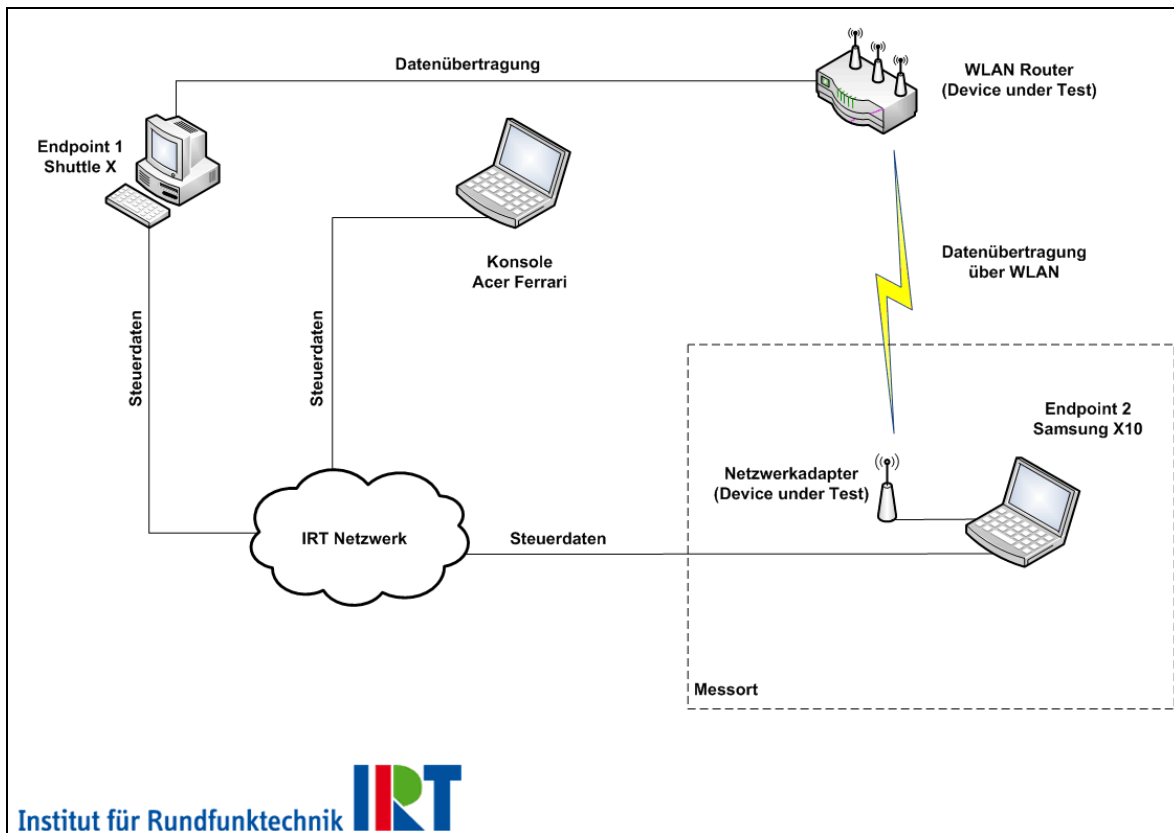


Abbildung 4: Aufbau des Messnetzwerkes am IRT

3. Messergebnisse

Die automatisch ablaufenden Messungen erzeugen IxChariot-spezifische Dateien (z.B. Abb.5), die nach Excel exportiert, ausgewertet und zu aussagekräftigen Grafiken verarbeitet wurden.

3.1 TCP-Performance

Als wichtige Grundsatzmessung gilt die Ermittlung des mit TCP-Paketen erreichbaren Durchsatzes (Performance). Sie liefert die durchschnittliche Datenrate an jedem der Messorte. Gesendet wird hier auf einem ca. 20 MHz breiten Kanal, also der gleichen Kanalbandbreite wie sie auch von den bekannten Standards 802.11a und 802.11g belegt wird, wobei die Funkstrecke mit WPA2-Verschlüsselung abgesichert wird.

