



Drei gewinnt

Triple-Play in Funknetzen – WLAN- und Wimax-Netze sollen heute die Anforderungen von Echtzeitanwendungen erfüllen. In unseren Real-World Labs mussten aktuelle Lösungen zeigen, ob sie den anspruchsvollen Aufgaben auch gewachsen sind.

Neben dem maximal möglichen Datendurchsatz und den Paketlaufzeiten standen vor allem die Priorisierung unterschiedlicher Verkehrsklassen sowie die unter Lastbedingungen erreichbare Sprachqualität im Mittelpunkt unserer Tests in unseren Labs an der FH Stralsund. Im vorliegenden Artikel stellen wir die Ergebnisse unseres WLAN-Tests vor. Über die Resultate des Wimax-Tests berichten wir in der kommenden Ausgabe von Network Computing.

Die Theorie zeigt, dass WLAN wie Wimax einen guten Ansatz für eine alternative »letzte Meile« bieten, bei der vor allem QoS eine immer wichtigere Rolle einnimmt. In unseren Labs sollte nun zunächst WLAN zeigen, ob es auch in der Praxis hält, was es verspricht. Im Mittelpunkt stand hier die Frage, wie gut die Hersteller die Vorgaben von IEEE 802.11e umgesetzt haben.

Das Testfeld

Das Testfeld bestand aus Lösungen, die sich in zwei verschiedene Kategorien einordnen lassen. Zum einen sind das die aus dem Heimbereich bekannten Standalone-Lösungen, bei denen sich die gesamte Steuerlogik auf einem Access-Point befindet, der wiederum direkt mit dem LAN verbunden ist. Die andere Kategorie sind Controller-basierte Lösungen. Dabei steuert eine zentrale Instanz, der Controller, eine Vielzahl von Access-Points. Die Access-Points sind nicht mehr mit dem LAN direkt verbunden, sondern kommunizieren über den Controller.

Die Vorteile Controller-basierter Lösungen sind vor allem die Skalierbarkeit sowie zentrale Konfiguration und Verwaltung von Nutzern. In der Regel meldet sich ein neu angeschlossener Access-Point automatisch beim Controller an, lädt sich die aktuelle Firmware inklusive Konfiguration herunter und beginnt mit der Arbeit. Die zentrale Verwaltung mehrerer Access-Points ermöglicht zudem eine bessere Koordination bei einem Handover-Vorgang, also beim Funkzel-

lenwechsel eines Clients. Die Verbindungsunterbrechung kann damit auf ein Minimum reduziert werden, was vor allem für den Einsatz mobiler WLAN-Telefone von Vorteil ist.

Der Mehraufwand, den die Hersteller in die Controller-basierten Lösungen stecken, spiegelt sich allerdings auch im Preis wieder. Die Controller-basierten Lösungen sind durchweg deutlich teurer als die Standalone-Lösungen. Das ist auch ein Grund dafür, dass Controller-basierte Lösungen nicht immer das Mittel der Wahl sind. Selbst wenn der Preis keine Rolle spielt, muss geprüft werden, ob die jeweilige Lösung für ein bestimmtes Szenario in Frage kommt oder nicht. Denn viele Hersteller haben ihre Controller-basierten Lösungen zu sehr auf einen bestimmten Anwendungsfall spezialisiert.

Die im Rahmen einer Ausschreibung vorgegebenen Anforderungen an die Hardware beschränkten sich auf den 802.11a/h-Übertragungsstandard, einen Bridge-Mode der Access-Points sowie einem implementierten Priorisierungsmechanismus. Dabei wurden sowohl Priorisierungen nach 802.11e als auch proprietäre Lösungen akzeptiert. Der geforderte Bridge-Mode konnte jedoch, bis auf eine Ausnahme, von keinem Hersteller in Verbindung mit der Priorisierung betrieben werden. In diesem Fall waren zusätzliche Client-Cards erforderlich.

Von Netgear haben wir den »Access Point WAG102« untersucht. Bei diesem Access-Point handelt es sich um eine günstige Standalone-Lösung. Eine Priorisierung im Bridging-Mode wurde von diesem Access-Point nicht unterstützt. Somit konnte dieser Access-Point in keinen für den Test geeigneten Client-Mode versetzt werden. Daher dienten die »Netgear WAG511 PCMCIA«-Karten als Clients.

Lancom war mit drei verschiedenen Produkten im Test vertreten. Zum Einsatz kam ein »1811 Wireless DSL«, zwei »IAP-54« sowie zwei »L-54ag Access Points«. Im Gegensatz zu den

meisten anderen Access-Points im Test unterstützten die Lancom-Access-Points eine WMM-Priorisierung auch im Bridge-Mode.

Nortel hat ebenfalls eine Controller-basierte Lösung zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich beim Controller um den »WLAN Security Switch 2380«. Bei den Access-Points handelt es sich um den »WLAN Access Point 2330«. Nortel stellte auch eigene Clients vom Typ »WLAN Mobile Adapter 2202« zur Verfügung.

Bei der Controller-basierten Lösung von Hewlett-Packard gibt es keinen separaten Controller. Statt dessen werden die eigenen modularen Switches der »ProCurve 5300xl« Serie um ein »ProCurve 5300xl Wireless Edge Services Modul« erweitert und dadurch zum WLAN-Controller. Die zur Verfügung gestellten Access-Points tragen die Bezeichnung »ProCurve Radio Port 220«. Eigene Clients wurden von HP nicht zur Verfügung gestellt. Allerdings wies HP darauf hin, dass die verwendeten Clients WMM unterstützen müssen.

Die Cisco-Lösung bestand aus einem Controller und einem Access-Point. Beim Controller handelte es sich um den »4402 Wireless LAN Controller«. Der verwendete Access-Point trägt die Gerätebezeichnung »AIR-AP1010-A-K9«. Als PCMCIA-Clients kamen »Aironet 802.11a/b/g Card Bus« zum Einsatz.

Im Fokus unserer Tests standen neben der Performance des Access-Points (AP) und der WLAN-Clients, gemessen an den maximal möglichen Datendurchsatzraten sowie den Paketlaufzeiten, vor allem die Fähigkeit, verschiedene Datenströme zu priorisieren. Nicht alle am Test beteiligten Hersteller haben dieses Verhalten nach den Vorgaben von IEEE 802.11e beschriebenen EDCA-Verfahren implementiert.

Unabhängig von der Art der Priorisierung sollte für alle Hersteller die erreichbare Sprachqualität zwischen einem Access-Point und einem WLAN-Client gemessen und dann als PESQ-

Wert berechnet werden. Zunächst haben wir die Testszenerien und Testergebnisse für den Downlink, also die Senderichtung vom Access-Point zu einem oder mehreren Clients ermittelt. Anschließend haben wir die Systeme im Uplink-Betrieb näher untersucht.

