



# **EANTC Independent Test Report**

## Business Premium Access und InternetConnect Leistungsmetriken Test

Oktober 2024



in Kooperation mit



## Einführung

Mit dem Internetanschluss Business Premium Access (BPA) bietet die Telekom ein Produkt an, welches die Basis zur Nutzung vieler Leistungen bietet - von Telefonie über Internet bis zu Cloud-Lösungen.

Getrennte Services für Sprache und Internet (z.B. Betrieb von Web- und Mailservern; Standortdiensten) lassen sich flexibel kombinieren und skalieren. Kunden können so jederzeit entscheiden, welche Dienste sie benötigen.

Mit dem BPA und dem Service InternetConnect wird es Kunden ermöglicht, über Telekom-installierte Geräte an den Kundenstandorten auf den Internet-Backbone der Telekom zuzugreifen.

Den Kunden werden sowohl IPv4-Adressen als auch IPv6-Adressen mit einem Dual-Stack-Ansatz zugewiesen. Diese Dual-Stack-Konfiguration ermöglicht die Kommunikation zwischen dem Internet und dem lokalen Netzwerk (LAN) des Kunden unter gleichzeitiger Verwendung von IPv4- und IPv6-Adressen.

Die Telekom Deutschland GmbH beauftragte EANTC mit der Bewertung ihres Business Premium Access Portfolios.

EANTC führte eine Reihe von Tests der Internetverbindungsgeschwindigkeiten von 50 Mbit/s bis 10 Gbit/s durch. Die Ergebnisse sind im Folgenden beschrieben. Der Schwerpunkt der Tests lag auf wichtigen Leistungsindikatoren wie Link-Bandbreite, Latenz, Jitter und Paketverlust.

### Deutsche Telekom Business Premium Access 10 G (XL) und 1G (L)

- Einhaltung des Service-Level-Agreement (SLA)
- Messung von Durchsatz, Latenz, Jitter und Paketverlust
- Verschiedene InternetConnect Geschwindigkeiten von 8 Mbit/s bis zu 10 Gbit/s

Testzeitraum: November 2023  
 Im Test eingesetzte Produkte:  
 - Albis-Elcon BIG4862  
 - ADTRAN NV4660  
 © 2024 EANTC AG

Tested by

2024

## Test Highlights

- Der Business Premium Access Anschluss sowie der InternetConnect Service werden unter realen Bedingungen getestet, um sicherzustellen, dass sie die im Service-Level-Agreement (SLA) festgelegten Werte einhalten.
- Die Tests umfassen die Messung von Durchsatz, Latenz, Jitter und Paketverlust.
- Verschiedene InternetConnect Geschwindigkeiten von 50 Mbit/s bis zu 10 Gbit/s sowie die BPA-Größen L und XL sind abgedeckt.
- Die Tests werden zu verschiedenen Tageszeiten sowie mit unterschiedlichen Paketgrößen und Serviceklassen durchgeführt, und insgesamt 108 Testfälle durchgeführt wurden.

Diese Indikatoren wurden aufgrund ihres signifikanten Einflusses auf Netzwerkfunktionalität und -Stabilität ausgewählt. Der Test der Link-Bandbreite ist wichtig, um die Datenübertragungskapazität der Verbindungen zu prüfen.

Die Latenz wurde getestet, da diese sich auf die Datenübertragungsgeschwindigkeit auswirkt, was für zeitkritische Anwendungen von entscheidender Bedeutung ist.

Der Jitter wurde gemessen, weil dieser die Variabilität der Latenz repräsentiert. Er hat somit Einfluss auf die Qualität von Echtzeit-Kommunikationsdiensten wie VoIP.

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Tests waren die Paketverlustmessungen, die Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit des Netzwerks haben. Hohe Paketverluste führen zu Störungen in der Kommunikation und verringerter Datenintegrität.

Im EANTC Tests wurden verschiedene Parameter, einschließlich unterschiedlicher Framegrößen und Serviceklassen, verwendet. Damit wurde die Leistung der Internetverbindungen umfassend beurteilt und geprüft, ob die Ergebnisse innerhalb der Service Level Agreements (SLAs) des BPA- und IP-Dienstes InternetConnect liegen.

## Testaufbau

Die Telekom hat ein Remote-Gerät im EANTC-Labor installiert, das über eine 10 Gbit/s-Schnittstelle verfügt. Über Business Premium Access wurde eine dauerhafte Verbindung zum Telekom-Netz hergestellt. Die Installa-

tion entsprach dem Standardprodukt, das auch anderen Kunden von der Telekom zur Verfügung gestellt wird. Die Konfiguration entsprach ebenfalls einer Standardkonfiguration. Das gleiche Setup wurde auch in Bielefeld installiert, mit zwei Remote-Geräten - eines mit einer 10 Gbit/s-Schnittstelle (Bielefeld RD-1) und das andere mit einer 1 Gbit/s-Schnittstelle (Bielefeld RD-2). Das Ziel war es, beide Bandbreitenoptionen zu testen, wie in Bild 1 gezeigt.