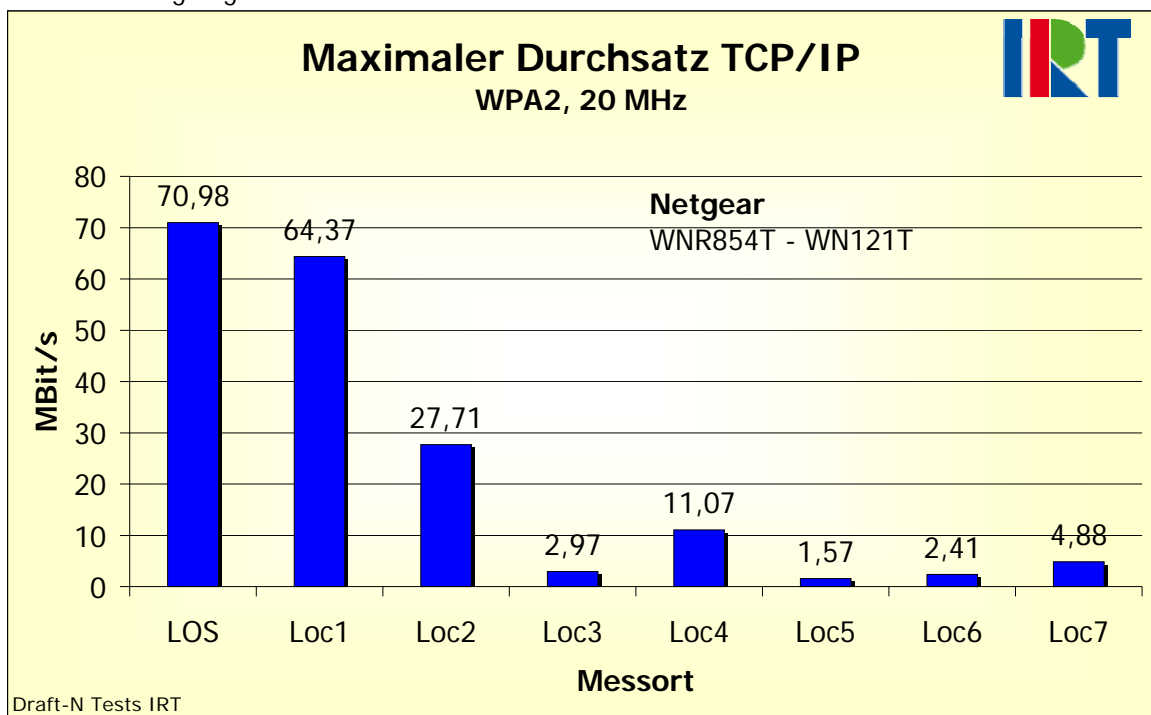


Abbildung 5: TCP-Durchsatzmessung, mit 20MHz und WPA2-Verschlüsselung

Der WNR854T zeigt sowohl im Nahbereich als auch auf großen Entfernungen hohe Datenraten. Bei Sichtverbindung erreicht er mit einem 20MHz breitem WLAN-Kanal sehr gute 70 MBit/s, die sich an Loc1 lediglich um 6 MBit/s reduzieren. Selbst an den 30m und 40m entfernten Messorten Loc5 und Loc6 erreicht er noch Datenraten zwischen 1,5 und 2,5 MBit/s, ausreichend für Internetsurfen und E-Mail. Wesentlich besser als mit einer großen Entfernung zwischen Router und Client, kommt der Router mit einer großen Hochfrequenzdämpfung zurecht. Dies zeigt der Messwert an Loc7, welcher vom WLAN-Router durch vier Betonwände getrennt ist (siehe Abbildung 2). Diese Eigenschaft ist sehr bedeutend, weil in einem normalen Haushalt eher mit einer starken Dämpfung als mit einer großen Entfernung zwischen WLAN-Router und Client zu rechnen ist,

3.2. Single- versus Mehrfach-TCP-Verbindungen

Eine Messung mit fünf gleichzeitigen TCP-Verbindungen in eine Richtung ergab bei Sichtverbindung (Line-of-Sight) eine Steigerung der maximalen Durchsatzrate von 70 auf 80 Mbit/s.

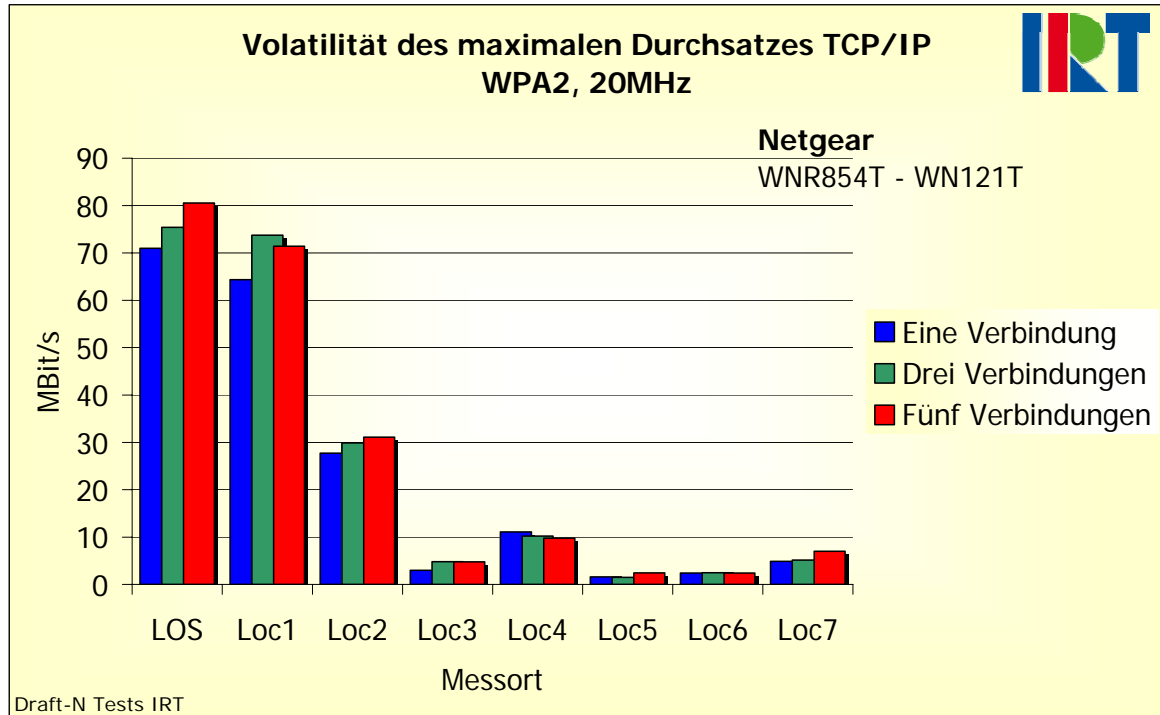


Abbildung 6: Erhöhung der Datendurchsatzrate bei mehrfachen Verbindungen

Durch die Übertragung mehrerer Datenströme gleichzeitig kann die Datenrate an LOS und Loc1 um etwa 10MBit/s gesteigert werden. An allen anderen Orten führen die schlechten Empfangsbedingungen und die daraus resultierende geänderte Modulation des WLAN-Routers dazu, dass die WLAN-Verbindung mit einer einzelnen Datenübertragung bereits ihr Maximum erreicht hat.

3.3 Einfluss verschiedener Verschlüsselungsverfahren auf die Performance

Der gemittelte (siehe Messbeschreibung) maximale Durchsatz, sowie der Einfluss der verschiedenen Verschlüsselungsmethoden wurde an den performanten Messorten LOS und Loc1 untersucht.