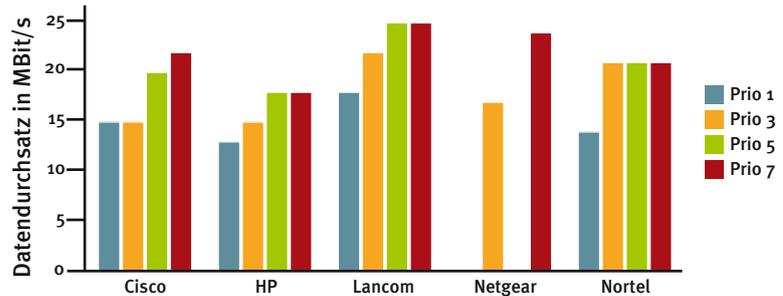
Datendurchsatz im Downlink-Betrieb

Der Performance-Test dient zur Ermittlung der maximal möglichen Datendurchsatzrate bei einem Paketverlust von weniger als einem Prozent und den Paketlaufzeiten in Abhängigkeit der gewählten Verkehrsklasse. Um die Performance des Access-Points bestimmen zu können, kommen insgesamt vier WLAN-Clients zum Einsatz. Diese haben wir auf Windows-PCs unter Verwendung der mitgelieferten Treiber installiert. Alle vier PCs verfügen über eine IP-Routing-Funktionalität. Die vom Smartbits erzeugte Datenlast wird zum Access-Point und von dort über das Wireless-Interface an die vier Clients gesendet. Um zu verhindern, dass ein einzelner WLAN-Client die maximal mögliche Datendurchsatzrate des Access-Points begrenzt, wird über jeden der vier Clients jeweils ein Viertel der Gesamtlast gesendet. Die von den Clients empfangenen Daten werden dann über deren Ethernet-Interface wieder zum Smartbits gesendet.

Eine Ausnahme stellte das Lancom-System dar. Hier war es möglich, die Access-Points im Bridge-Mode zu betreiben, ohne dabei die QoS-Funktionalität zu verlieren. Für die Lancom-Tests wurden daher anstelle der vier PCs vier Access-Points im Bridge-Mode verwendet.

Die QoS-Funktionalität wird sowohl für den Access-Point als auch für die WLAN-Clients aktiviert. Für den Test haben wir pro Hersteller vier Messläufe durchgeführt, wobei die Paketgröße konstant 512 Byte betrug, aber die Priorität des gesendeten Datenstroms pro Durchlauf erhöht wurde. Die Datenlast wird während eines Testdurchlaufes schrittweise durch den Smartbits erhöht. Dabei wird gemessen, bei welcher Datenlast für die jeweilige Priorität oder Verkehrsklasse Paketverluste auftreten und wie sich die Paketlaufzeiten verändern.

Um eine Aussage über die Paketlaufzeiten in unterschiedlichen Last-Situationen machen zu



Datendurchsatz in Abhängigkeit von der WMM-Priorität

können, muss die Erhöhung der Datenlast in geeigneten Schritten erfolgen, so dass die Paketlaufzeiten sowohl unter sehr geringer als auch unter höherer Last untersucht werden können.

Da beim WMM die Priorisierung der Verkehrsklassen durch unterschiedliche Backoff-Zeiten erfolgt, sollte der maximal mögliche Durchsatz mit der Priorität ansteigen. Durch die kürzeren Wartezeiten kann ein Paket mit hoher Priorität schneller gesendet werden und es kann effektiv mehr Zeit zum Senden der Daten genutzt werden. Daher sollte der Durchsatz eines Verkehrsstromes mit der Verkehrsklasse AC_VO (Priorität 7) am größten und für die Verkehrsklasse AC_BK (Priorität 1) am kleinsten sein.

Die Ergebnisse von Nortel zeigen jedoch nur zwei Abstufungen. Der Grund könnte darin liegen, dass die unterschiedlichen Prioritäten entweder keine unterschiedlichen Wartezeiten haben oder diese nur bei mehreren Queues zum Einsatz kommen. Im letzteren Fall hätte es aber gar keine Abstufung geben dürfen, da jeweils zur gleichen Zeit nur ein Datenstrom mit gleich bleibender Priorität übertragen wurde. Möglicherweise liegen die Backoff-Zeiten für alle Verkehrsklassen auch nur sehr nah beieinander. Prinzipiell lässt diese Erkenntnis allein daher noch keine Aussage über die Fähigkeit der Geräte zu, die vier Verkehrsklassen richtig zu priorisieren.

Mit den Netgear-Geräten wurden in der Vorbereitungsphase des Tests einzelne Testaufbauten verifiziert. Daher liegen die vorgestellten Testergebnisse für Netgear nicht für alle Tests vollständig vor. Dennoch sind die Ergebnisse von Netgear interessant und sollen soweit möglich mit einbezogen werden. Bei dem hier beschriebenen Test zeigt Netgear zwischen der Priorität 3 und der Priorität 7 sogar die größte Abstufung.

Um eine Aussage über die Paketlaufzeiten im Downlink treffen zu können, haben wir die Latenz für zwei unterschiedliche Datenraten ausgewertet. Wie bereits dargestellt, haben alle Systeme für jede der vier Verkehrsklassen eine Datendurchsatzrate von deutlich mehr als 10 MBit/s erreicht. Damit war bei einer Datenrate von 10 MBit/s keines der Systeme überlastet, so dass an diesem Punkt die Paketlaufzeiten für alle Systeme betrachtet werden können. Bei Nortel, Cisco und Lancom bewegen sich die Paketlaufzeiten für alle Systeme zwischen 0,5 und 2 ms, wobei Lancom die besten Werte erreicht hat.

Deutlich höher liegen die Paketlaufzeiten für das HP-System. Allerdings ist bei HP gut erkennbar, wie die Paketlaufzeit für höhere Prioritäten

sinkt. Für Netgear haben wir diesen Test nur in 1-Prozent-Schritten und nur für die Verkehrsklassen Voice und Best-Effort durchgeführt. Da der Durchsatz hier deutlich über 10 MBit/s lag, liegen für Netgear keine Paketlaufzeiten bei einer Datenrate von 10 MBit/s vor.

Bei einer Datenrate von 16 MBit/s liegen die Paketlaufzeiten für die Verkehrsklasse Best-Effort bei rund 0,6 ms. Für die Verkehrsklasse Voice betragen die Paketlaufzeiten bei einer Datenrate von 23 MBit/s ebenfalls nur 0,6 ms. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Paketlaufzeiten bei einer Datenrate von 10 MBit/s für beide Verkehrsklassen unter 0,6 ms liegen.

Weiterhin haben wir zum Vergleich die Paketlaufzeiten bei der jeweils ermittelten Durchsatz-Datenrate dargestellt. Als Durchsatz wird die maximal mögliche Datenrate bezeichnet, bei der das jeweilige System weniger als ein Prozent an Paketverlusten erleidet. Damit sollte untersucht werden, wie stark die Paketlaufzeiten unter Auslastung der maximalen Bandbreite ansteigen. Nortel und Lancom sind in der Lage, die Paketlaufzeiten bei deutlich unter 3 ms zu halten.

Auffällig ist auch hier wieder das HP-System. Außer für die Priorität 5 steigen die Paketlaufzeiten deutlich an. Für die Priorität 1 steigen diese sogar auf fast 350 ms an. Cisco erlaubt sich nur einen Ausreißer für die Priorität 5.

