

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: AVM Fritz!Box 7270 WLAN 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

Die Fritz!Box ist ein gut bekanntes Produkt der Firma AVM, die schon mehrere Jahre lang in dem Bereich ISDN und Netzwerke tätig ist. Während sich in den Anfängen das Geschäft auf Telekommunikationsanlagen (TK-Anlagen) für ISDN konzentrierte, rückte im Laufe der Jahre immer mehr das Thema DSL und VoIP in den Vordergrund. Heutige Fritz!Boxen (ugs.) vereinen meist mehrere Funktionen (DSL-Router, VoIP, DECT, Firewall, etc.) in einem Gerät. So auch die hier getestete Fritz!Box 7270 WLAN. Sie ist neben Internet-Router und DECT-Station ein WLAN-Access Point/Router, welcher nach dem 11n-Standard (Draft 2.0) funkt.



Abbildung 1: Produktfoto der Fritz!Box 7270

Wie die Produktabbildung zeigt, besitzt die Fritz!Box drei Antennen, die im Inneren von einem Atheros Chipsatz angesteuert werden. Dieser Chip erzeugt ein 2x3 MIMO-Funksignal, wodurch die Durchsatzrate im Vergleich zu 11g wesentlich erhöht werden soll. Im Clientnotebook wurde der passende USB-Stick namens „Fritz!WLAN USB-Stick N“ installiert. Gemessen wurde die Fritz!Box mit der, zum Zeitpunkt des Tests, aktuellen Firmware 54.04.49. Der Treiber des USB-Stick lief auf Version 4.0.0.48.

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.

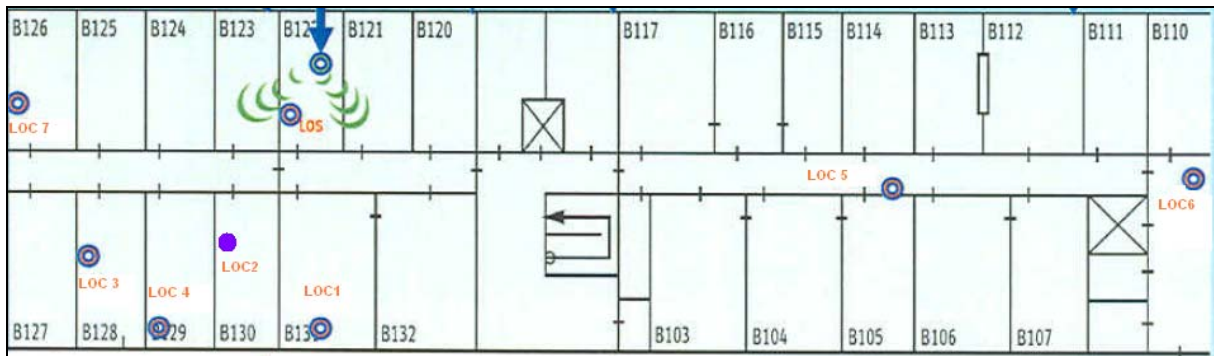


Abbildung 2: Platzierung der acht Messorte in den Räumlichkeiten des IRT

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: Beispiel einer IxChariot TCP-Durchsatzmessung

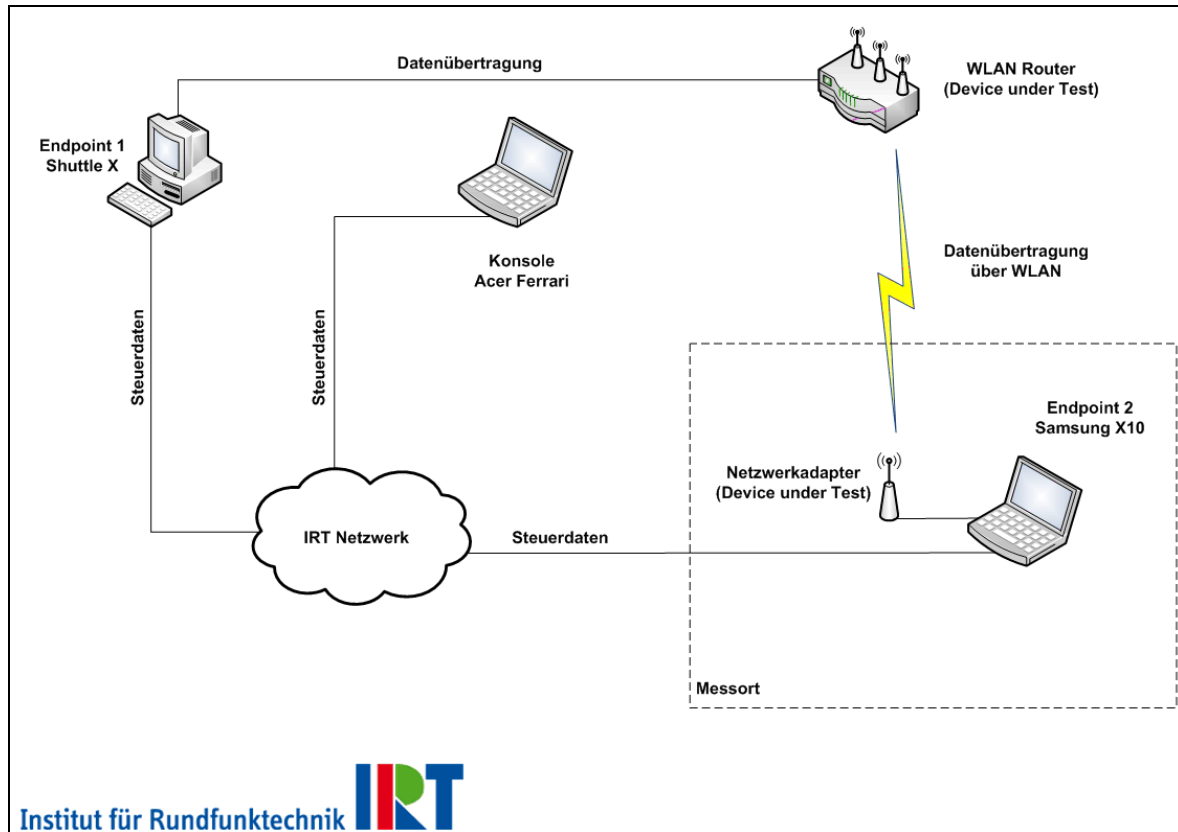


Abbildung 4: Aufbau des Messnetzwerkes am IRT

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.