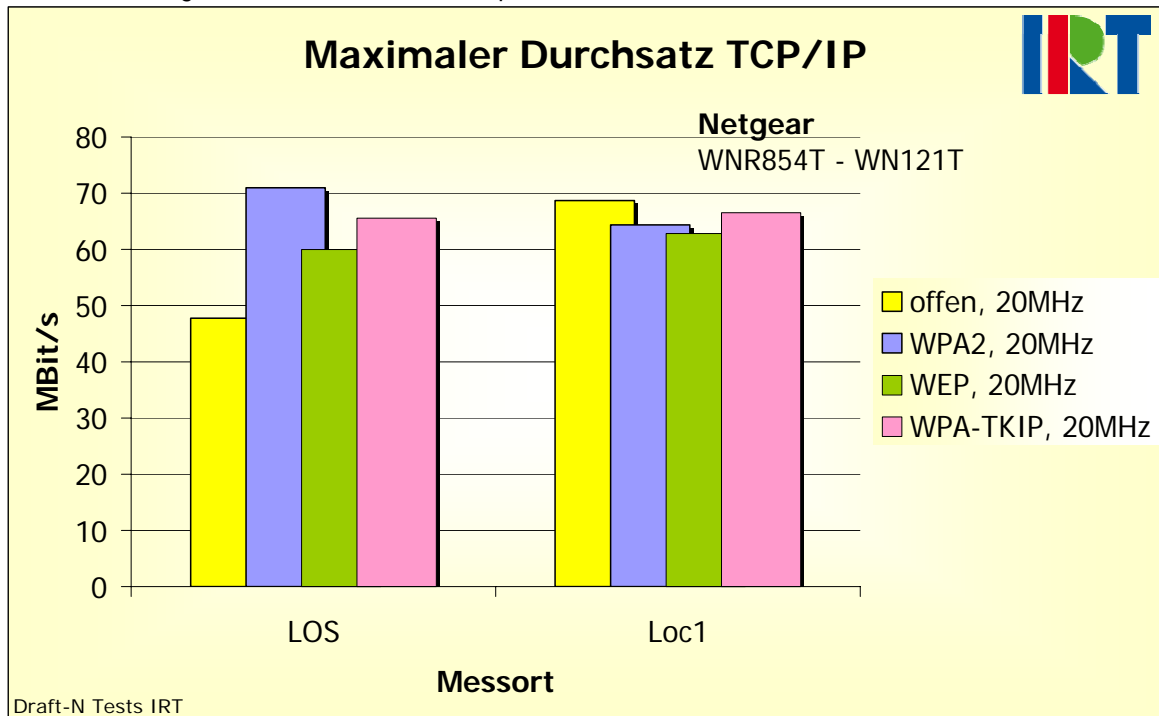


Abbildung 7: Einfluss der Verschlüsselungsart (20MHz Kanalbandbreite) auf maximalen Durchsatz

Der Einfluss der Verschlüsselungen zeigt sich am deutlichsten bei Sichtverbindung (LOS), dort zeigt WPA2 die beste Datenrate, während WEP und WPA-Tkip 10 bzw. 5 MBit/s weniger erreichen. An Loc1 sind viel mehr die Empfangsbedingungen als der Rechenaufwand der Verschlüsselungen entscheidend für den Datendurchsatz. Deshalb zeigen hier alle Methoden ähnlichen Datendurchsatz.

Ein ähnliches Verhalten bezüglich Einfluss der Verschlüsselungsarten zeigt sich auch im Falle von 40MHz breiten Übertragungskanälen.

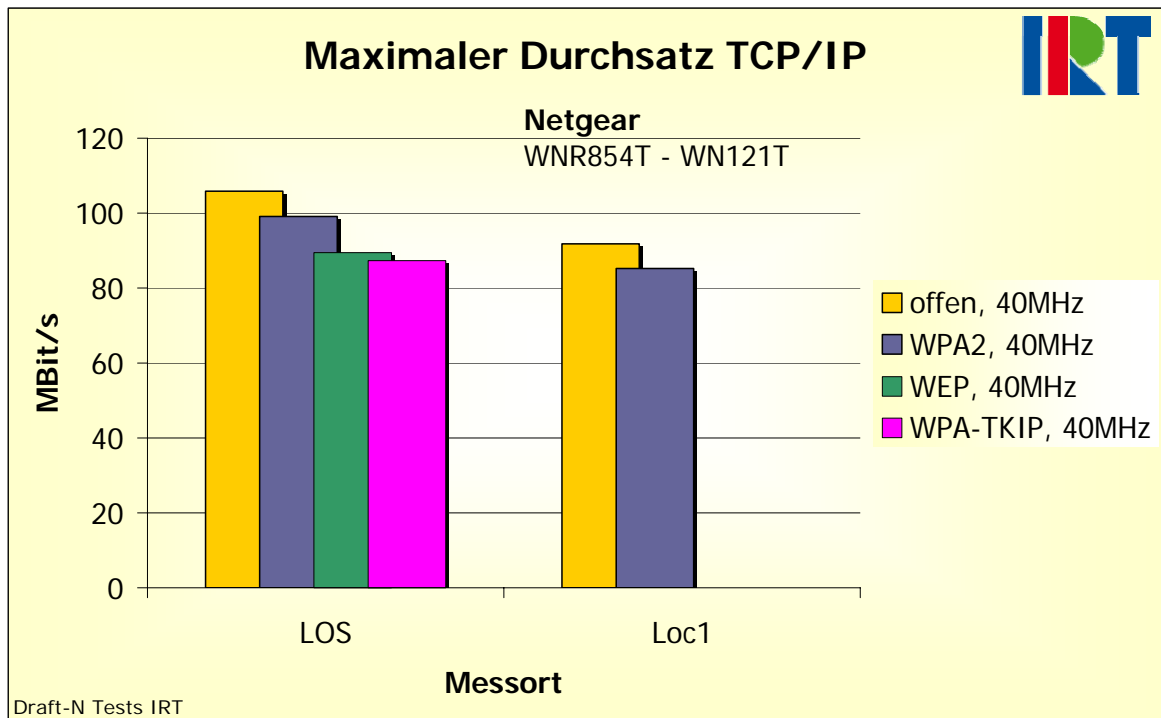


Abbildung 8: Einfluss der Verschlüsselungsart (40MHz Kanalbandbreite)

Die Anwendung des 40MHz Modus steigert die Datenrate auf über 100 MBit/s bei Sichtverbindung. Alle Verschlüsselungsarten profitieren von der Kanalverdoppelung. Die relativen Abstriche für die jeweiligen Sicherungen bleiben aber erhalten.