Für Netgear als Vorab-Testsystem liegen für diesen Test nur Werte für Priorität 3 und Priorität 7 bei der Durchsatz-Datenrate vor. In beiden Fällen beträgt die Paketlaufzeit hier unter 1 ms. Netgear liefert somit die besten Werte für die Laufzeiten.

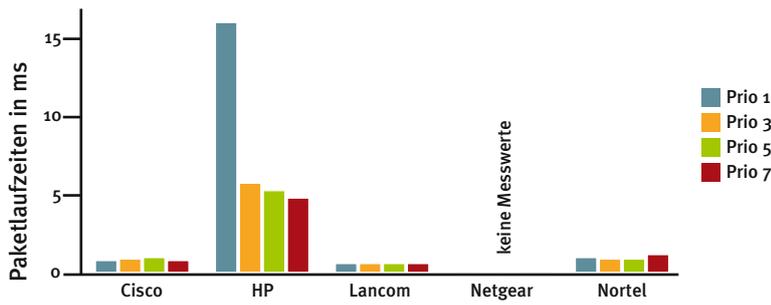
Priorisierung im Downlink-Betrieb

Das Ziel des Tests ist die Ermittlung von Paketverlusten sowie der Paketlaufzeiten für unterschiedlich priorisierte Verbindungen in Abhängigkeit der Paketgröße. Als Topologie dient auch hier der oben vorgestellte Testaufbau.

Wir haben verschiedene Testdurchläufe mit jeweils unterschiedlichen Paketgrößen gemacht. Während eines Durchlaufes ist die Paketgröße konstant und die Last wird auf allen Verbindungen schrittweise erhöht. Durch die Auswertung des Paketverlustes der verschieden priorisierten Verbindungen kann anschließend eine Aussage über das Priorisierungsverhalten des Systems gemacht werden. Grundsätzlich ist ein Verdrängungsverhalten zu erwarten, das heißt bei niedrig priorisierten Verbindungen sollten deutlich früher und stärker Paketverluste auftreten als bei

DAS TESTFELD

- ◆ Cisco 4402 Wireless LAN Controller, AIR-AP1010-A-K9, Aironet 802.11a/b/g Card Bus,
- ◆ Hewlett-Packard ProCurve 5300xl mit ProCurve 5300xl Wireless Edge Services Modul, ProCurve Radio Port 220,
- ◆ Lancom 1811 Wireless DSL, IAP-54, L-54ag Access Points,
- ◆ Netgear Access Point WAG102 und WAG511 PCMCIA-Karten,
- ◆ Nortel WLAN Security Switch 2380, WLAN Access Point 2330, WLAN Mobile Adapter 2202.



Paketlaufzeiten im Downlink bei 10 MBit/s

höher priorisierten Verbindungen. Ein ähnliches Bild sollten auch die Ergebnisse der Paketlaufzeiten darstellen, das heißt Pakete niedrig priorisierter Verbindungen haben längere Laufzeiten als Pakete höher priorisierter Verbindungen. Alle fünf getesteten Systeme unterstützen den im IEEE 802.11e als EDCA beschriebenen WMM-Mechanismus.

Lancom zeigte bei 64-Byte-Paketen gute Ergebnisse. Durch die 10-Prozent-Schritt-Messung ist nachweisbar, dass Lancom die Priorisierung für alle vier Verkehrsklassen beherrscht. Für das Lancom-System ist nachweisbar, dass die im Vergleich zum niedrig priorisierten Flow höher priorisierten Verbindungen keinen Paketverlust aufweisen, so lange der niedrig priorisierten Flow nicht 100 Prozent seiner Pakete verliert. Die Verbindung mit der höchsten Priorität verliert erst Pakete, nachdem sich alle anderen Verbindungen der 100-Prozent-Marke genähert haben. Damit erfüllt Lancom die Erwartungen an dieses TestszENARIO. Die Forderung nach einem 100-prozentigen Paketverlust hängt zumindest bei Lancom mit dem WMM-Mechanismus zusammen. Dieser verfügt über kein Bandbreitenmanagement, durch das einer Verbindung ein minimaler Durchsatz garantiert werden kann.

Für Cisco, HP und Netgear ist bei dieser Paketgröße hingegen keine Priorisierung erkennbar, das heißt, alle Verbindungen verlieren gleich viele Pakete. Die Priorisierung von Nortel zeigte eine schwache Unterscheidung von drei Prioritäten. Cisco unterscheidet nur zwischen drei verschiedenen Prioritäten. Für HP und Nortel sind vier Unterscheidungen erkennbar, allerdings verlieren Verbindungen mit hoher Priorität deutlich zu früh. Bei Netgear sind in für den Downlink nur zwei anstatt der erwarteten vier Prioritätsstufen erkennbar.

Wie auch schon bei kleineren Paketgrößen liefert Lancom die besten Ergebnisse für 1518 Byte. Aber auch Cisco fällt bei dieser Paketgröße durch eine sehr saubere Verdrängung der Verbindungen mit niedriger Priorität positiv auf. Allerdings hatte Cisco ab einer Gesamtlast von 80 MBit/s deutliche Performanceprobleme, so dass der Paketverlust auch bei der höchsten Priorität auf fast 100 Prozent ansteigt. HP hatte ein Problem mit großen Paketen. Das System hatte Schwierigkeiten mit der Priorisierung der Verkehrsklassen. Eine eindeutige Unterscheidung der Verkehrsklassen war nur schwer erkennbar. Vielmehr tre-

ten die Paketverluste abwechselnd auf allen vier Verbindungen auf.

Netgear zeigte auch für 1518-Byte-Pakete nur zwei von vier Prioritäten. Die Priorisierung bei Nortel begann für diese Paketgröße zunächst viel versprechend. Der Paketverlust für die niedrigste Priorität stieg bei einer Gesamtlast von 30 MBit/s stark an, ohne dass die drei anderen Verbindungen davon beeinträchtigt wurden. Bei weiter ansteigender Last war eine Unterscheidung bei den Paketverlusten der drei höchsten Prioritäten jedoch nur noch schwer erkennbar.

Paketlaufzeiten unterschiedlich priorisierter Verbindungen

Bei Lancom ist bei der Messung der Paketlaufzeiten mit unterschiedlich priorisierter Verbindungen und 64-Byte-Paketen deutlich erkennbar, dass die Paketlaufzeiten zunächst für die Priorität 1 stark ansteigen. Bei einer Datenrate von insgesamt 9 MBit/s steigen dann auch die Paketlaufzeiten für die Priorität 3 an. Der weitere Verlauf und damit der Anstieg der Paketlaufzeiten für die Prioritäten 5 und 7 sind nicht erkennbar. Es lässt sich jedoch nachweisen, dass die Priorisierung auch für diese beiden Verkehrsklassen richtig funktioniert.