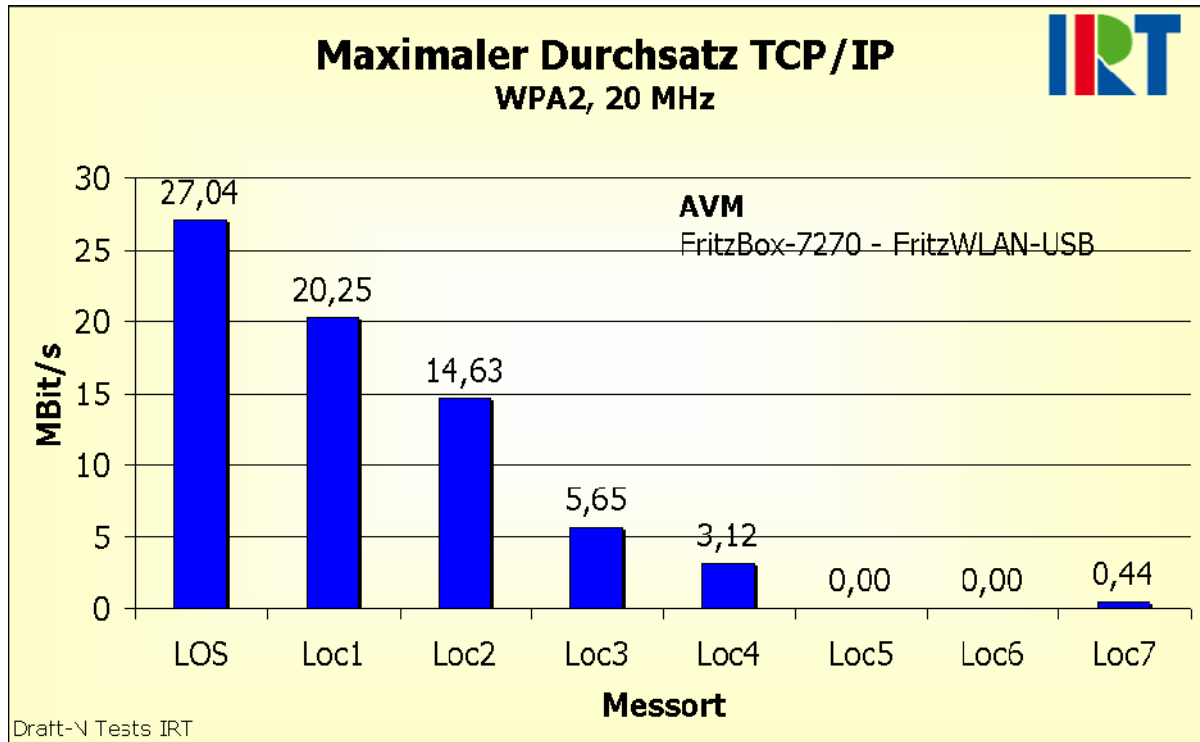


Abbildung 5: TCP-Durchsatzmessung, mit 20MHz und WPA2-Verschlüsselung

Die Fritz!Box erreicht sechs von acht Messorten, wobei die nicht erreichten Messorte (Loc5 und Loc6) die am weitest entfernten, aber nicht die am stärksten gedämpften, sind (siehe Abbildung 2). Allerdings kann man an Loc7 auch nicht von einer stabilen WLAN-Verbindung sprechen, da 0,44 MBit/s kein praxistauglicher Wert mehr ist. Bei Sichtverbindung ergibt sich bei einer einzelnen TCP-Verbindung und 20MHz Spektrum 27,04 MBit/s. Für ein 11n-Gerät, das mit 300 MBit/s Bruttodatenrate wirbt, ist dies sehr enttäuschend. Trotz des unfertigen Standards (Draft) erreichen andere getestete Geräte immerhin 50 - 70 MBit/s bei Sichtverbindung.

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 27 auf 48 Mbit/s.