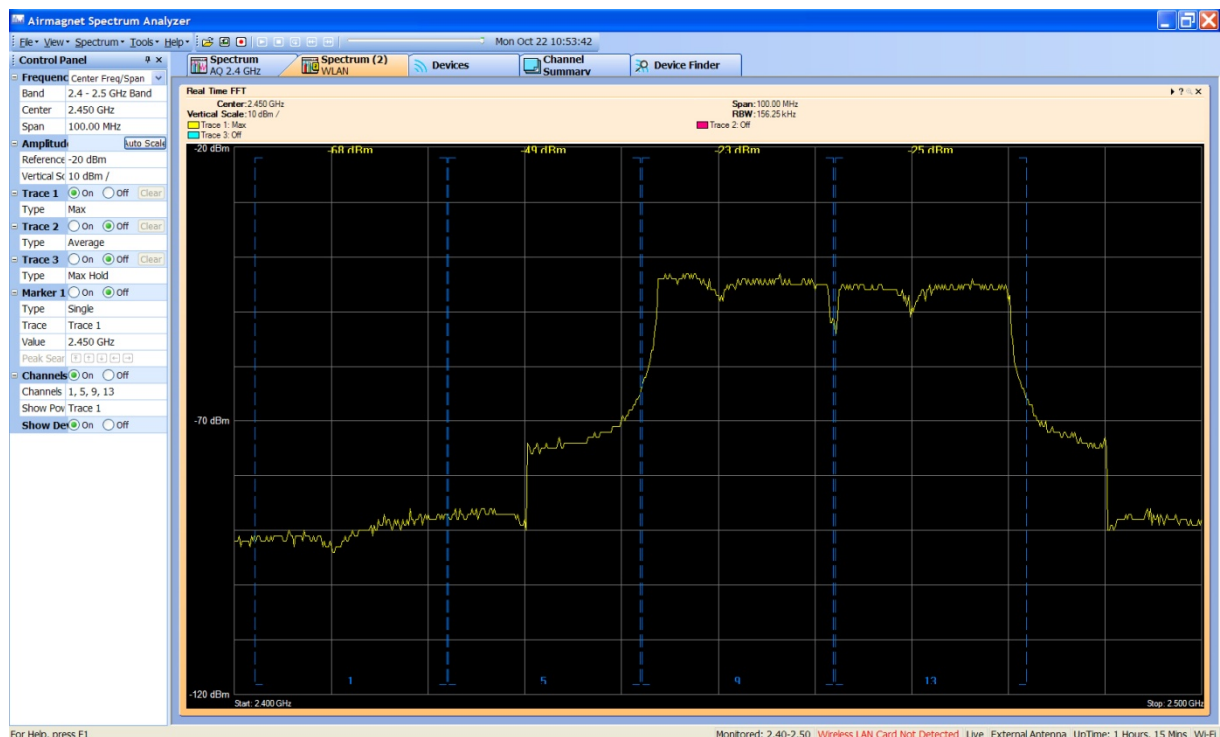


Abbildung 9: Spektrum eines 40MHz WLAN-Kanals.

Obwohl im ISM-Band von 2,40 bis 2,48 GHz 13 Kanäle mit je 20MHz definiert sind, lassen sich davon (in Deutschland) nur maximal vier überlappungsfrei nutzen. Wegen des ohnehin schon vollen, weil lizenzfrei nutzbaren ISM-Frequenzbereiches ist die Anwendung des so genannten Channelbondings (Bündelung von zwei 20MHz breiten Kanälen zu einem einzigen 40MHz breiten Kanal) stark umstritten.

3.4. RTP/UDP Streaming

Der gemittelte maximale Durchsatz im Falle von RTP/UDP Streaming, sowie hier der Einfluss der verschiedenen Verschlüsselungsmethoden, wurde an den performanten Messorten LOS und Loc1 untersucht.

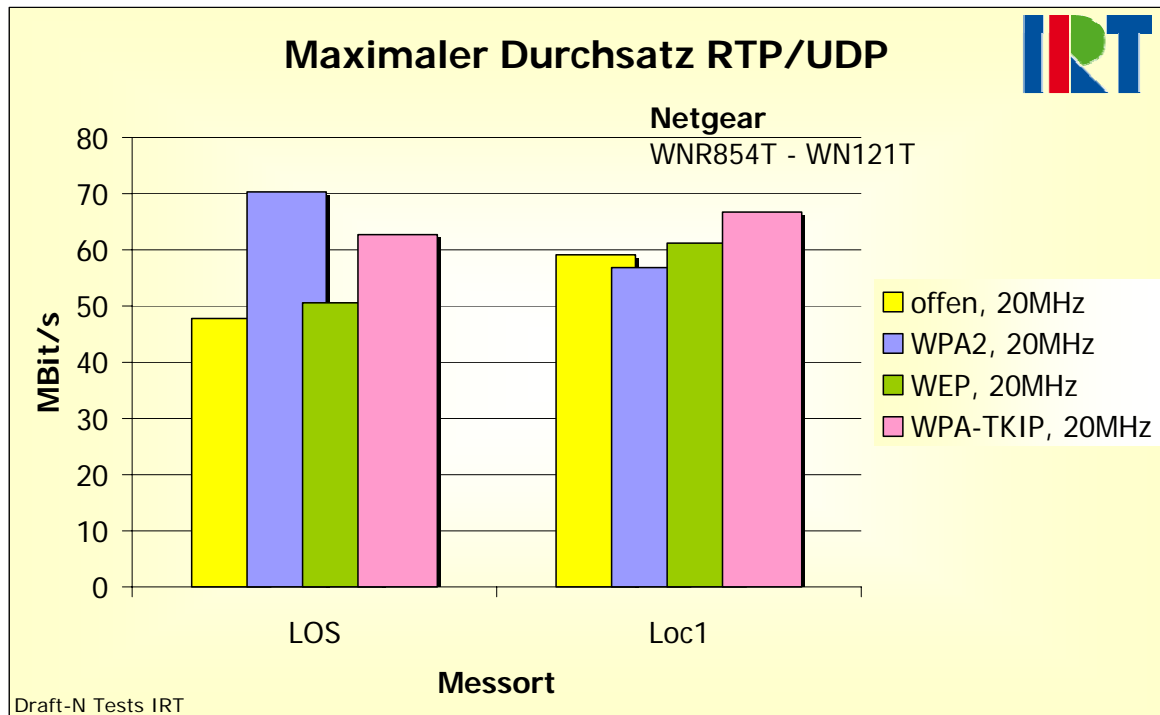


Abbildung 10: Einfluss der Verschlüsselungsart (20MHz Kanalbandbreite) auf maximalen Durchsatz