Für Cisco, HP und Netgear konnte bei den Paketverlusten keine Priorisierung für 64-Byte-Pakete nachgewiesen werden. Die Betrachtung der Messergebnisse zeigt, dass die Systeme zumindest die Priorität 1 durch längere Paketlaufzeiten benachteiligen. Eine Unterscheidung der Paketlaufzeiten für die höheren Prioritäten ist nicht erkennbar. Nortel hingegen zeigte eine deutliche Priorisierung der Paketlaufzeiten, wobei diese für die Verbindung mit der höchsten Priorität

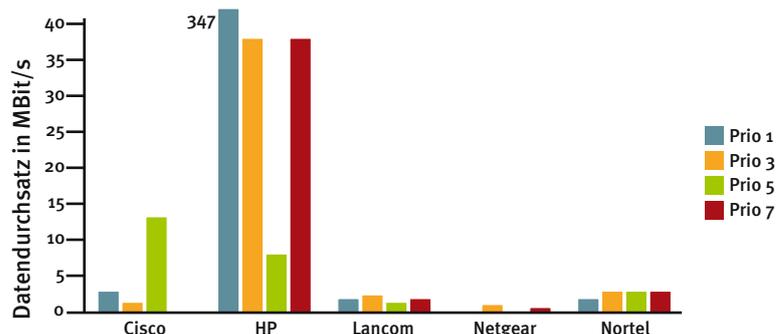
am niedrigsten sind. Auch bei der Messung der Paketlaufzeiten von unterschiedlich priorisierten Verbindungen bei einer Paketgröße von 512 Byte erreichte Lancom gute Ergebnisse. Die saubere Priorisierung ließ sich auch bei den Paketlaufzeiten für 512 Byte große Pakete beobachten. Lancom schaffte es als einziges System im Test, die Paketlaufzeiten für die höchste Priorität bis zu einer Gesamtlast von 100 MBit/s nahezu unverändert zu halten.

Cisco unterscheidet, wie auch schon für die Paketverluste aufgezeigt, nur zwischen drei Prioritätsstufen. Die Prioritäten 5 und 7 wurden gleich behandelt. HP unterscheidet vier Prioritäten, wobei die Paketlaufzeiten wie erwartet zunächst für die Verbindungen mit den niedrigen Prioritäten ansteigen. Es ist aber erkennbar, dass die Paketlaufzeiten der höchsten Priorität bereits bei einer Gesamtlast von 30 MBit/s um die 500 ms betragen.

Netgear zeigte eine deutliche Unterscheidung der Priorität 1 von den höheren Prioritäten, indem die Paketlaufzeit des am niedrigsten priorisierten Flows stark ansteigt. Wie auch schon für Cisco gezeigt, ist auch bei Netgear der Verlauf der Paketlaufzeiten für die beiden höchsten Prioritäten gleich. Nortel unterscheidet bei dieser Paketgröße ebenfalls zwischen vier verschiedenen Prioritäten. Allerdings ist erkennbar, dass auch die Paketlaufzeiten für die höchste Priorität bereits bei weniger als 30 MBit/s Gesamtlast auf rund 50 ms ansteigen. Da diese Verbindung im realen Einsatz für die Übertragung von Sprachdaten dienen soll, sollte das System in der Lage sein, die Paketlaufzeiten für diese Verbindung bis zu einer Gesamtlast von 100 MBit/s auf einem niedrigen Niveau zu halten.

Schließlich soll die Priorisierungsleistung der fünf Hersteller noch anhand der Paketlaufzeiten bei 1518 Byte großen Paketen betrachtet werden. Wie auch schon für die Paketgrößen 64 und 512 Byte kann Lancom durch eine exakte Priorisierung der vier Verbindungen durch unterschiedliche Paketlaufzeiten überzeugen. Auch bei 1518-Byte-Paketen ist das System in der Lage, die Paketlaufzeiten für die Verbindung mit der höchsten Priorität bis zu einer Gesamtlast von 100 MBit/s nahezu unverändert zu halten.

Die Cisco-Teststellung priorisierte die vier Verbindungen durch unterschiedliche Paketlaufzeiten. Bei einer Gesamtlast von 70 MBit/s be-



Paketlaufzeiten im Downlink bei der maximal möglichen Datenrate

trug die Paketlaufzeit für die Priorität 7 nur rund 3 ms. Erst bei weiter zunehmender Last stieg die Paketlaufzeit stark an. Dass HP ein Problem mit großen Paketen zu haben scheint, wurde bereits bei der Auswertung der Paketverluste für unterschiedlich priorisierte Verbindungen erwähnt. Auch bei der Auswertung der Paketlaufzeiten für den Testdurchlauf mit 1518 Byte großen Paketen lässt sich das Verhalten nachweisen.

Während Netgear beim Paketverlust nur zwei der vier Prioritätsstufen aufweist, können bei Betrachtung der Paketlaufzeiten drei Stufen erkannt werden. Es fällt allerdings auf, dass der Anstieg der Paketlaufzeit bei den obersten drei Prioritäten gleichzeitig erfolgt. Bei Nortel ist zu bemerken, dass bei einer Gesamtlast von 70 MBit/s und mehr die durchschnittlichen Paketlaufzeiten für Verbindungen höherer Priorität auch schon mal über denen von Verbindungen mit niedrigerer Priorität liegen.

Sprachqualität im Downlink-Betrieb

Das Ziel des Sprachqualitätstests ist die Ermittlung der Sprachqualität in Form eines PESQ-Wertes bei unterschiedlicher Hintergrundlast. Für diesen Test werden durch den Abacus-5000 zeitgleich fünf SIP-VoIP-Verbindungen erzeugt. Währenddessen ermittelt der Abacus einen PESQ-Wert als Maß für die Qualität der Sprachverbindungen. Anschließend wird durch den Smartbits jeweils für 60 Sekunden ein Hintergrundverkehr der Priorität Best-Effort erzeugt. Die Datenrate des Hintergrundverkehrs wird zunächst mit dem im Downlink ermittelten Durchsatz des Systems festgelegt.

Um eine Aussage über die Sprachqualität in einer extremen Lastsituation treffen zu können, haben wir den Test zusätzlich mit einer Hintergrundlast von 50 MBit/s und 99 MBit/s durchgeführt. Als Codec für die Sprachverbindungen haben wir G.729 verwendet, der trotz geringem Bandbreitenbedarf noch eine gute Sprachqualität ermöglicht.

Zur Bestimmung eines PESQ-Referenzwertes haben wir den Ausgang und den Eingang des Abacus direkt miteinander verbunden. Der beste PESQ-Wert, der mit Hilfe des G.729-Codex vom Abacus ermittelt werden konnte, betrug 3,482. Jedes getestete System erreichte im unbelasteten Zustand den ermittelten PESQ-Referenzwert. Die Betrachtung der Messergebnisse zeigt, dass die Sprachqualität bei Nortel bereits bei einer dem Durchsatz des Systems entsprechenden Hintergrundlast beeinträchtigt wird. Die Systeme von HP, Cisco und Lancom halten den PESQ-Wert auf dem maximalen Niveau. Bei einer Hintergrundlast von 50 MBit/s ist für Nortel keine Veränderung gegenüber dem PESQ-Wert bei Throughput-Last feststellbar. Das Cisco-System zeigt hier eine kleine Verringerung des PESQ-Wertes. Die Werte für Lancom und HP bleiben auf dem Niveau des Referenzwertes.