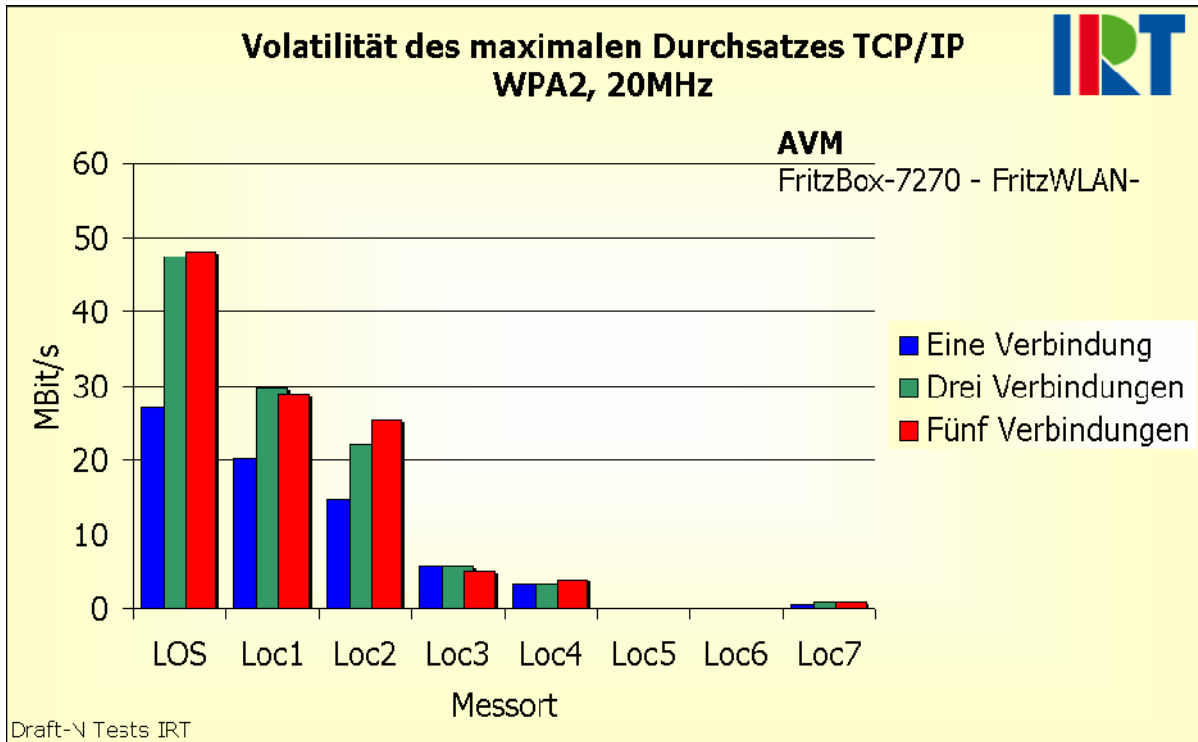


Abbildung 6: Eine Erhöhung der Durchsatzrate durch mehrere, gleichzeitige Verbindungen ist bis zum Messort Loc3 festzustellen.

Bei mehreren gleichzeitigen Verbindungen erhöhte sich der Datendurchsatz auf bis zu 48 MBit/s bei Sichtverbindung, eine deutliche Verbesserung gegenüber der TCP-Einzelverbindung. Gleiches Verhalten zeigten Loc1 und Loc2, an denen sich die Datenrate um ca. 50% erhöhte. Wegen der schwereren Empfangsbedingungen an Loc3, 4 und 7 konnte dort der Datendurchsatz nicht durch mehrere gleichzeitige Verbindungen gesteigert werden.

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.

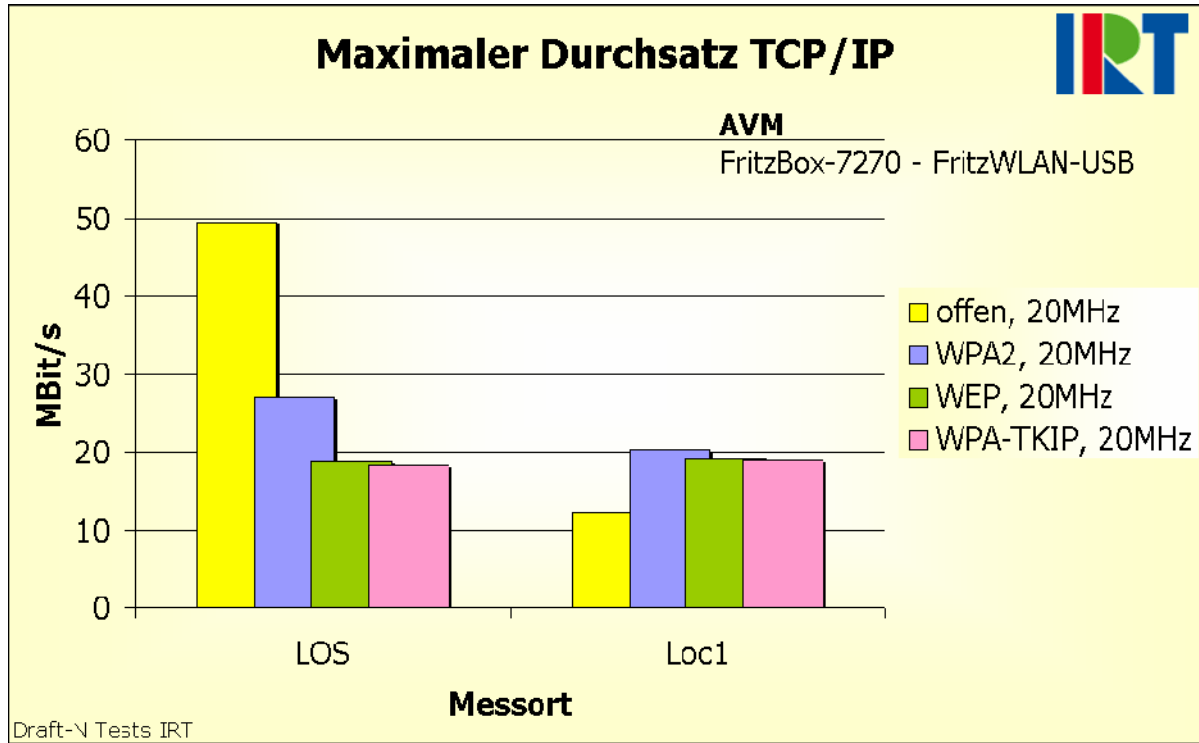


Abbildung 7: Einfluss der Verschlüsselungsart (20MHz Kanalbandbreite) auf maximalen Durchsatz