Der RTP/UDP-Durchsatz sagt aus, welche Videodatenrate im Falle eines einzelnen zu übertragenden Streams drahtlos zu Hause stabil und für den Zuschauer fehlerfrei zu empfangen ist. Die Streamingraten bewegen sich im Wertebereich der TCP-Messung (siehe Abbildung 7). Dies spricht für eine stabile WLAN-Verbindung bzw. konstante Durchsatzraten. Für ein Videostreaming ist der WNR854T also gut geeignet, denn geht man von einem HDTV-Stream mit 15 MBit/s aus, würden sich sogar mit WEP drei Videos gleichzeitig anschauen lassen, was in der Praxis natürlich nur sehr selten vorkommt.

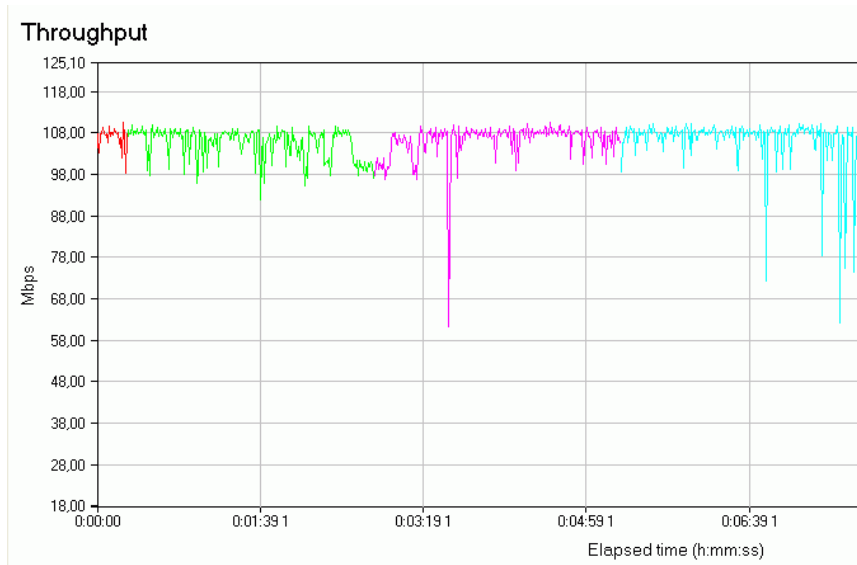


Abbildung 11: Verlauf einer Durchsatzmessung

Abbildung 11 zeigt die Stabilität des Durchsatzes über die Zeit, hier im 40MHz Modus. Die Schwankungen von etwa 10 MBit/s sind für eine WLAN-Verbindung sehr gering.

3.5. VoIP-Sprachqualität an verschiedenen Testorten

Als zeitgemäße Anwendung wurde über den WNR854T im Folgenden ein VoIP-Gespräch bei belastetem WLAN gemessen (siehe hierzu IRT-Testbeschreibung). Dabei wurden beide Richtungen (Up- und Downstream) getrennt betrachtet.

Der so genannte MOS-Wert (Mean Opinion Score) gibt in einer Skala von 1 bis 5 die Qualität des Gespräches an. Dies ist ein gängiges Maß für VoIP, denn es bewertet nicht nur die reine Sprachqualität sondern auch, wie gut die beiden Stellen ein (aus technischer Sicht) ungestörtes Gespräch führen können (Verzögerung der Sprachübertragung).