In der rechten Spalte oben sind die PESQ-Werte bei einer Hintergrundlast von 99 MBit/s

PESQ-WERTE IM DOWNLINK

	Best-Effort-Hintergrundlast durch Smartbits erzeugt		
	PESQ	50 MBit/s Last PESQ	99 MBit/s Last PESQ
Nortel	2,824	2,824	-
HP	3,482	3,482	3,170
Cisco	3,482	3,457	-
Lancom	3,482	3,482	3,431

aufgeführt. Die Datenrate wurde so gewählt, um das Ergebnis nicht durch eine Überlastung des 100 MBit/s fähigen Ethernet-Interfaces zu verfälschen. Für die fünf zeitgleichen Sprachverbindungen ist bei dem verwendeten Codec 1 MBit/s zur Übertragung ausreichend. Wie weiter erkennbar ist, enthält die rechte Spalte zwei Striche. In diesen beiden Fällen ist die Fehlerrate so hoch beziehungsweise die Sprachqualität so schlecht geworden, dass der Abacus die Sprachverbindungen abgebrochen hat.

Bei einer vernünftigen Priorisierung der Sprachdaten wäre dies nicht geschehen, wie es das Lancom-System beweist. Gegenüber dem Ausgangswert von 3,482 ist die Qualität der Sprachverbindungen selbst bei einer hohen Last nahezu unverändert geblieben. HP liegt hier mit 3,17 knapp hinter Lancom.

Für Netgear als Vorab-Testsystem liegen für diesen Test keine Ergebnisse vor. Auf Grund der schlechten Priorisierungsleistung wäre auch bei diesem Test mit einer starken Beeinträchtigung der Sprachqualität zu rechnen gewesen.

Messungen im Uplink-Betrieb

Die Messungen für den Uplink waren etwas problematisch. Bereits bei den Vorab-Tests mit dem Netgear-System konnte, unter Verwendung des vom Hersteller mitgelieferten Windows-Treibers, keinerlei Priorisierung beobachtet werden. Allerdings funktionierte die Priorisierung unter Verwendung des Open-Source-Treibers »madwifi« und einem Linux-System mit IP-Routing-Funktionalität. Zu diesem Zeitpunkt sind wir davon ausgegangen, dass die Ursache im Windows-Treiber von Netgear zu suchen sei.

Nachdem die im Rahmen der Ausschreibung von den einzelnen Herstellern zur Verfügung gestellten Systeme aber ebenfalls keine Priorisierung auf dem Uplink zeigten, konnte es sich nicht um ein Netgear-spezifisches Problem handeln. Das Problem der fehlerhaften Priorisierung im Uplink ist den Herstellern zum Teil bekannt. So handelt es sich laut Aussagen von Nortel um ein Problem, das nur beim Routing oder Bridging unter Windows auftritt. Dabei sollen die vorhandenen Windows-Systemfunktionen die Hauptschuld tragen und eine Priorisierung von WMM-Daten durch den Treiber verhindern. Eine Lösung für dieses Problem ist nicht bekannt.

Statt dessen wird von den Herstellern auf das zukünftige Windows-Vista verwiesen, unter welchem dieses Problem nicht mehr existieren soll. Da für die Messungen mit Hilfe des Smart-

bits aber eine WMM-Priorisierung von Clients im Routing-Modus erforderlich war, konnten wir die Tests nicht wie geplant durchführen.

Obwohl zu diesem Zeitpunkt bereits bekannt war, dass die Priorisierung unter Linux und mit dem Open-Source-Treiber funktioniert, haben wir das Windows-Testsystem für den Priorisierungstest absichtlich nicht durch ein Linux-System ersetzt. Der Sinn dieser Tests war schließlich, die Hersteller mit den eigens bereitgestellten Windows-Treibern und nicht mit Open-Source-Produkten zu testen.

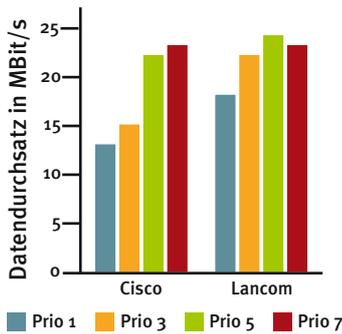
Performance im Uplink-Betrieb

Der Test dient zur Ermittlung der maximal möglichen Datendurchsatzrate bei einem Paketverlust von unter einem Prozent und den Paketlaufzeiten in Abhängigkeit der gewählten Verkehrsklasse. Für den Uplink-Test kommt nur ein WLAN-Client zum Einsatz, da hier die Performance des Clients selbst und nicht des Access-Points bestimmt werden soll. Als WLAN-Clients haben wir, sofern vorhanden, die vom Hersteller mitgelieferten Clients verwendet. Wie im Downlink-Test kommt auch hier ein Windows-Rechner mit IP-Routing-Funktionalität zum Einsatz. Der Treiber der PCMCIA-Karte wird ebenfalls auf diesem Windows-System installiert. Während des Tests werden die Daten vom Smartbits zunächst an den WLAN-Client geschickt. Dieser sendet die Daten dann über das Wireless-Interface an den Access-Point.

Auch hier stellte das Lancom System wieder eine Ausnahme dar. Wie schon im Downlink-Test wurden die Access-Points im Bridge-Mode betrieben, ohne dass diese ihre QoS-Funktionalität verloren.

Die QoS-Funktionalität wird sowohl für den Access-Point als auch für die WLAN-Clients aktiviert. Für den Test haben wir pro Hersteller vier Durchläufe gemacht, wobei die Paketgröße jeweils 512 Byte betrug, aber die Priorität des gesendeten Datenstroms erhöht wurde. Die Datenlast wird bei diesem Verfahren während eines Testdurchlaufes schrittweise durch den Smartbits erhöht. Dabei wird gemessen, bei welcher Datenlast für die jeweilige Priorität beziehungsweise Verkehrsklasse Paketverluste auftreten und wie sich die Paketlaufzeiten verändern.

Um eine Aussage über die Paketlaufzeiten in unterschiedlichen Last-Situationen machen zu können, muss die Erhöhung der Datenlast in geeigneten Schritten erfolgen, so dass die Paketlaufzeiten sowohl unter sehr geringer als auch unter höherer Last untersucht werden können.



Datendurchsatz im Uplink in Abhängigkeit von der Verkehrsklasse

Da keine der PCMCIA-Karten im Rahmen eines Vorabtests eine Priorisierung unter Windows gezeigt hat, wurden die für den Uplink geplanten Testszenarien teilweise nur exemplarisch anhand des Cisco-Systems durchgeführt. Eine Ausnahme bildete Lancom mit den im Bridge-Modus QoS-fähigen Access-Points, so dass für Lancom ebenfalls Ergebnisse vorliegen.