In unserem Testbed wurden die Remote-Geräte an beiden Standorten mit VeEx-Messgeräten verbunden. Am Standort Bielefeld wurde das Messgerät über einen von EANTC bereitgestellten PC verbunden. Dadurch konnte das EANTC-Team über verschiedene Dienste wie SSH, VNC, HTTP und HTTPS ferngesteuert auf das Messgerät zugreifen.

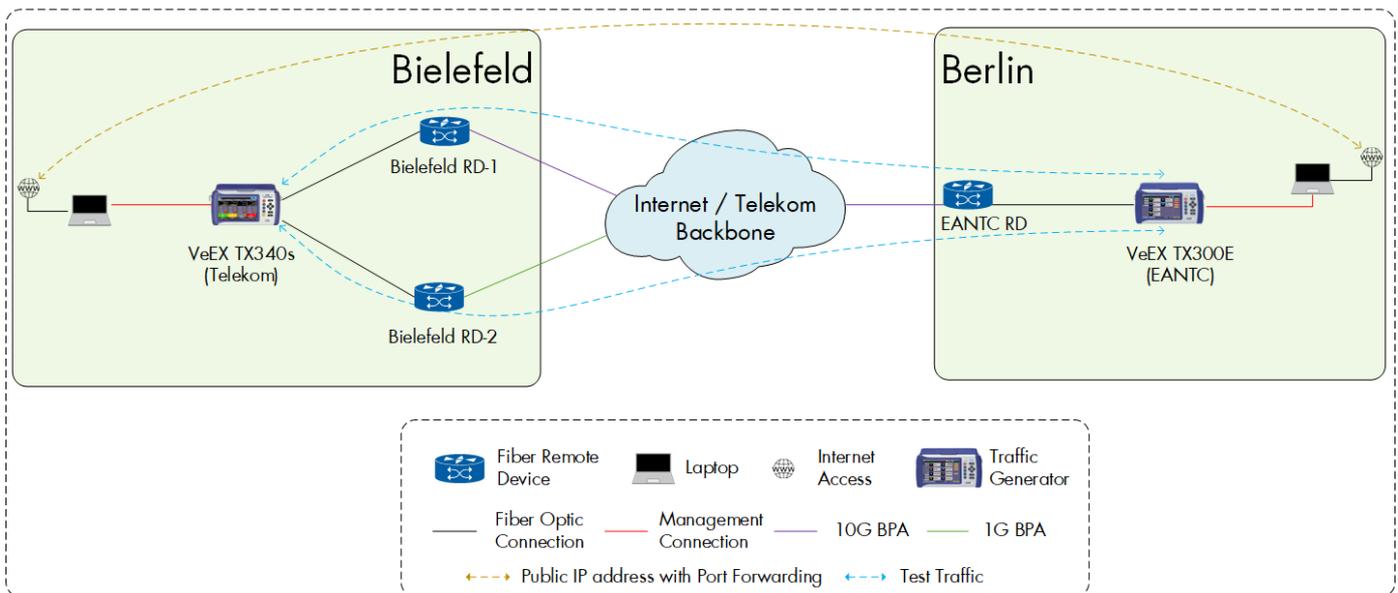


Bild 1: Testaufbau

## Hard- und Software

In den Tabellen 1 und 2 sind die Systeme (Remote Devices) aufgeführt, die an den beiden Standorten installiert waren, einschließlich der Messgeräte.

Standort	Geschwindigkeit	Hersteller	Hardware
Berlin	10 G	Albis-Elcon	BIG4862
Bielefeld	10 G	Albis-Elcon	BIG4862
Bielefeld	1 G	ADTRAN	NV4660

Tabelle 1: Hardware für Remote-Geräte

Die Informationen zu den Softwareversionen sind vertraulich, daher hat EANTC mit dem Telekom-Team vereinbart, diese anhand der Testtermine zu identifizieren, und die Telekom wird diese Termine intern mit den eigentlichen Softwareversionen korrelieren.

## Messgeräte: VeEX

Standort	Hardware	Software-Version
Berlin	TX300	tx300- RELEASE-10-1-4-0
Bielefeld	TX340S	tx300s-Release-4.0.21

Tabelle 2: Details zu den Messgeräten

## Testprozedur

EANTC konfigurierte die Messgeräte in den Loopback-Modus, um bidirektionalen Verkehr zu senden. Wir sendeten den Verkehr vom Messgerät in Berlin, während das Messgeräte in Bielefeld den Verkehr empfing und wieder an das Messgerät am Standort Berlin zurücksendete. Mit diesem Aufbau haben wir sichergestellt, dass beide Richtungen des Verkehrs getestet wurden.