An LOS (Line-of-Sight) zeigt sich ein nachvollziehbares Bild: Ohne Verschlüsselung wird die höchste Datenrate erreicht. Sichert man jedoch das WLAN ab, reduzieren sich die Datenraten wesentlich, wobei sich zeigt, dass WPA2 etwas weniger Leistung einbüßt als WPA-Tkip oder WEP. An Loc1 dreht sich das Ergebnis um und die unverschlüsselte Datenverbindung erreicht weniger Datendurchsatz als ein abgesichertes WLAN. Im Gegensatz zu einigen anderen WLAN-Routern mit Atheros Chipsatz gibt die Fritz!Box keine Warnmeldung bei der Auswahl von WPA-Tkip oder WEP im 11n-Modus Verschlüsselung aus. Der Chip unterstützt nämlich nicht den 11n-Modus bei diesen beiden Verschlüsselungsmethoden. Die Datenraten in diesen Modi können also gar nicht von der 11n-Technik profitieren, weil der Chip auf 11g zurückschaltet.

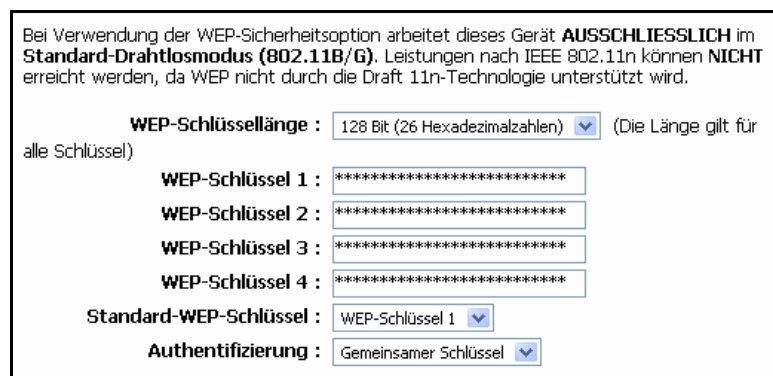


Abbildung 8: Warnmeldung bei einem anderen WLAN-Router mit Atheros Chipsatz

Im Folgenden wurden die Verschlüsselungsarten bei einem 40MHz-Spektrum untersucht. Die Fritz!Box erzeugte aber wegen des 11g/b-Modus bei WEP und WPA-Tkip kein 40 MHz-Spektrum. Die Datenraten können deshalb keine Steigerung erfahren.

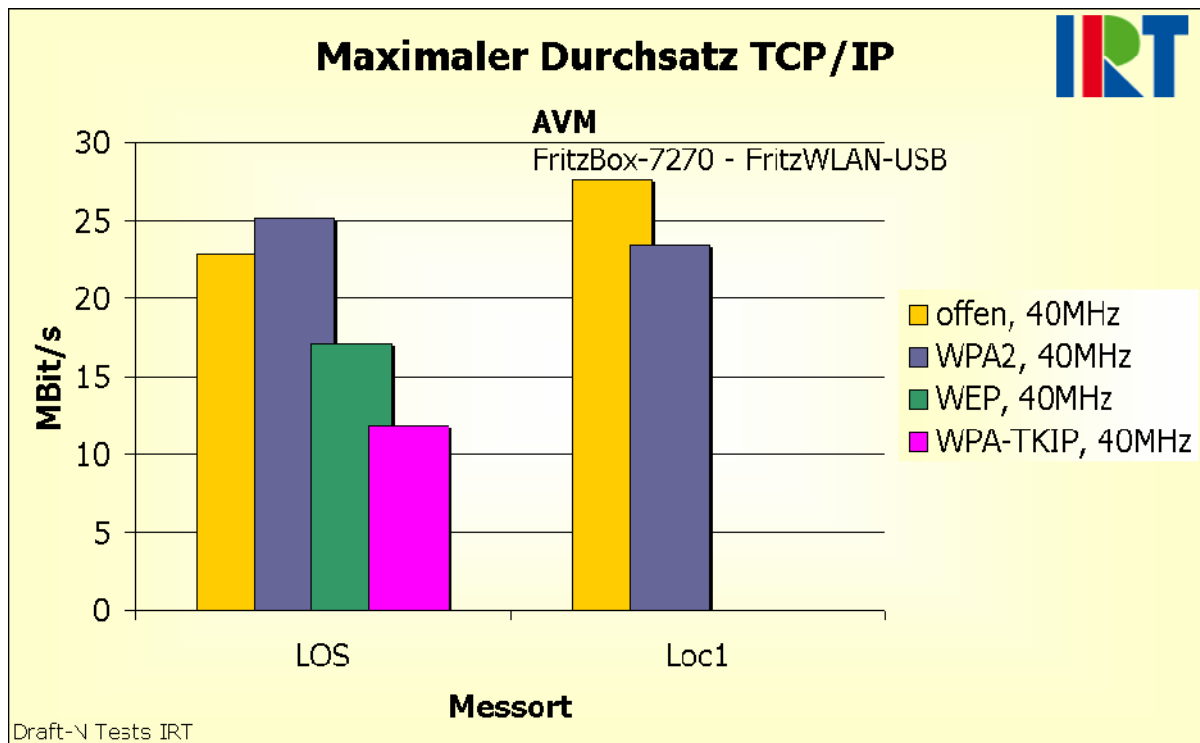


Abbildung 9: Einfluss der Verschlüsselungsart (40MHz Kanalbandbreite)

Die Messung zeigt, dass die Datenraten trotz Bandbreitenverdoppelung nicht gesteigert werden können. Lediglich das unverschlüsselte WLAN profitiert von dem verbreiterten Spektrum.