Die durch den WMM-Mechanismus beschriebenen Backoff-Zeiten sollten auch im Uplink dazu führen, dass der maximal mögliche Durchsatz mit der Priorität der Verbindung ansteigt. Vor allem für Cisco war hier eine deutliche Stufenbildung zu erkennen, wobei der Datendurchsatz für die höchste Priorität auch den größten Wert annimmt und damit den Erwartungen entspricht. Bei Lancom hatte die Priorität 7 etwas weniger Durchsatz als die Priorität 5. Allerdings kann den Messergebnissen entnommen werden, dass der Paketverlust für die Priorität 7 oberhalb von 23 MBit/s plötzlich auf rund 90 Prozent ansteigt. Die Ursache dafür kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

Sowohl Lancom als auch Cisco erreichten im Uplink-Betrieb einen Datendurchsatz von deutlich mehr als 10 MBit/s für jede Priorität. Die Paketlaufzeiten sollen daher für jede der vier Prioritäten jeweils bei einer Datenrate von 10 MBit/s und dem maximalen Durchsatz betrachtet werden. Das Lancom-System erreichte bei der Messung der Paketlaufzeiten bei einer Datenrate von jeweils 10 MBit/s gute Paketlaufzeiten von weniger als einer halben Millisekunde. Bei Cisco waren die Werte durchweg höher. Auf Grund der Backoff-Zeiten müssten die Paketlaufzeiten mit steigender Priorität kleiner werden. Pakete mit hoher Priorität sollten demnach eine kürzere Paketlaufzeit als Pakete mit niedriger Priorität haben. Bei Cisco ist dieser Trend für die Prioritäten 3, 5 und 7 erkennbar.

Die Werte des Lancom-Systems für die Paketlaufzeiten bei der maximal möglichen Datenrate der jeweiligen Priorität liegen wieder unter 1 ms. Die Paketlaufzeit für die Priorität 3 wurde interpoliert, da hierfür keine 1-Prozent-Schritt Messung vorlag. Bei Cisco steigen die Werte deutlich an. Für die Priorität sogar auf 72 ms gegenüber den knapp 7 ms bei 10 MBit/s. Auch hier ist wieder die gleiche Stufenbildung für die Prioritäten 3, 5 und 7 erkennbar.

Priorisierung im Uplink-Betrieb

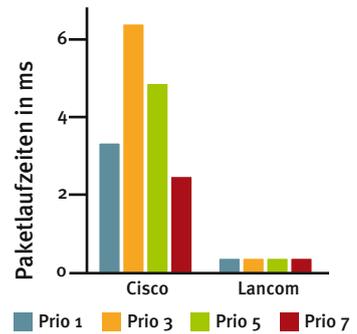
Das Ziel des Tests ist die Ermittlung von Paketverlusten sowie der Paketlaufzeiten für unterschiedlich priorisierte und damit um Bandbreite konkurrierende Verbindungen in Abhängigkeit der Paketgröße. Als Topologie dient auch hier der oben für den Uplink vorgestellte Testaufbau. Eine Ausnahme bildet wieder das Lancom-System, bei welchem die Access-Points in den Client-Modus versetzt wurden.

Wir haben verschiedene Testdurchläufe mit jeweils unterschiedlichen Paketgrößen gemacht. Während eines Durchlaufes ist die Paketgröße konstant und die Datenrate wird schrittweise erhöht. Durch die Auswertung des Paketverlustes für die unterschiedlich priorisierten Verbindungen kann anschließend eine Aussage über das Priorisierungsverhalten der Clients gemacht werden. Grundsätzlich ist wie auch beim Downlink-Betrieb ein Verdrängungsverhalten zu erwarten, das heißt niedrig priorisierte Verbindungen sollten deutlich früher und stärker Paketverluste aufweisen als höher priorisierte Verbindungen. Ein ähnliches Bild sollten auch die Ergebnisse der Paketlaufzeiten darstellen, das heißt Pakete höher priorisierter Verbindungen haben kürzere Laufzeiten als Pakete niedrig priorisierter Verbindungen.

Oben haben wir bereits darauf hingewiesen, dass bei keinem Hersteller eine Priorisierung im Uplink beobachtet beziehungsweise in Form von Paketverlusten gemessen werden konnte. Einzige Ausnahme stellt das Lancom-System auf Grund des bereits erwähnten Client-Modus der Access-Points dar. Bei der Priorisierung zeigt Lancom eine exakte Verdrängung von Verbindungen. Allerdings treten auf der Verbindung mit der höchsten Priorität früher Paketverluste auf als bei der Priorität 5. Dieses Verhalten wird durch die Messungen für die Paketgrößen 512 und 1518 Byte deutlich.

Bei 64-Byte-Paketen verlieren die Verbindungen mit den Prioritäten 5 und 7 gleich viele Daten. Da für die anderen fünf Hersteller im Uplink keinerlei Priorisierung erkennbar war, sollen nur einige Testergebnisse exemplarisch vorgestellt werden.

Die für den Performance-Test oben beschriebenen Ergebnisse haben zumindest für Cisco gezeigt, dass der WMM-Client die Prioritäten unterscheidet, was sich durch die mit der Priorität steigenden Durchsatzraten zeigen lässt. Und auch die Paketlaufzeiten sind abhängig von der gesendeten Priorität. Um die Ursache für das Problem der fehlenden Priorisierung im Uplink eingrenzen zu können, haben wir den Test unter Verwendung eines Linux-Systems mit IP-Routing-Funktionalität und dem Open-Source-WMM-Treiber von »madwifi« für die PCMCIA-Karten wiederholt. Da alle getesteten WLAN-Karten einen Atheros-Chipsatz verwenden, konnte dieser Test für alle PCMCIA-Karten durchgeführt werden. Sowohl für die Nortel- als auch für die Netgear-Karte war dann eine deutliche Priorisierung erkennbar.



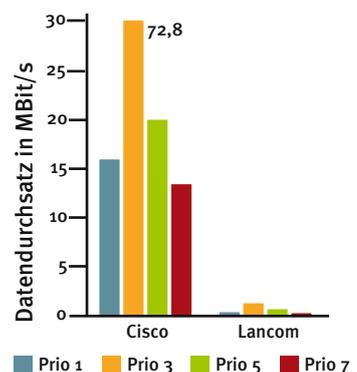
Paketlaufzeiten für Cisco und Lancom im Uplink bei 10 MBit/s

Nach diesen Ergebnissen haben wir einen weiteren Test mit Windows als Host-System für die PCMCIA-Karten durchgeführt. Dabei haben wir vier Clients verwendet. Über jeden der vier WLAN-Clients haben wir nun eine Verbindung unterschiedlicher Priorität gesendet. Client 1 hat demnach die Verbindung mit der Priorität 1 übertragen und Client 2 die Verbindung mit der Priorität 3. Der dritte Client hat eine Verbindung mit der WMM-Priorität 5 und der vierte Client hat eine Verbindung mit der höchsten Priorität 7 an den Access-Point übertragen. Auch hier funktionierte die Priorisierung.