Wir haben die folgenden Verkehrsparameter verwendet, die in der folgenden Tabelle 3 beschrieben sind, um den Verkehr für die jeweiligen Testfälle zu generieren.

Parameter	Wert
Verkehrstyp	IPv4, Bidirektional L3
Verkehrsströme	Ein Strom und drei Ströme
Testdauer	180 s
Framegröße	128 und 1518 Bytes
DSCP-Werte	CS0 (Best Effort) AF31 (low loss) AF41 (low delay)

Tabelle 3: Testverkehr Parameter

EANTC führte verschiedene Tests mit dem BPA-Anschluss durch, um zu prüfen, dass deren Durchsatz und Leistung, den zugesagten Bandbreiten aus der Leistungsbeschreibung entsprachen. Die Grundlage unserer Tests war der IETF Standard RFC2544. Die erste Testrunde führten wir mit einer Framegröße von 128 Byte durch, die zweite mit einer Framegröße von 1.518 Byte. Wir konnten aufzeigen, dass die Ergebnisse mit dem angegebenen durchschnittlichen Datendurchsatz aus dem SLA „Leistungsbeschreibung und Preise InternetConnect 11.12.2023 Version 1“ übereinstimmten.

Wir prüften auch die Latenz, den Jitter und Paketverlust der BPA-Verbindung in verschiedenen Tests mit jeweils konfigurierten Telekom Class of Service (CoS) Profilen. Aufgrund von Einschränkungen im Testaufbau wurden die Latenzwerte als Round-Trip-Delay ohne "Zeitsynchronisation von Messgeräten" gemessen. Gleichzeitig mit der Latenz wurde auch Jitter gemessen. Ferner untersuchte EANTC auch den Paketverlust in Korrelation mit Latenz und Jitter.

Gemäß dem Telekom Service Level Agreement (SLA) bietet die Telekom sechs CoS Profile, die drei Qualitätsklassen umfassen. Dies beinhaltet eine „Best Effort“-Klasse für Standarddienste, „Low Delay“-Klasse zur Reduzierung von Übertragungszeiten und eine „Low Loss“-Klasse, die geringen Paketverlust bietet.

Diese angebotenen Klassen können die Kunden der Telekom nutzen, um Netzwerkressourcen zu optimieren und sicherzustellen, dass kritische Anwendungen die benötigte Bandbreite und Servicequalität erhalten.

Unser Test konzentrierte sich auf Profil 1, welches in Tabelle 4 beschrieben ist. Dieses Profil allokiert 45% Low Delay und 45% Low Loss der Bandbreite für die Klassen Low Delay und Low Loss. Die von diesen Klassen ungenutzte Bandbreite bis zur Linkbandbreite kann für weiteren Verkehr, welcher der Best-Effort-Klasse zugeordnet ist, verwendet werden. Weiterhin enthält die Tabelle 4 die SLA-Anforderungen wie One Way-Delay, Jitter und Paketverlust für die drei Qualitätsklassen in Profil 1.

QoS Profile	QoS Kennzeichnung			Einseitige Latenz [ms]	Jitter [ms]	Verlust [%]
Klasse	Profil 1	DSCP Wert	IP Vorrangwert			
Low Delay	45%	AF41(100010)	4	25	5	0,1
Low Loss	45%	AF31(011010)	3	40	-	0,01
Best Effort	10%	CS0(000000)	0	-	-	-

Tabelle 4: Telekom Class of Service Profile

Nach Abschluss des Durchsatztests nach RFC2544 für die Best-Effort-Klasse starteten wir weitere Tests unter realistischer Last, um Latenz, Jitter und Paketverlust zu prüfen. Für diese Tests nutzten wir nicht 100% der Linkbandbreite. Wir erzeugten drei gleichzeitige Streams, die sicherstellten, dass die Verkehrslast 85%

der maximalen Durchsatzkapazität des Telekom SLAs betrug. So wurde ein hoher Anteil des Verkehrs (90%) der Klasse Low Delay (DSCP AF41) und der Klasse Low Loss (DSCP AF31) zugewiesen. Die restlichen 10% des Verkehrs entsprachen wieder der Klasse Best-Effort (DSCP CS0).