Da, allgemein gesehen, ein 40MHz-Kanal das zur Verfügung stehende Spektrum von 2,40 bis 2,48 GHz schon fast bis zur Hälfte füllt, ist eine Kanalverdoppelung in jedem Falle „gefährlich“, weil nicht ausgeschlossen werden kann, dass andere Geräte das WLAN stören oder von diesem gestört werden.



Abbildung 10: 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.

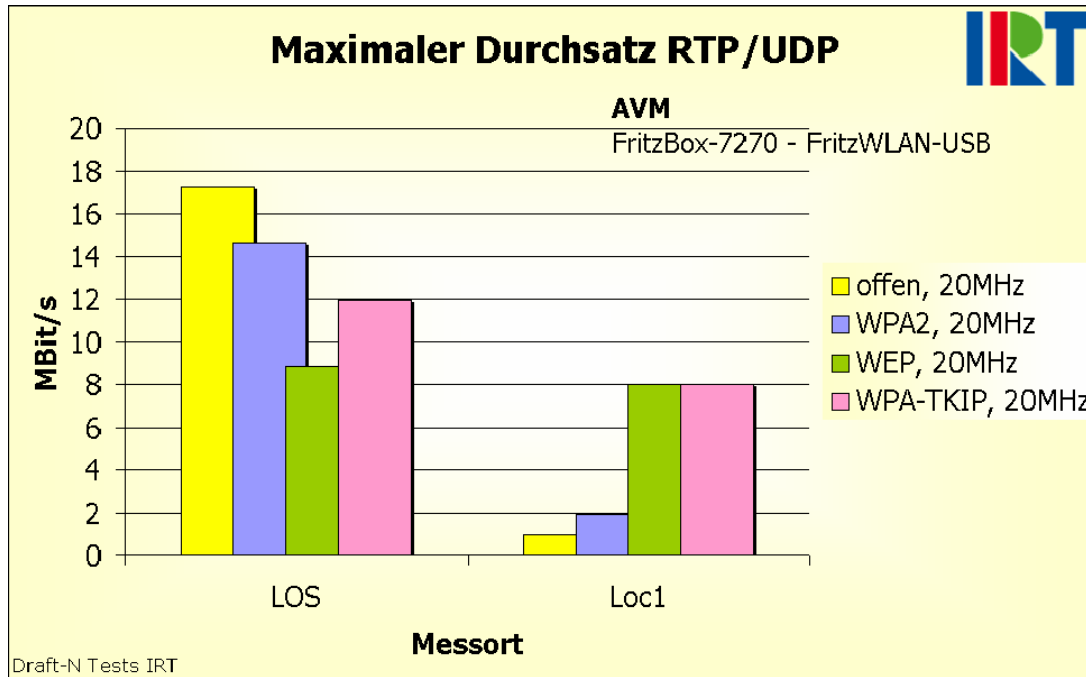


Abbildung 11: Einfluss der Verschlüsselungsart (20MHz Kanalbandbreite) auf maximalen Durchsatz

Bei Sichtverbindung zeigen sich RTP-Raten, die etwas niedriger sind als die TCP-Datenraten bei gleicher Konfiguration. Sie reichen nur knapp für einen HDTV-Stream, dessen Datenraten bei etwa 14 MBit/s liegen würde. WEP und WPA-Tkip unterliegen wiederum dem 11g-Modus und bieten keine ausreichenden Datenraten für HDTV, allerdings lassen sich SDTV-Streams (3,75 MBit/s) ohne jegliche Störung anschauen. Die Datenraten von 8 MBit/s bleiben für WEP und WPA-Tkip (11g) auch an Loc1 stabil, während offenes und mit WPA2 verschlüsseltes WLAN (11n) stark reduziert werden und nicht mal mehr für einen SDTV-Stream taugen.

3.5. VoIP Sprachqualität an verschiedenen Testorten

Als zeitgemäße Anwendung wurde über die Fritz!Box 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).