Paketlaufzeiten für unterschiedliche Prioritäten

Obwohl bei der Betrachtung der Paketverluste gezeigt werden konnte, dass Lancom die Prioritäten 5 und 7 nicht wie erwartet behandelt, kann dieses Verhalten bei der Betrachtung der Paketlaufzeiten nicht nachgewiesen werden. Für die Paketgrößen 512 und 1518 Byte kann gezeigt werden, dass Lancom eine korrekte Priorisierung durch Unterscheidung der Paketlaufzeiten durchführt. Damit sind die Laufzeiten für die höchste Priorität am kleinsten.

Ein Blick in die Ergebnistabellen des Lancom-Systems bestätigt das korrekte Verhalten. Eine Ausnahme bildet das Ergebnis für 64-Byte-Pakete. Hier werden die Prioritäten 5 und 7 gleich behandelt. Demnach sind die Laufzeiten dieser beiden Verbindungen bei 64-Byte-Paketen na-



Paketlaufzeiten im Uplink beim maximal möglichen Durchsatz

hezu identisch. Eine Priorisierung im Uplink konnten wir für das Cisco-System bei einer Paketgröße von 64 Byte darstellen. Hier war zu erkennen, dass der Client anstatt der vier erwarteten Prioritäten zumindest zwei in Bezug auf die Paketlaufzeit unterscheidet. Die Verbindung mit der niedrigsten Priorität hatte die höchsten Laufzeiten, während die anderen drei Verbindungen gleich behandelt wurden. Dieses Verhalten ist auch für alle anderen PCMCIA-Karten und für alle drei Paketgrößen nachweisbar. Im Vergleich dazu zeigen die Paketlaufzeiten in dem Test, bei dem über vier Clients jeweils nur eine Priorität gesendet wird, eine Unterscheidung von vier Prioritäten.

So lange ein PCMCIA-Client unter Windows nur eine Priorität zu behandeln hat, scheint der Zugriff auf das Medium zu funktionieren. Dieses Verhalten konnte sowohl durch die Betrachtung der Paketverluste als auch der Paketlaufzeiten gezeigt werden. Bleibt die Frage, warum die PCMCIA-Karten unter Windows nicht in der Lage sind, mehr als eine Verkehrsklasse zu priorisieren. Die Ursache dafür kann verschiedene Gründe haben. Es kann zum einen an dem Windows-Treiber selbst liegen, zum Beispiel weil dieser nicht mehr als eine Warteschlange verwalten kann. Die Ursache kann aber auch in den Systemaufrufen des Windows-Betriebssystems oder der aktivierten IP-Routing-Funktionalität liegen.

Die Priorisierung von Datenströmen, die nicht geroutet, sondern auf dem Client selbst erzeugt werden, soll laut Aussage verschiedener Hersteller hingegen problemlos funktionieren. Um diese Aussage zu prüfen, ist ein weiterer Test erforderlich. Dabei könnte als Testsystem die Ixchariot-Software von Ixia dienen. Diese erlaubt es, den Datenverkehr direkt auf dem Windows-Rechner zu erzeugen, so dass keine Routing-Funktionalität benötigt wird. Auf Grund der beschriebenen Probleme bei der Priorisierung im Uplink haben wir entschieden, dass der Test der Sprachqualität für diese Kommunikationsrichtung mit dem gewünschten Testaufbau und unter Verwendung von Smartbits und Abacus zunächst nicht sinnvoll ist.

Fazit

Ein Problem, das alle untersuchten PCMCIA-Clients betraf, war die nicht vorhandene WMM-Priorisierung unter Windows. Dieses Problem ist den meisten Herstellern wohl bekannt. Die Schuld dafür wird dem Windows-Betriebssystem zugeschoben. Dabei soll dieses Problem »nur« im Bridging- beziehungsweise Routing-Modus unter Windows auftreten. Das bedeutet, dass Datenverkehr, der direkt auf dem Windows-Client erzeugt wird, nicht von dieser Einschränkung betroffen ist. Mit unserem Testaufbau konnte diese Aussage nicht überprüft werden.

Dass die Clients aber prinzipiell in der Lage sind, nach WMM zu priorisieren, zeigte ein Test unter Linux mit dem Open-Source-Treiber »madwifi«. Es bleibt zu hoffen, dass die Hersteller dieses Problem in naher Zukunft lösen können oder zumindest ihre Kunden auf dieses Fehlverhalten hinweisen. Für die Controller-basierten Lösung von Cisco stellte sich das Test-Setup als sehr zeitaufwändig heraus. Der Grund bestand in der Verhaltensweise des Controllers. Anders als erwartet, agierte der Controller hier nicht als reines Layer-2-Gerät.

Bei den Netgear-Produkten negativ aufgefallen ist vor allem die Performance des Gesamtsystems bei Verwendung des Clients mit dem Windows-Treiber. So trat auch schon bei geringer Last ein schwankender Paketverlust von bis zu 20 Prozent auf. Entsprechend schwankten auch die Paketlaufzeiten. Weiterhin war die Priorisierung schwach ausgeprägt und beschränkte sich auf die Unterscheidung von insgesamt zwei Verkehrsklassen. Dabei konnte keine feste Zuordnung von priorisierter Verkehrsklasse und dem gesetzten Diff-serv-Wert erkannt werden. Scheinbar wurde nur zwischen einer Verkehrsklasse mit dem aktuell niedrigsten Diffserv-Wert und der Verkehrsklasse mit den restlichen (höheren) Diffserv-Werten unterschieden.

Ein anderes Ergebnis ergab sich durch Ansteuerung des Clients mittels eines Open-Source-Treibers. Sowohl im Uplink als auch im Downlink ergab sich eine deutliche Performancesteigerung. So trat

TESTVERFAHREN TRIPLE-PLAY IN FUNKNETZEN

Als Lastgenerator und Analyser haben wir in unseren Real-World Labs einen »SmartBits 6000C« von Spirent eingesetzt. Das System ist mit der Software »SmartFlow« ausgestattet und mit 24 Gigabit-Ethernet-Kupfer-Ports bestückt, die im Test im 100-MBit/s-Modus liefen. Alle Ports können softwareseitig als Lastgeneratorausgang und/oder als Analysatoreingang eingesetzt werden. Für die Messungen der Sprachqualität haben wir zusätzlich einen »Spirent Abacus 5000« mit Fast-Ethernet-Adapter verwendet. Als WLAN-Clients setzten wir die entsprechenden Hard-



ware-beziehungswise Windows-basierten Software-Lösungen der jeweiligen Hersteller ein.

Die Wireless-Testaufbauten haben wir dann im

Downlink wie im Uplink betrieben. Gemessen haben wir den möglichen Datendurchsatz, die Priorisierung unterschiedlicher Verkehrsklassen sowie die Sprachqualität nach PESQ.

Die Tests fanden im Rahmen eines Breitbandprojektes zur Versorgung dünn besiedelter Gebiete statt, das von der Europäischen Union (European Regional Development Fund) im Rahmen des »BSR INTERREG III B Neighbourhood Program« teilfinanziert wurde (www.balticbroadband.net).



der Paketverlust deutlich später auf und Paketlaufzeiten waren auf einem insgesamt niedrigen Niveau. Die Priorisierung im Downlink war nun auch deutlicher ausgeprägt, beschränkte sich aber weiterhin auf die Unterscheidung von zwei Verkehrsklassen. Außerdem zeigte sich nun auch eine Priorisierung im Uplink, die unter Windows nicht existierte. Die Uplink-Priorisierung zeigte eine deutliche Unterscheidung von drei Verkehrsklassen und war damit der Downlink-Priorisierung immer noch überlegen. Es bleibt festzustellen, dass ein sinnvoller Einsatz des Netgear-Systems nur durch den Einsatz von Linux-Clients möglich ist, die Performance unter Windows ist mit dem aktuellen Treiber nicht akzeptabel.