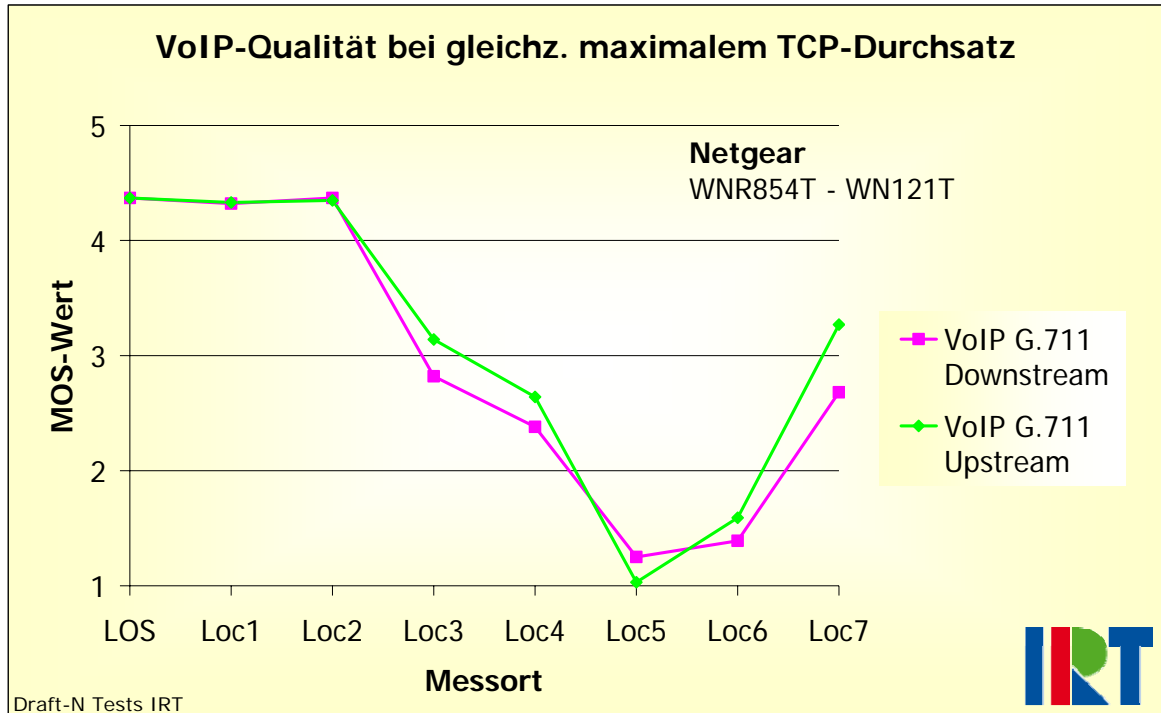


Abbildung 12: Messung der MOS-Werte für Voice over IP

Obwohl die Datenrate an jedem Messort für ein VoIP-Gespräch (64 kbit/s) ausreicht, sind die MOS-Werte an den weiter entfernten Orten (Loc5 und Loc6) sehr schlecht und auch Loc4 leidet unter hohem Jitter, welcher hier die Ursache für die schlechte Sprachübertragung ist. Man kann sagen, dass nur an den ersten drei Messorten (LOS, Loc1 und Loc2) ein Gespräch mit ISDN-Qualität zu führen ist. Gespräche mit einem MOS-Wert von 3 und darunter, die an den anderen Messorten erzielt werden, empfindet der Mensch als gestört.

3.6. Delay- und Jitterverhalten

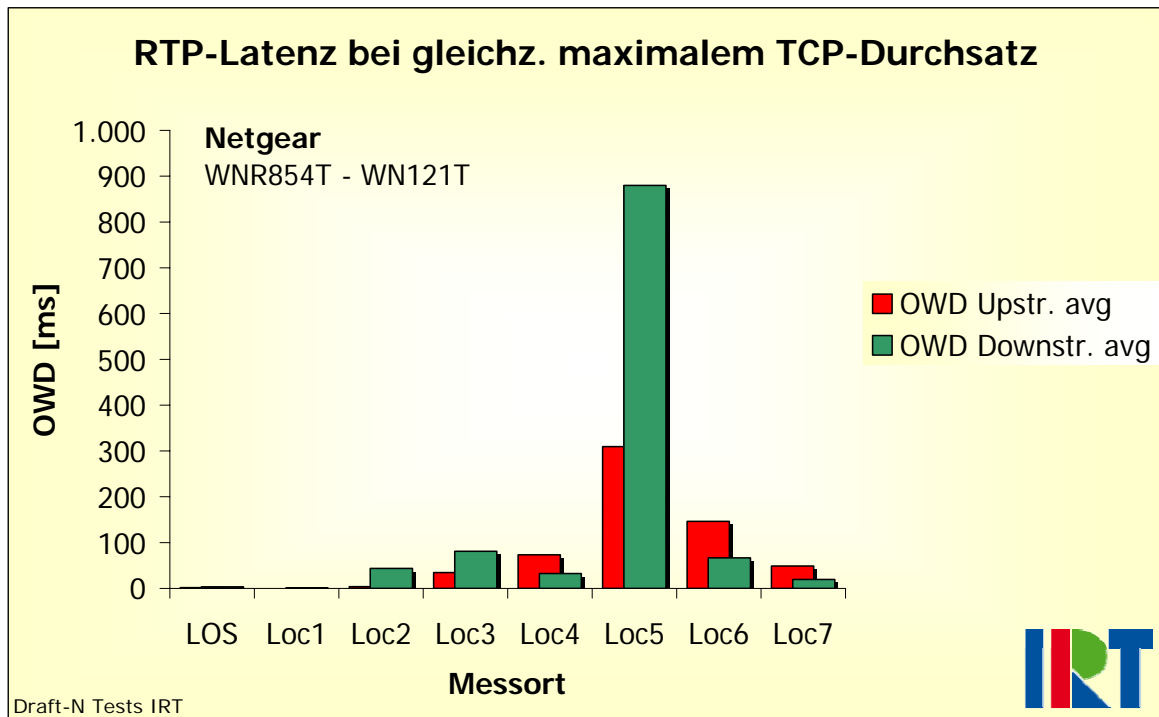


Abbildung 13: One-Way-Delay bei VoIP

Das Diagramm für das One-Way-Delay gibt ein wenig Aufschluss über die MOS-Werte aus der VoIP-Messung. Es ist offensichtlich, dass bei einer Verzögerung der Sprache von fast einer Sekunde (900ms) kein Wechselgespräch zwischen zwei Menschen mehr möglich ist. Bereits das Delay von 150ms an Loc6 kann ein Gespräch stören.