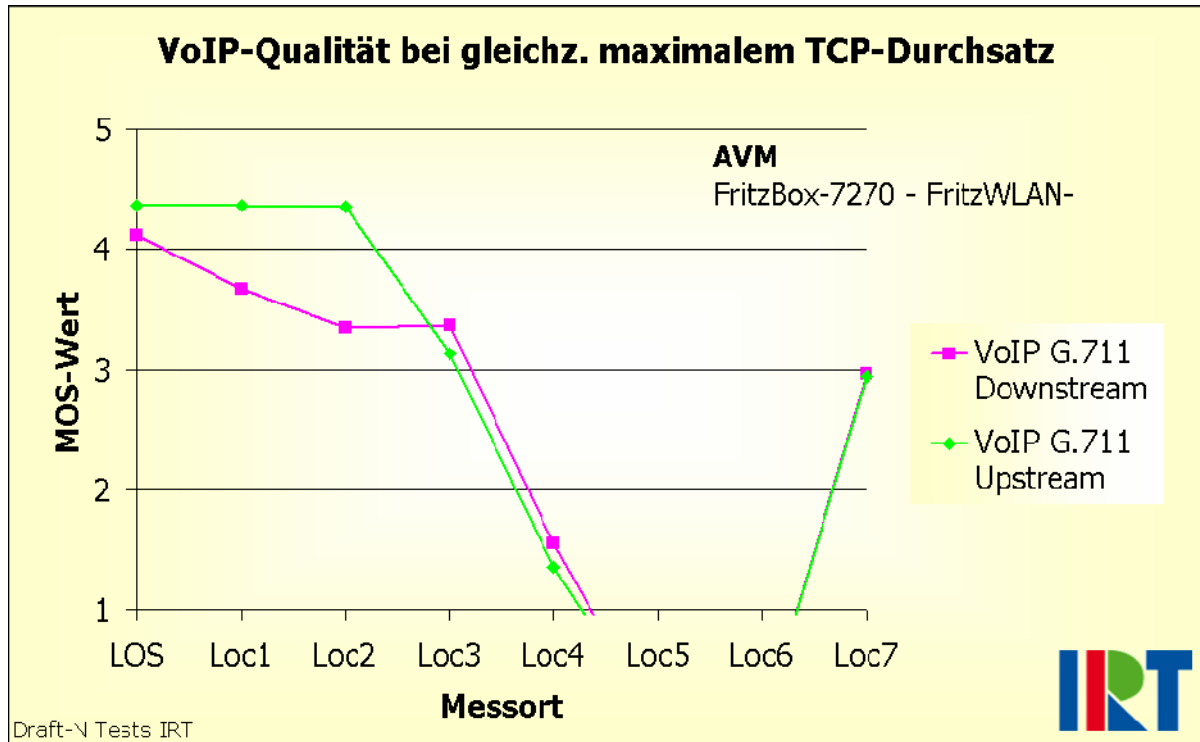


Abbildung 12: Messung der MOS-Werte für Voice over IP

Die MOS-Werte zeigen bis einschließlich Loc3 eine gute Sprachqualität in beide Richtungen und sogar der sehr schwierige Messort Loc7 erreicht noch einen MOS von 3, dies ist ausreichend für ein verständliches Telefonat. Lediglich Loc4 bietet für die Fritz!Box keine ausreichenden Empfangsbedingungen für ein ungestörtes VoIP-Gespräch. An Loc5 und Loc6 konnte wie erwähnt keine dauerhafte WLAN-Verbindung zwischen Fritz!Box und Client aufgebaut werden.

3.6. Delay- und Jitterverhalten

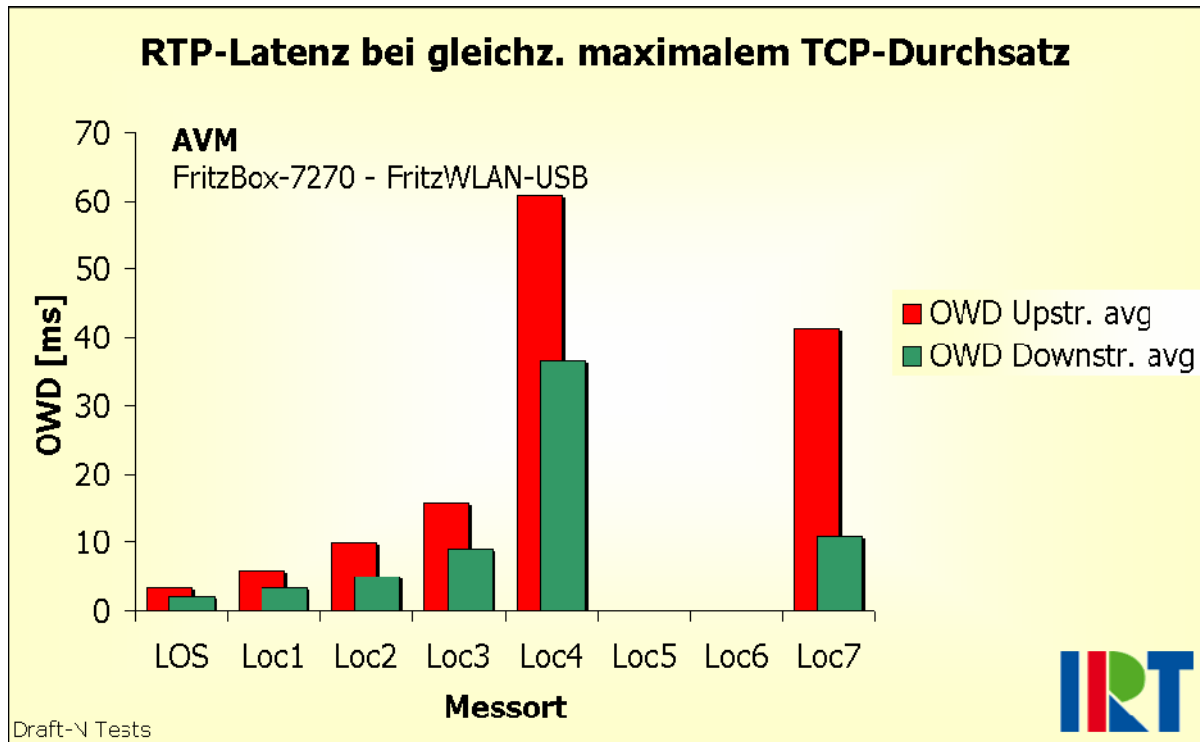


Abbildung 13: One-Way-Delay bei VoIP

Das Delay hat in den hier gemessenen Wertebereichen von 2ms bis 60 ms fast keinen merklichen Einfluss auf die Sprachqualität. Erst ab etwa 100ms bis 200ms wird ein Delay vom Menschen wahrgenommen. Dennoch zeigt die Messung, bei welchen Messorten die Fritz!Box etwas Probleme hat. Viel entscheidender für VoIP ist der im nachstehenden Diagramm aufgetragene Jitter. Dort ist zu erkennen, dass an Loc4 der Jitter fast 15ms beträgt und deshalb die Sprachqualität mindert. An Loc7 und Loc3 zeigen sich identische Jitterwerte, da aber an Loc3 das Delay wesentlich geringer ist, ergibt sich eine bessere Sprachqualität für diesen Messort.