Als einziges System im Test unterstützte Lancom innerhalb des Bridge-Modus die WMM-Priorisierung. Damit konnte die Verbindung zwischen den Access-Points direkt untersucht werden. Eine anfangs beobachtete Vertauschung der Zuordnung von Prioritäten und Diffserv-Werten konnte der mitgereiste Lancom-Techniker vor Ort beheben. Das Lancom-System zeigte im Test eine durchweg überzeugende Leistung. So konnte der höchste Datendurchsatz im Test erreicht werden und die Paketlaufzeiten blieben selbst unter hoher Last niedrig. Die Priorisierung im Downlink war für alle Paketgrößen deutlich erkennbar. Einzig die Priorisierung im Uplink unter der Verwendung von vier gleichzeitig sendenden Stationen zeigte eine Schwäche bei den obersten zwei Prioritäten, welche nicht mehr deutlich unterschieden wurden. Allerdings ist hier zu erwähnen, dass dieser Test bei den anderen Herstellern erst gar nicht durchgeführt werden konnte, da die Priorisierung im Uplink mit den vom Hersteller bereitgestellten Mitteln

(Windows-Treiber) nicht funktionierte. Bei der guten Priorisierungsleistung verwundert es auch nicht, dass beim Test der Sprachqualität das Lancom-System am besten abschnied. Selbst unter deutlicher Überlast wurde die Sprachqualität kaum negativ beeinflusst.

Besonders auffällig an der HP-Lösung waren die hohen Paketlaufzeiten. Schon unter gemäßigten Lastbedingungen überstiegen die Zeiten die Werte aller anderen Kandidaten um ein Vielfaches. Noch extremer verhielt sich das System unter hoher Last. Dort erreichte selbst die höchste Priorität schnell einen Bereich von mehreren hundert Millisekunden. Wirklich überzeugen konnte damit auch die Priorisierungsleistung nicht. Eine erkennbare Priorisierung konnte nur im Bereich von 512-Byte-Paketen erreicht werden. Bei kleinen Paketen (64-Byte) war die Priorisierung praktisch nicht vorhanden. Und bei großen Paketen (1280 und 1518 Byte) wurde allenfalls die oberste Verkehrsklasse priorisiert.

Auf Grund der schlechten Performance- und Priorisierungsleistung mögen die relativ guten Ergebnisse der Sprachqualitätsmessung überraschen. Die Erklärung dafür ist, dass das HP-System bei dem Testaufbau seine Schwächen verstecken konnte. Zum einen werden Paketlaufzeiten bei der Berechnung des PESQ-Wertes vom Spirent-Abacus nicht berücksichtigt. Zum anderen bestand die erzeugte Hintergrundlast aus 512 Byte großen Paketen und fiel damit genau in den Bereich, in dem das HP-System seine beste Priorisierungsleistung gezeigt hat. Diese unterschiedlichen Messergebnisse zeigen, wie begrenzt die Aussagekraft eines einzelnen Messwertes ist, um die Qualität von Netzwerkkomponenten zu beschreiben. Die allgemeine Performance der Nortel-Lösung war durchaus

überzeugend. Der Datendurchsatz lag im oberen Bereich des Testfeldes. Besonders gut gelang es Nortel, auch die Paketlaufzeiten auf einem niedrigen Niveau zu halten. So wurde bei hoher Last nur ein geringer Anstieg der Paketlaufzeiten festgestellt, wodurch Nortel auch hier zu den Besten im Test zählte. Nicht überzeugen konnte Nortel hingegen bei der Priorisierungsleistung. So konnte bei 64-Byte-Paketen keine Priorisierung in Bezug auf den Paketverlust erkannt werden. Nur die Paketlaufzeiten wurden erkennbar priorisiert. Besser verlief die Priorisierung bei 512-Byte- und 1518-Byte-Paketen. Die Untersuchung der Sprachqualität mit Hilfe des Abacus zeigte ähnlich enttäuschende Ergebnisse. Der unter normaler Last erreichte PESQ-Wert war der schlechteste im Testvergleich und bei einer hohen Last von 99 MBit/s wurden die VoIP-Verbindungen auf Grund der schlechten Qualität zum Teil sogar vom Abacus abgebrochen.

Im Controller von Cisco war ein ARP-Proxy integriert, der den Test erschwerte. Direkt vor Testbeginn gibt der Smartbits seine IP- und MAC-Adresse im Netzwerk bekannt beziehungsweise antwortet auf ARP-Requests. Während der eigentlichen Messungen beantwortet der Smartbits jedoch keine ARP-Requests mehr. Da der Paketverlust bei einer unidirektionalen Uplink-Messung von Beginn an 100 Prozent betrug, ist davon auszugehen, dass dem WLAN-Client die MAC-Adresse des Smartbits nicht bekannt war. Der Versuch des Clients, diese während des Tests aufzulösen, blieb aus den bereits beschriebenen Gründen ohne Erfolg.

Erst als ein zusätzlicher Datenstrom mit geringer Datenrate auf dem Downlink erzeugt wurde, konnten auch im Uplink Daten übertragen werden. Um die Ergebnisse einer unidirektionalen Messung nicht durch einen zusätzlichen Datenstrom im Downlink zu verfälschen, wurde anschließend die MAC-Adresse des Smartbits als statischer Eintrag in die ARP-Tabelle des WLAN-Clients hinzugefügt.

Cisco konnte im Test vor allem durch kurze Paketlaufzeiten positiv auffallen. Auch bei hohen Durchsatzraten sind diese im Downlink nur gering angestiegen. Bei den Priorisierungsleistungen konnte Cisco nicht durchgehend überzeugen. Während die Priorisierung bei kleinen Paketen (64 Byte) praktisch nicht vorhanden war, konnten bei 512 Byte zumindest Ansätze einer dreistufigen Priorisierung beobachtet werden. Bei großen Paketen (1518 Byte) konnte Cisco durch eine saubere Priorisierung deutlich besser abschnieden. Das System war aber nicht in der Lage, Paketverluste für die Verbindung mit der höchsten Priorität bis zu einer Datenrate von 100 MBit/s zu verhindern. Die Sprachqualität war bis zu einer Hintergrundlast von 50 MBit/s gut. Bei einer Hintergrundlast von 99 MBit/s war diese aber bereits so stark beeinträchtigt, dass der Abacus mehrere Calls abgebrochen hat.

**M. Sc. Susanne Goldammer,
M. Sc. Roman Schmidt,
Dipl.-Ing. Thomas Rottenau,
Prof. Dr. Bernhard G. Stütz, (dg)**