

EIN VERGLEICH DER GESAMTBETRIEBSKOSTEN ZWISCHEN PRIVATEN WANS UND MANAGED NETWORK SERVICES FÜR UNTERNEHMEN

Dr. Peter Fetterolf

FÜHRUNGSKRÄFTE ZUSAMMENFASSUNG

Private Unternehmensnetzwerke nutzen in der Regel MPLS-, SD-WAN- oder Carrier Ethernet-Services. Managed Network Services sind allgegenwärtig und einfach zu implementieren. In einigen Fällen ist es jedoch sinnvoll, dass Unternehmen den Aufbau eines privaten Netzwerks mit Dark Fiber in Betracht ziehen. Insbesondere Unternehmen, die eine oder mehrere der folgenden Anforderungen erfüllen, sollten ein privates WAN mit Dark Fiber erwägen:

- Verbindungsgeschwindigkeiten über 70 Gbit/s
- Extrem niedrige Latenzzeiten
- Hochverfügbare Netzwerktopologien

Private WANs, die Dark Fiber nutzen, ermöglichen Unternehmen den Aufbau hochskalierbarer Netzwerke mit geringer Latenz und hoher Verfügbarkeit. Während sich die Kosten für Managed Network Services typischerweise nach der Portgeschwindigkeit und der garantierten Bandbreite der Verbindungen richten, basieren die Kosten für Dark Fiber auf dem Standort der Glasfaser und der Entfernung zwischen den Endpunkten. Das bedeutet, dass die Kosten für Managed Network Services mit zunehmender Bandbreite weiter steigen, während die Kosten für ein privates WAN mit Dark Fiber mit zunehmender Bandbreite relativ konstant bleiben. Daher können diese privaten Netzwerke auf extrem hohe Bandbreiten hochskalieren, ohne dass die Kosten dramatisch ansteigen. Darüber hinaus kann Dark Fiber extrem niedrige Latenzzeiten bieten, da sich zwischen den Endpunkten des Unternehmens keine Geräte des Netzbetreibers befinden und Unternehmen die Glasfaserrouten so wählen können, dass die Latenzzeiten minimiert werden. Unternehmen können Glasfasernetze auch in Ring- oder Mesh-Topologien anlegen, um hochverfügbare Netzwerke zu schaffen. Die Finanzanalyse in diesem Papier bedient sich nordamerikanischer Preisdaten; die Ergebnisse können jedoch weltweit angewendet werden. Wenn der Netzwerkbedarf und die Anforderungen die Verwendung von Dark Fiber rechtfertigen, muss ein Unternehmen die Verfügbarkeit und die Preise von Glasfaser in seinen eigenen Regionen und Städten ermitteln.

Folgende Arten von Unternehmen könnten z. B. Kandidaten für private WANs mit Dark Fiber sein:

- Finanzdienstleistungs- und Programmhandelsunternehmen
- Hyperscaler und große Webservice-Unternehmen
- Staatliche Organisationen

Dieses Dokument gibt einen Überblick über private WANs und präsentiert die Ergebnisse eines Gesamtbetriebskostenmodells, das ein privates WAN mit Dark Fiber mit einem Managed Network Service (Carrier Ethernet) vergleicht. Wir verwenden Carrier Ethernet als Vergleich, weil es der kostengünstigste Netzwerkdienst für Standorte ist, die eine sehr hohe Bandbreite benötigen (10 Gbit/s oder mehr).

ENTERPRISE-NETZWERKE – HINTERGRUND

Unternehmen bauen schon seit vielen Jahren ihre eigenen privaten Netzwerke auf. Private Netzwerke begannen in den 1990er-Jahren mit angemieteten T1-Leitungen und virtuellen Frame Relay-Schaltungen und haben sich zu MPLS-, SD-WAN- und Carrier Ethernet-Services entwickelt. Die Anforderungen an Enterprise-Netzwerke richten sich nach Art und Größe des Unternehmens sowie nach den spezifischen Anforderungen von Anwendungen und Anwendungsfällen. Die Anforderungen an Enterprise-Netzwerke lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- Sicherheit
- Garantierte Bandbreite, Jitter und Latenz
- Netzwerkverfügbarkeit

Die relativen Bandbreiten- und Sicherheitsniveaus für verschiedene Netzwerkservices sind in Abbildung 1 dargestellt. Breitbandinternet für Privathaushalte und kleine Unternehmen ist der kostengünstigste und am wenigsten sichere Dienst, der mit niedrigen bis mittleren Bandbreiten (1 Gbit/s oder weniger) betrieben wird. Direkter Internetzugang ist ein kommerzielles Hochgeschwindigkeits-Internetangebot, das höhere Bandbreiten (bis zu 10 Gbit/s) mit Best-Effort-Datenverkehr und niedrigen Sicherheitsniveaus bietet. Herkömmliche MPLS- und SD-WAN-Services bieten niedrige bis mittlere Bandbreiten bei hohen Sicherheitsniveaus. Carrier Ethernet-Services kann auf höhere Bandbreiten bei mittlerem Sicherheitsniveau skaliert werden. Für Unternehmen mit extrem hohen Bandbreiten- und/oder Sicherheitsanforderungen sind private WANs mit Dark Fiber eine weitere Option. Dark Fiber ermöglicht es Unternehmen, ein privates Netzwerk auf bestehenden Glasfaserkabeln aufzubauen, die sie von einem oder mehreren Service Providern mieten.