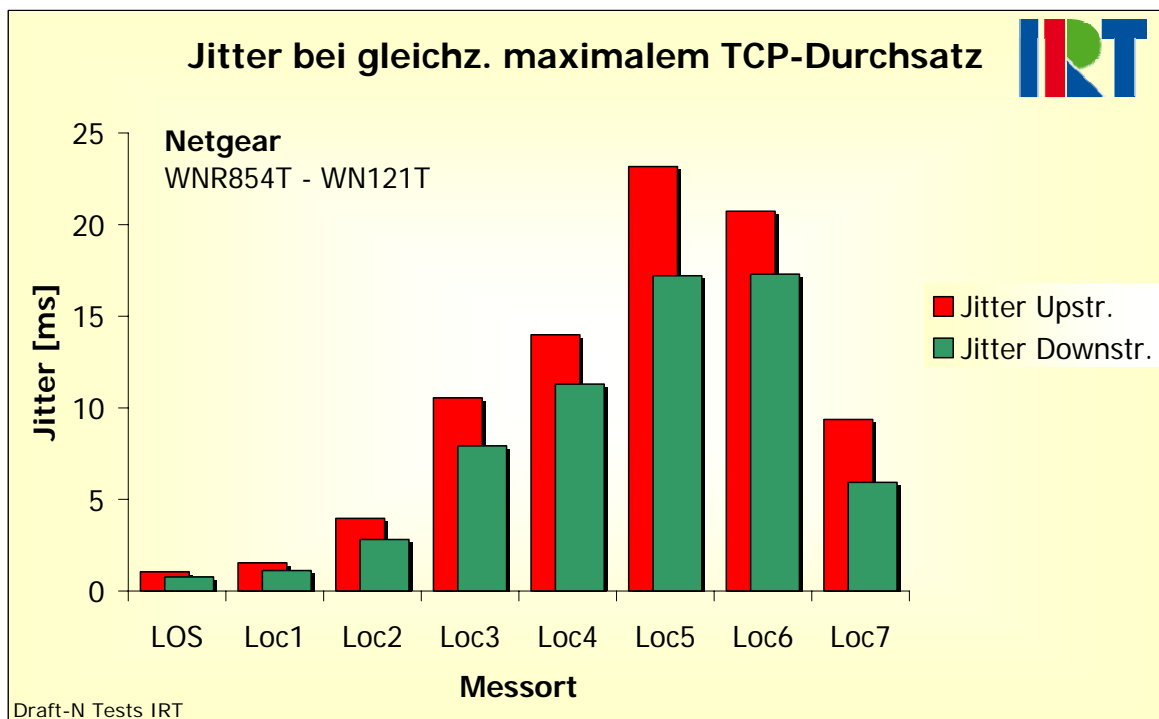


Abbildung 14: Jitterzeiten bei VoIP

Viel einflussreicher als das Delay ist bei VoIP der Jitter. Obwohl an Loc3 und Loc4 das Delay sich in Grenzen hält, sorgt der erhöhte Jitter hier für eine Minderung der Sprachqualität. Loc5 und Loc6 zeigen Jitterwerte, die für eine Sprachübertragung nicht mehr taugen und das Gespräch damit unverständlich wird.

Ähnlich wie das Delay senkt auch der Jitter (schwankender Laufzeitunterschied zwischen den einzelnen Datenpaketen) merklich die Qualität einer digitalen Sprachverbindung. Ein Delay wird ab einer gewissen Größe direkt vom Menschen als Verzögerung wahrgenommen, bei Jitter müssen in einem De-Jitterbuffer auf der Empfangsseite durch Zwischenspeicherung der eingehenden Daten nach dem FIFO-Prinzip die Laufzeitunterschiede zuerst mal ausgeglichen werden. Dadurch erhöht sich allerdings auch zusätzlich die Gesamtlaufzeit (Delay) der Daten. Bei Videostreaming über WLAN ist es wichtig, mit ausreichend großen Füllständen des De-Jitterbuffers zu arbeiten, um Störungsfreiheit der Wiedergabe auch bei schlechteren Empfangsbedingungen zu erzielen.

3.7. Echtzeit Videostreaming im drahtlosen Heimnetzwerk

Wesentlich anspruchsvoller als VoIP ist das so genannte Streamen eines Videos über WLAN. Genau wie bei VoIP sind bei diesem Übertragungstyp geringe Delay- und Jitterzeiten eine der Voraussetzungen für eine ungestörte Wiedergabe. Jedoch erfordern Videos eine wesentlich höhere Datenrate, die das WLAN ebenfalls zeitlich sehr konstant liefern muss. Im Zuge von digitalem Fernsehen über das Internet sind Videodatenraten oberhalb des DVB-T- Standards (3,75 MBit/s) keine Seltenheit mehr; neueste HD-Videos benötigen sogar bis zu 20 MBit/s.

Im Hinblick auf diese Entwicklung testet das IRT die WLAN-Router auf ihre Fähigkeit, Videos störungsfrei zu streamen. Dabei steht immer der Fall im Vordergrund, dass der WLAN-Router in einem Einfamilienhaus oder einer Wohnung eingesetzt wird und (fast) jedes Zimmer ausreichend mit WLAN versorgen soll. Es konkurrieren also die beiden Ansprüche **Reichweite und stabile Datenrate** in jedem WLAN-Router.

Der folgende Test simuliert ein Videostreaming mit fester Datenrate. Die Messsoftware misst sowohl Jitter und Delay als auch die verloren gegangenen Datenpakete (Lost Data). Steigt der Lost-Data-Wert über einen bestimmten Prozentsatz, gilt das Video als zu stark gestört und nicht mehr ansehbar. Der Test ermittelt die maximale Datenrate, bei der das Video gerade noch akzeptabel ist. Als Netzwerkprotokoll kommt beim Streaming RTP eingepackt in UDP zum Einsatz.