EANTC führte die Tests mit verschiedenen Bandbreiten durch. Es wurden 100 Mbit/s, 600 Mbps und 1 Gbit/s zu verschiedenen Tageszeiten getestet. Einmal in der Mittag, das andere Mal abends. Damit wollten wir auswerten, ob die verschiedene Tageszeit Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Netzes aufzeigt, wie zum Beispiel höhere Latenzwerte, oder vermehrter Paketverlust. Weil das Telekom-Kernnetz sowohl Geschäfts- als auch Privatanschlüsse bietet, vermuteten wir eine verstärkte Netzaktivität am Abend. Unser Test sollte aufzeigen, dass die Service Level Agreements auch zu verschiedenen Zeiten eingehalten werden, unabhängig von der Uhrzeit oder Netzwerklast.

Für die Anschlüsse BPA 10G (XL) und BPA 1G (L) wird der folgenden Verkehr nach Tabelle 5 generiert:

Anschluss Typ	DSCP Wert	Framegröße (Bytes)
BPA 10 G (XL)	CS0 (000000)	128 / 1.518
BPA 1 G (L)	CS0 (000000)	128 / 1.518

Tabelle 5: Verkehrsströme der Durchsatztests

Für die Latenz-, Jitter- und Paketverlusttests verwendeten wir drei gleichzeitige Streams, wie in Tabelle 6 dargestellt. Diese Streams wurden mit identischen Quell- und Ziel-IP-Adressen konfiguriert und konnten nur durch den Differentiated Services Code Point (DSCP) -Wert unterschieden werden. Mit dieser Konfiguration stellen wir sicher, dass alle drei Streams den gleichen Weg durch das Backbone-Netz der Telekom gehen.

Anschluss Typ	Verkehrstrom Nummer	DSCP Wert	Framegröße (Bytes)
BPA 10 G (XL):	1	CS0 (000000)	128
	2	AF31(011010)	
	3	AF41(100010)	
BPA 1 G (L):	1	CS0 (000000)	128
	2	AF31(011010)	
	3	AF41(100010)	

Tabelle 6: Verkehrsströme für den BPA L Anschluss

## Testergebnisse

EANTC überprüfte, dass die durchschnittliche Datenrate für alle verfügbaren L- und XL-Anschlüsse konstant eingehalten wurde. Die Testergebnisse zeigten keine wesentlichen Unterschiede in der Leistung zwischen den Tests, die mittags und denen, die ab 19:30 Uhr abends durchgeführt wurden. Darüber hinaus prüften wir, ob die maximale Latenz als Round Trip Time (RTD) sowie die der Jitter (Frame Delay Variation (FDV)) der Leistungsbeschreibung (SLAs) für die 1Gbit/s und 10 Gbit/s Verbindungen entsprachen, unter der Verwendung von 128 Bytes Paketen.

### BPA 1 G (L) Ergebnisse:

Alle Testläufe wurden erfolgreich durchgeführt, wobei jedes Ergebnis den Zusicherungen der Leistungsbeschreibung entsprach. Die durchschnittliche Bandbreiten nach Leistungsbeschreibung konnte erreicht werden und die Messungen für Latenz, Jitter und Verlustrate blieben alle unter den von der Telekom festgelegten maximalen Schwellenwerten. Die folgenden Diagramme (Abbildung 1 und 2) zeigen die Latenz- und Jitterwerte und in einem konsistenten Bereich über alle Testläufe. Es gibt jedoch eine Ausnahme: Während eines Testlaufs zur Mittagszeit gab es für alle drei Streams (Best Effort, Low Loss und Low Delay) einen Peak von 37 ms Latenz.

Obwohl der maximale gemessene Peak für das RTD besonders hoch ist, ist es wichtig zu bemerken, dass er nur ein Spitzenwert darstellt. Die durchschnittlichen und minimalen RTD-Ergebnisse für diesen Test lagen eng bei 7,19 ms bzw. 7,18 ms, was darauf hindeutet, dass das Netz typischerweise mit viel geringerer Latenz arbeitet. Somit bewerten wir den gemessenen Peak von 37 ms als möglichen Ausreißer, verursacht durch ein temporäres Netzwerkproblem. Im Anhang finden sich die vollständigen Werte der Messungen.

Abbildung 3 zeigt den in jedem Testlauf aufgezeichneten Paketverlust. Insbesondere traten Paketverluste in zwei Durchgängen bei dem 100 Mbit/s Profil während der Mittag- und Abendzeiten auf. Die Ergebnisse liegen jedoch innerhalb der akzeptablen Grenzen, die von der Leistungsbeschreibung (SLA) für die jeweilige Dienstklasse vereinbart wurden.