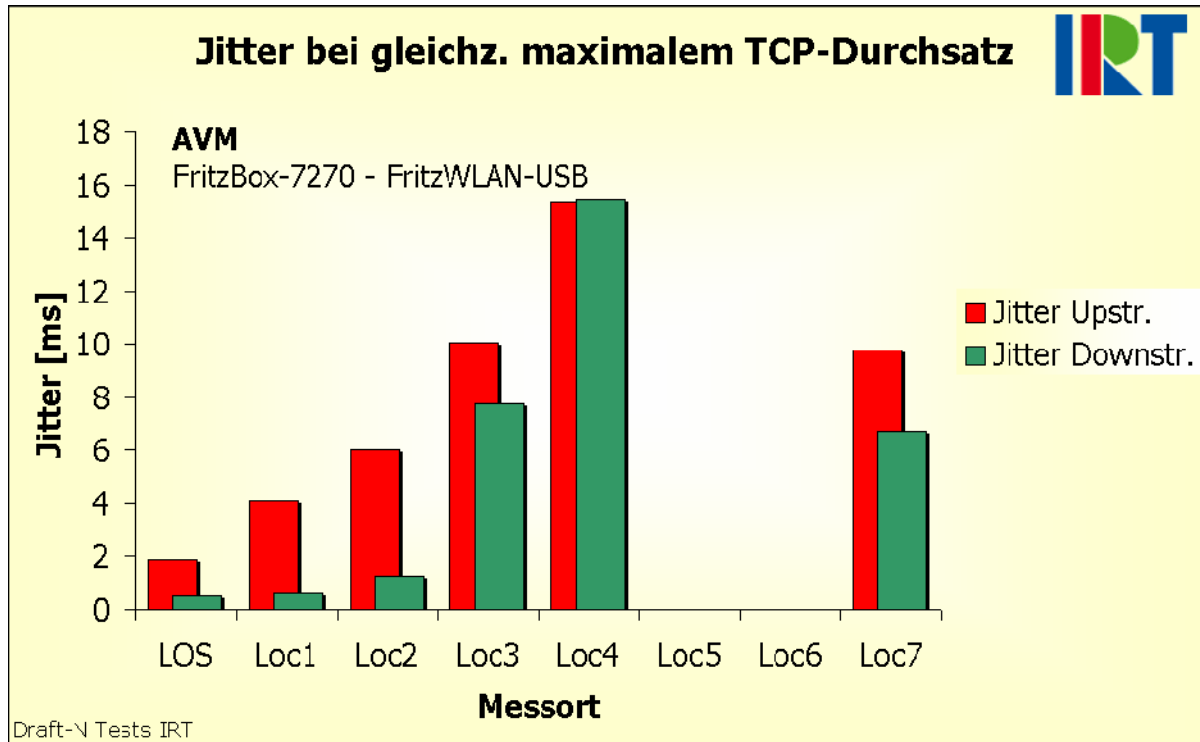


Abbildung 14: Jitterzeiten bei VoIP

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

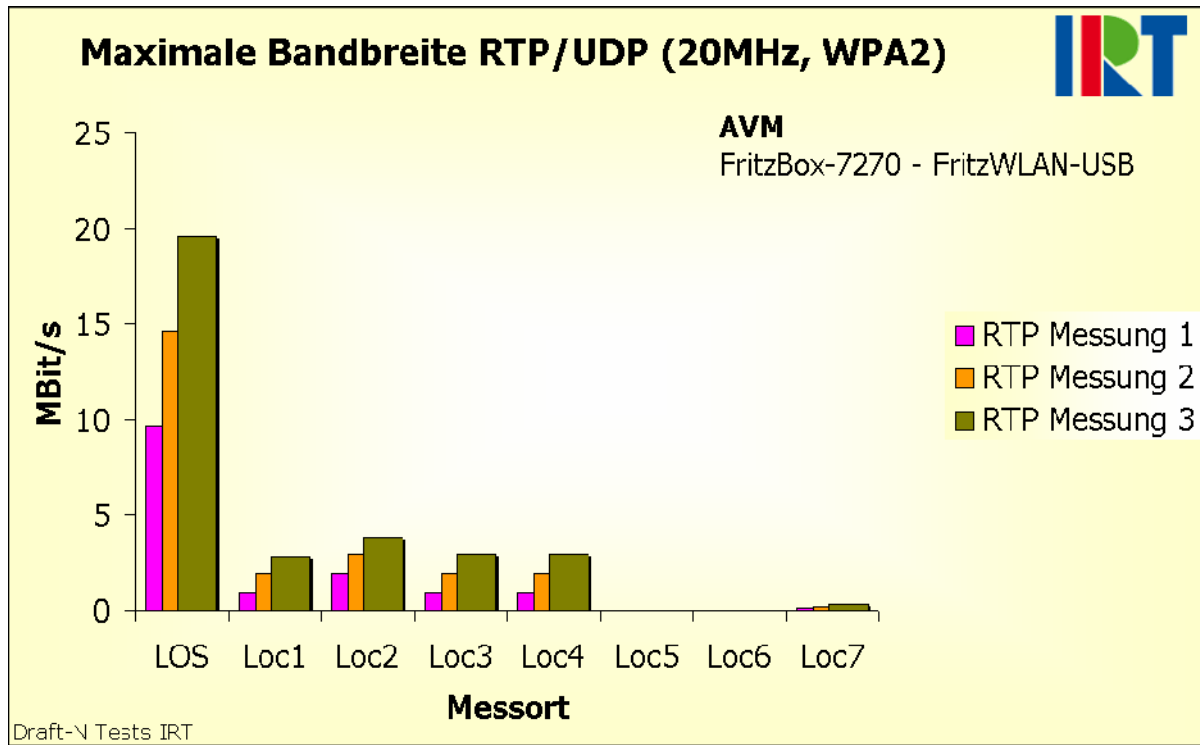


Abbildung 15: Maximal erzielbare Streaming-Raten für drahtlose Videoübertragung im Heim

Die Fritz!Box erreicht nur an LOS ausreichende Datenraten für einen HDTV-Stream. An Loc1 bis Loc4 erzielt der WLAN-Router lediglich 3...4 MBit/s, was für einen SDTV sehr knapp bemessen ist. Über WLAN gestreamte SDTV-Videos wären mit der Fritz!Box an diesen Messorten also sehr gestört und kaum anzuschauen. Die Streamingrate an Loc7 zeigt eine Datenrate von nicht mal 1 MBit/s, dies würde Videos in „YouTube-Qualität“ bedeuten.