3.7.1. Maximale erzielbare Durchsatzraten eines einzelnen RTP/UDP-Streams

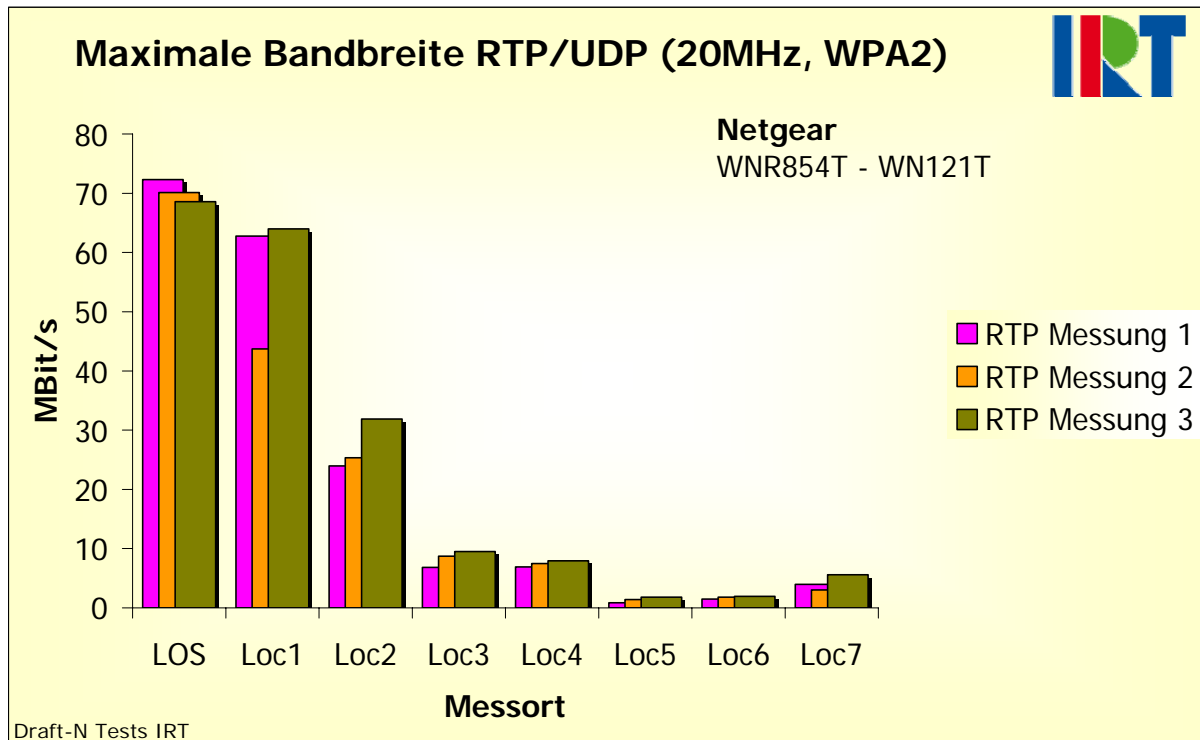


Abbildung 15: Maximal erzielbare Streaming-Raten für drahtlose Videoübertragung im Heim

Wie erwähnt, orientieren sich die RTP/UDP-Streamingraten stark an der TCP-Durchsatzmessung. Die Datenraten reichen dabei an sechs von acht Messorten für einen Stream in DVB-T Qualität aus. HDTV ist nur bis Loc2 möglich, dann allerdings auch sehr stabil. Die schwächeren Orte Loc5 und Loc6 sind für den WNR854T nur sehr bedingt streamingtauglich.

3.7.2. Maximale Anzahl an gleichzeitig streambaren IPTV-Videos

Eine etwas andere Anforderung an das WLAN stellt die Übertragung mehrerer Videos an einen Ort. Als Hintergrund steht die Aufgabe der Verteilung des Videos von einem zentralen Punkt zu einem festen Standort, von dem das Video wiederum weitergeleitet wird. Als reales Beispiel kann hier ein Mehrfamilienhaus genannt werden, in dem ein zentraler Access-Point steht, der in jeden Haushalt gleichzeitig mehrere Video-Streams überträgt.

Der Test zeigt, wie viele Videos gleicher Größe (3,75 MBit/s) an einen Punkt transportiert werden können.

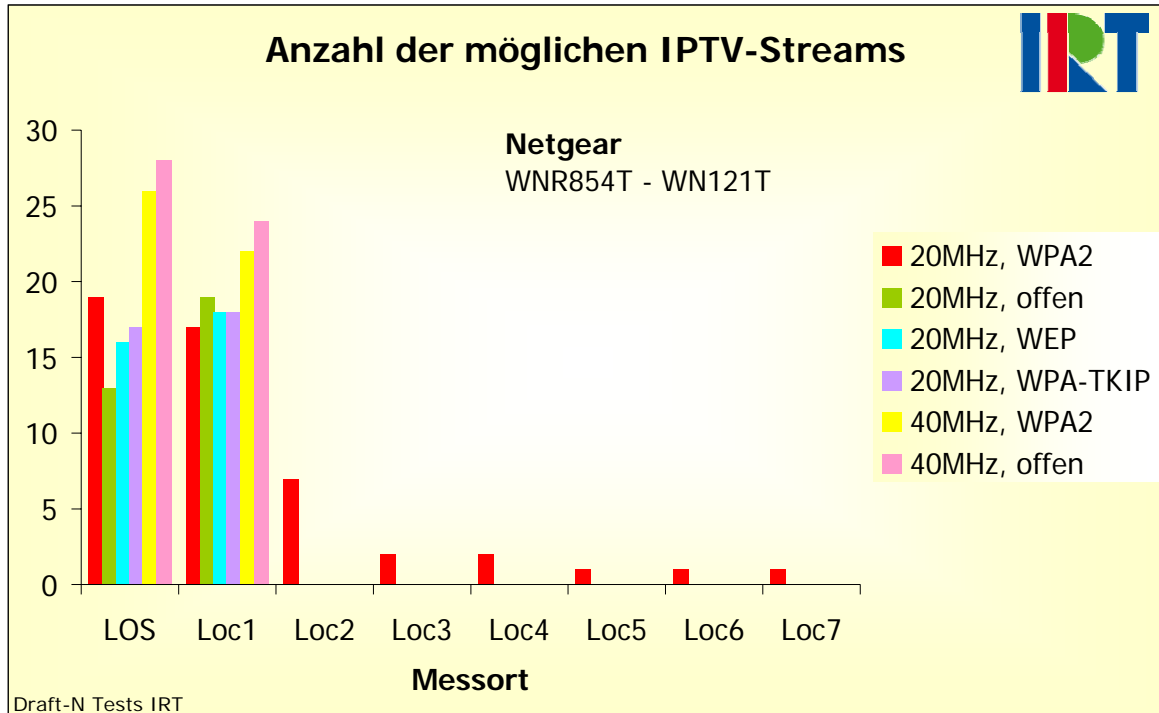


Abbildung 16: Maximale Anzahl an Videostreams

In der Praxis kann man davon ausgehen, dass an einen bestimmten Ort in einer Wohnung niemals mehr als fünf Videos gleichzeitig übertragen werden müssen. Bis zu 27 Videos an den ersten beiden Messorten sind also mehr als ausreichend, Loc2 bietet mit sieben gleichzeitigen Videos auch noch einen sehr guten Wert für die Praxis. Die folgenden Messorte können lediglich nur ein oder zwei Videos gleichzeitig empfangen. Dies reicht für eine „Videobrücke“ leider nicht aus.

4. Fazit

Der Netgear WNR854T ist ein solider Router mit allen nötigen Funktionen für ein drahtloses Heimnetzwerk. Seine Leistungen auf kurzen Distanzen sind ausgezeichnet, auch wenn sie nicht den (sowie so nur) theoretischen 300 Mbit/s entsprechen. Geht die Übertragung über größere Entfernung, reicht die Qualität der Funkverbindung nur noch für Internet, das allerdings mit DSL-tauglichen Datenraten. Streaming und VoIP erreichen nur auf kurze oder wenig gedämpfte Strecken hohe Qualitäten. SDTV-Streams hingegen können mit dem WNR854T sehr gut drahtlos im Haus verteilt werden.