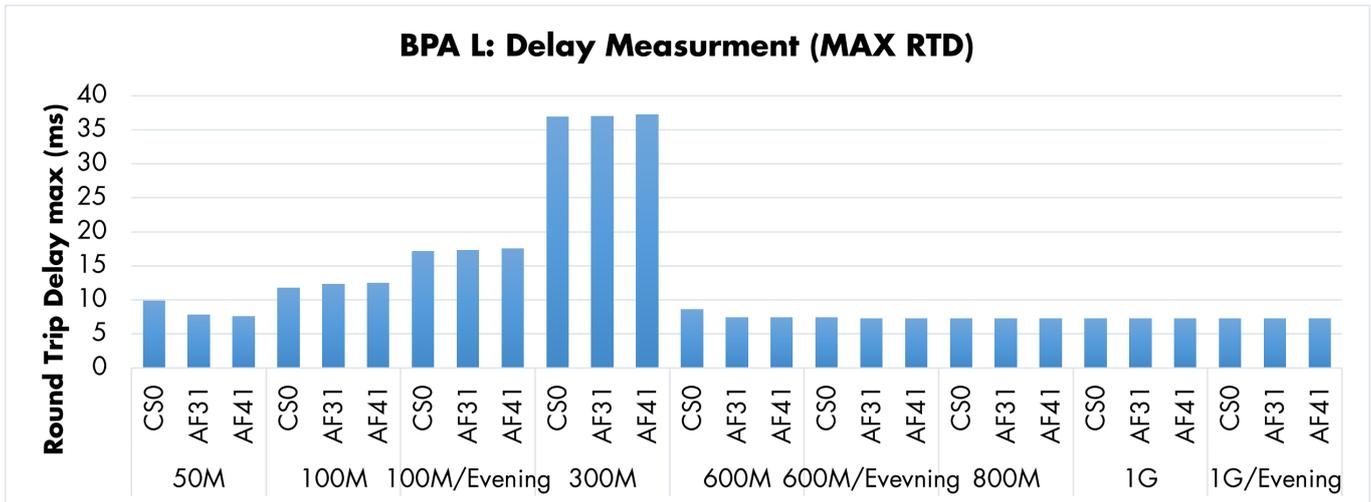


Abbildung 1: Latenzmessung (Max RTD) für BPA L

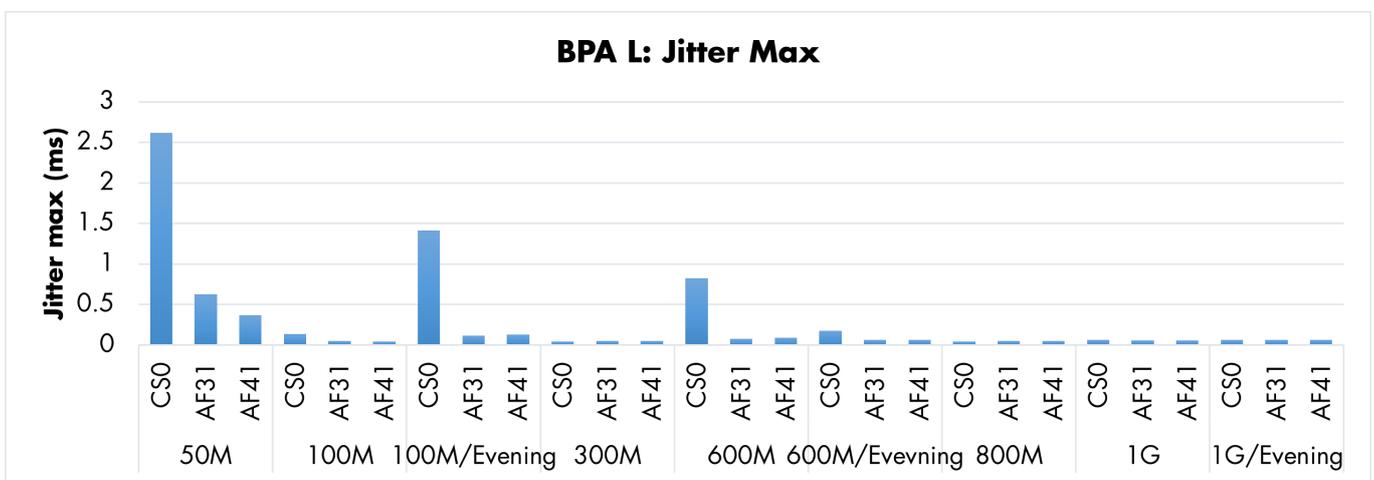


Abbildung 2: Max Jitter für BPA L

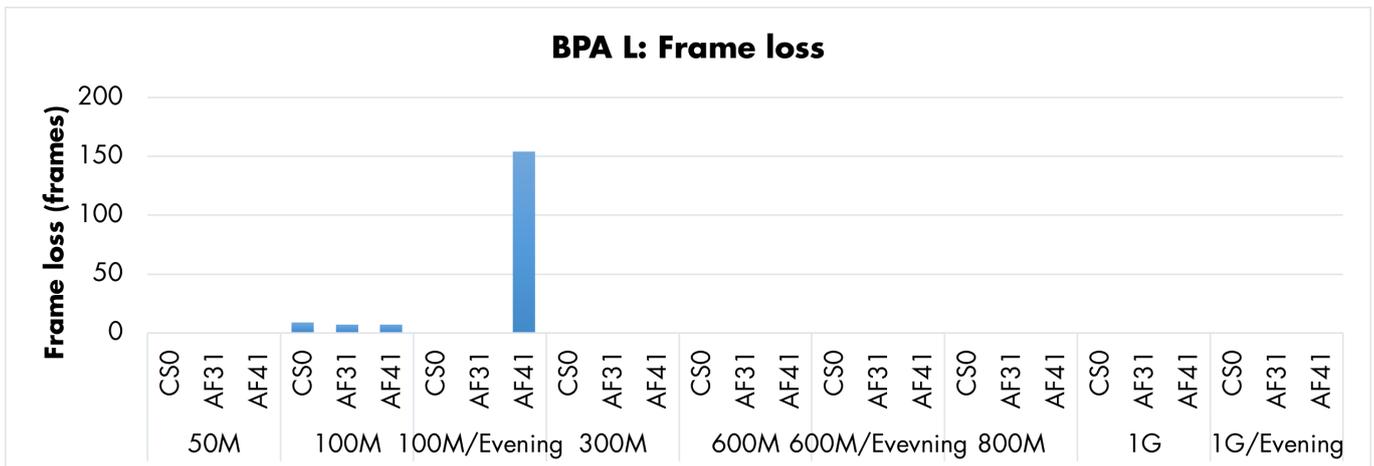


Abbildung 3: Paketverlust für BPA L

Als EANTC die Datenrate in den Tests für den 1 Gbit/s Anschluss erhöhte, bemerkten wir einen Paketverlust für 128-Byte-Ströme zu Beginn des Tests. Die Telekom erklärte, dass für den L-Anschluss das installierte Remote Device (Adtran NV4660) für jeden Datenstrom im Layer-3 einen Forwarding Entry erstellen muss. In dieser Zeit werden die anliegenden Daten von der Central Processing Unit (CPU) bearbeitet, was bei hoher Datenrate zu Verlusten führen kann. Die Zeit für

die Erstellung dieser Einträge hängt von der Anzahl der Ströme ab, die gesendet werden.

Um diesen Verlust zu vermeiden, generierte EANTC für eine kurze Zeit Testströme bevor die eigentlichen Messungen begannen. Damit konnte das Remote Device den Forwarding Entry erstellen und die Testergebnisse zeigten keinen Paketverlust mehr.

**BPA 10 G (XL) Ergebnisse:**

Ähnlich erfolgreiche Ergebnisse erzielten wir für den 10 Gbit/s Anschluss, bei dem kein Paketverlust vorlag und weder Latenz noch Jitter die zulässige Grenzwerte überschritten. Auch wurden alle Bandbreiten mit dem erwarteten mittleren Durchsatz eingehalten. Eine Beobachtung war, dass die maximalen RTD-Werte für

die XL-Verbindung niedriger waren (weniger als 7,35 ms), verglichen mit denen der L-Verbindung, die 35 ms beträgt. Dieser Unterschied könnte sich aus den verschiedenen Remote Devices und der jeweilig unterschiedlichen Verarbeitungsgeschwindigkeit erklären lassen. Die Remote Devices wurden nicht separat auf Latenzwerte getestet.