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.

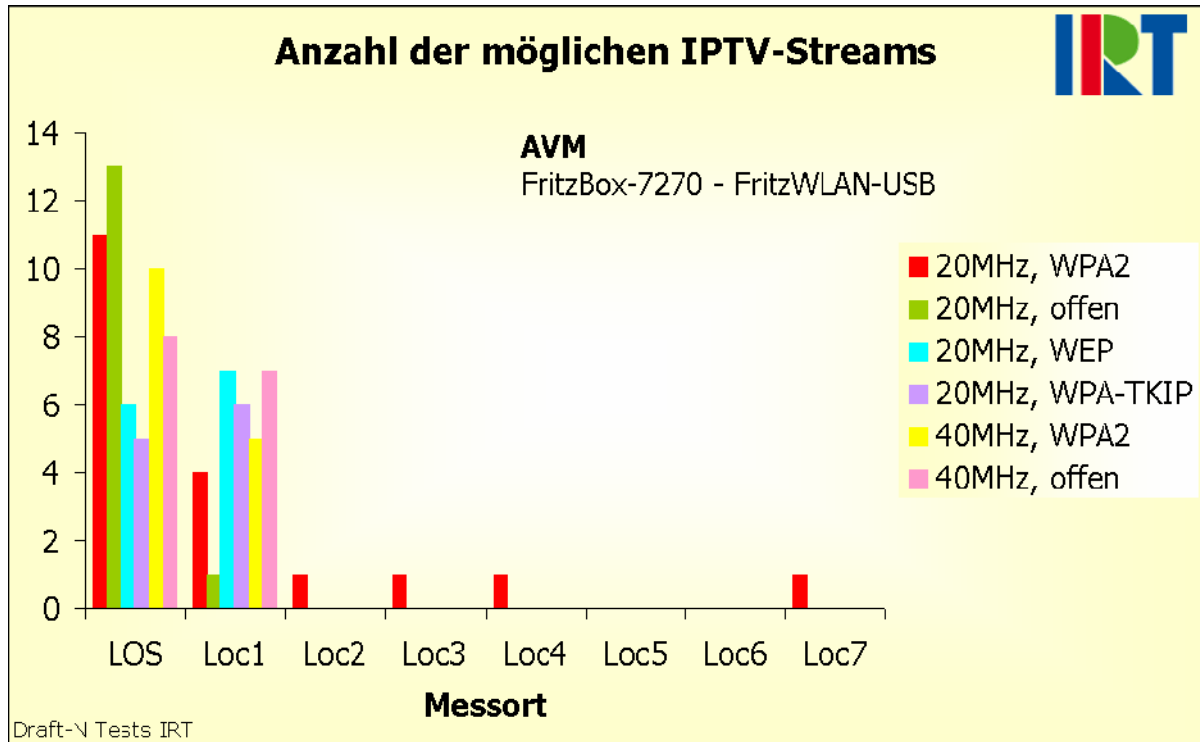


Abbildung 16: Maximale Anzahl an Videostreams

Wie erwartet, erreicht die Fritz!Box an LOS die höchste Anzahl an gleichzeitigen Videoverbindungen (3,75 MBit/s). Dort werden mit unverschlüsseltem WLAN 13 gleichzeitige Videos erreicht. Dieser Wert wird in der Praxis wohl nie ausgereizt werden. Fünf gleichzeitige Videos können sogar noch mit WEP und WPA-Tkip (11g Modus) gestreamt werden und sind ausreichend für alle Szenarien. Auch an Loc1 zeigen sich mit WPA-Tkip und WEP mehr als fünf gleichzeitige Videos. Ähnlich wie bei der TCP-Messung sind an Loc1 die Werte mit offenem WLAN und WPA2-Verschlüsselung wesentlich schlechter als mit den anderen beiden Verschlüsselungsarten. An Loc2 bis Loc7 kann die Fritz!Box nur ein oder, an Loc5 und Loc6, gar kein Video streamen.

4. Fazit

Die Fritz!Box mag aufgrund ihres großen Funktionsumfangs sehr beliebt sein. Kaum ein anderer Hersteller bietet so viele Funktionen in einem Gerät. Leider leidet der hier vom IRT getestete WLAN-Teil der Fritz!Box 7270 WLAN unter den Kinderkrankheiten des 11n-Standards und insbesondere des Atheros-Chipsatzes. Trotz des gleichen Chipsatzes erreichten andere Geräte Durchsatzraten von bis zu 50 MBit/s bei Sichtverbindung. Auch im Bereich Streaming und VoIP ist die Fritz!Box eher unterdurchschnittlich. Normaler Internetverkehr ist mit diesem Draft-N gut zu bewältigen, wenn man nicht allzu große Entfernungen zu überbrücken hat. Die Fritz!Box wird jedoch nach wie vor die erste Wahl sein, wenn es um ein „Universalgerät“ geht, da es kaum vergleichbare Produkte gibt, allerdings lässt sich sicherlich in der WLAN-Section einiges in diesem Gerät optimieren.