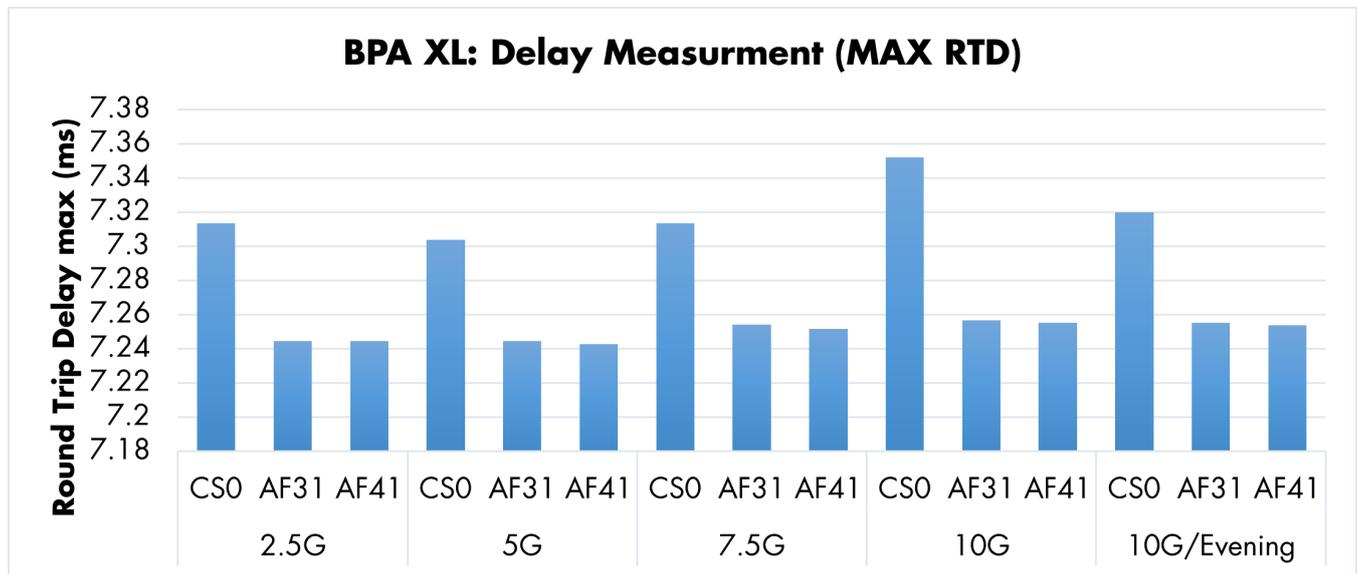


Abbildung 4: Latenzmessung (Max RTD) für BPA XL

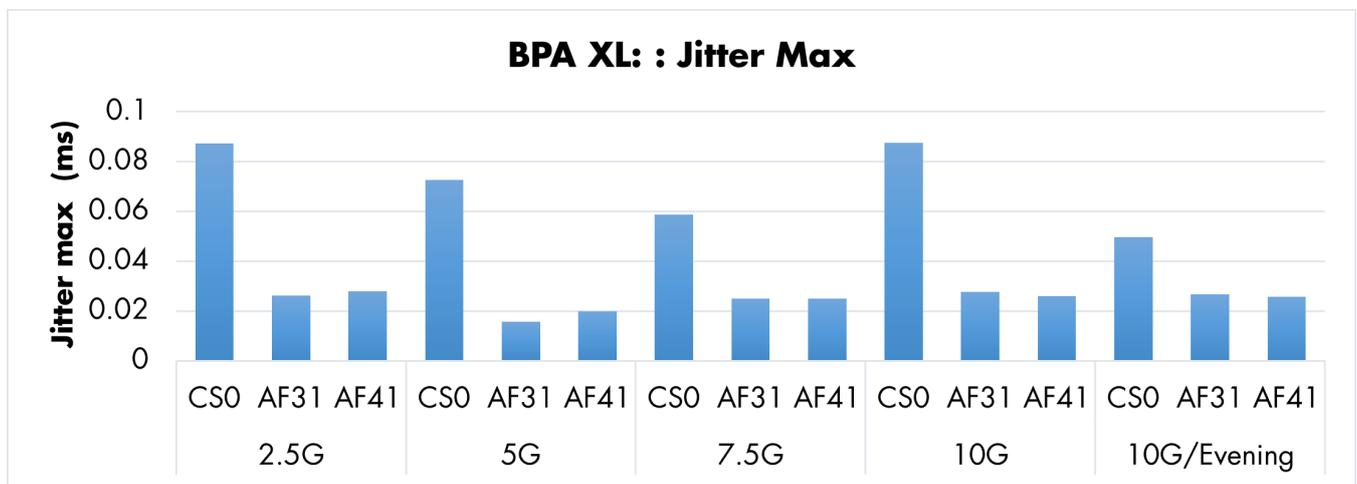


Abbildung 5: Max Jitter für BPA XL

Beim Testen der 7.500 Mbit/s Bandbreite beobachtete EANTC, dass der Durchsatz 8.300 Mbit/s erreichte. Dies war insbesondere bei den Tests nach RFC 2544 mit 128-Byte-Strömen zu merken. Die Datenrate überschritt die voreingestellte Bandbreitengrenze.

Nach weiterer Analyse in Zusammenarbeit mit dem Telekom-Team stellten wir fest, dass der Shaper auf der Bielefelder-Seite am Broadband Network Gateway (BNG) wahrscheinlich dafür verantwortlich ist. Der Shaper wurde auf Layer 2 (L2) und nicht auf Layer 1

(L1) eingestellt. Somit wurde mehr Bandbreite zugelassen.

Für die Layer 3 (L3) -Framegröße von 128 Bytes werden bei L2 aufgrund des Ethernet-Headers und -Trailers weitere 18 Bytes berücksichtigt, was zu 14% Overhead führt. Auf L1 trägt der Inter-Frame-Gap (IFG) und die Präambel zusätzlich 20 Bytes, was einem Overhead von 13,6% entspricht.

Wenn also der Shaper für eine spezifische Datenratengrenze (x Mbit/s) am L2 verwechselt wurde, wird die tatsächliche Datenrate am L1 höher sein, genau berechnet als (x Mbit/s + 14% der ursprünglichen x Mbit/s Geschwindigkeit).

## Zusammenfassung

EANTC testete die Dienste BPA L und XL erfolgreich. Die Tests bezogen sich auf kritische Performance-Metriken wie Bandbreite, Latenz, Jitter und Paketverlust in den drei verschiedenen Qualitätsklassen. Die Ergebnisse lagen jeweils innerhalb der laut Leistungsbeschreibung zugesicherten Werte für den jeweiligen Anschluss-Typ.

Die Leistungsbeschreibung der Telekom gibt die Latenzwerte als One-Way-Delay an. Zur Vereinfachung des

Messaufbaus haben wir uns entschieden, das Round-Trip-Delay zu messen. Bei einer RTD-Messung ist es nicht möglich, die Latenz für die jeweilige Richtung separat zu bestimmen. In unseren Ergebnissen konnten wir aufzeigen, dass auch die maximalen Latenzwerte innerhalb der vereinbarten Werte der Leistungsbeschreibung und die RTD-Ergebnisse eine valide Messung darstellen.

Darüber hinaus zeigen unsere Ergebnisse, dass die Qualität der BPA-Anschlüsse und des InternetConnect Dienstes im Testzeitraum nicht nur den Werten in der Leistungsbeschreibung entsprach, sie wurden sogar übertroffen.

Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse:

Testfall	Ergebnisse	Urteil
Durchsatzleistung BPA L	Wir haben die Weiterleitungsleistung von 1 Gbit/s-Verbindungen (50, 100, 300, 600, 800, 1000 Mbit/s) unter Verwendung von 128/1.518 Byte Frame erfolgreich überprüft. Wir haben Paketverluste im Verkehrsfluss festgestellt, der aus kleinen Rahmengrößen besteht.* Bandbreitenzuweisungskonfigurationen ermöglichen höhere Datenraten.**	
Messung von Delay und Paketverlust BPA L	Wir haben überprüft, dass sowohl die maximale Round Trip Delay (RTD) als auch die Delay Variation (DV) den Anforderungen von 1 Gbit/s-Verbindungen mit kleinen Rahmen entsprechen. Wir stellten fest, dass der Paketverlust innerhalb der akzeptablen Grenzen des SLA der Telekom lag.	
Durchsatz BPA XL	Wir haben erfolgreich die Forwarding-Leistung von 10Gbit/s-Verbindungen (2.5, 5, 7.5, 10 Gbit/s) unter Verwendung von 128/1518 Bytes Frame überprüft Bandbreitenzuweisungskonfigurationen ermöglichen höhere Datenraten.**	
Delay und Paketverlustmessung BPA XL	Wir haben überprüft, dass sowohl die maximale Round Trip Delay (RTD) als auch die Delay Variation (DV) den Anforderungen von 10 Gbit/s-Verbindungen mit kleinen Rahmen entsprechen. Während der Tests wurden keine Paketverluste beobachtet.	

Tabelle 7: Zusammenfassung Testergebnisse

\*) Während der Tests ist eine Auffälligkeit mit der Leistung eines 1 G-Remote-Geräts aufgetreten. Diese Auffälligkeit zeigte sich als Paketverlust am Anfang der gesendeten Streams. Dies trat vor allem auf, wenn hohe Bandbreiten zu Beginn gesendet wurden. Aus Sicht der Telekom gilt dieser Grad des Paketverlustes jedoch für reale Anwendungen als vernachlässigbar.

\*\*) Darüber hinaus ergaben unsere Tests, dass das Design des Shapers, der laut Beschreibung auf L2 basiert, eine höhere Datenrate als zugesichert ermöglicht. Dieses Ergebnis ist für den Kunden in jedem Fall vorteilhaft.

This report is copyright © 2024 EANTC AG.

While every reasonable effort has been made to ensure accuracy and completeness of this publication, the authors assume no responsibility for the use of any information contained herein. All brand names and logos mentioned here are registered trademarks of their respective companies in the United States and other countries.

EANTC AG  
Salzuffer 14, 10587 Berlin, Germany  
info@eantc.de, <https://www.eantc.de/>  
[v1.3 20241023]