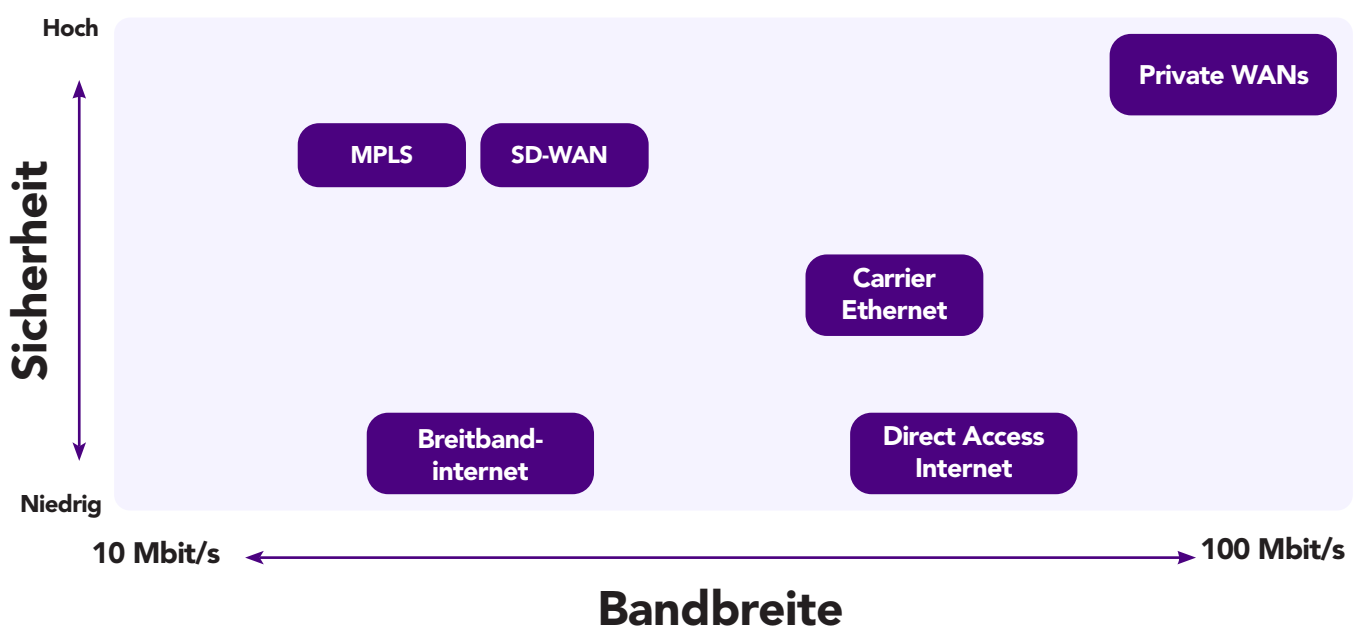


Abbildung 1: Network Services im Spektrum von Bandbreite und Sicherheit

Der Aufbau eines privaten WANs mit Dark Fiber ist ein teures Unterfangen und kommt nur für Unternehmen infrage, die eine oder mehrere der folgenden Netzwerkanforderungen erfüllen:

- Sehr hohe Bandbreite
- Extrem geringe Latenz
- Hohe Verfügbarkeit

Einige Beispiele von Unternehmen, die private WANs mit Dark Fiber aufbauen, sind in Tabelle 1 dargestellt.

Organisation	Netzwerkanforderungen
Programmhandelsunternehmen	Der Programmhandel erfordert eine extrem niedrige Latenzzeit, damit die Programmalgorithmen effektiv arbeiten können. Diese Firmen haben private Glasfasernetze aufgebaut, um Latenzzeiten zu minimieren. Finanznetzwerke erfordern eine präzise Aufzeichnung und müssen einen genauen Zeitstempel der Tageszeit haben.
Finanzdienstleister	Finanzdienstleister können sehr große Bandbreitenanforderungen und hohe Sicherheitsanforderungen haben, insbesondere wenn sie sich mit Partnern wie Moody's verbinden. Einige Firmen haben private WANs mit Dark Fiber eingesetzt, um diese Anforderungen zu erfüllen und gleichzeitig die Netzwerkkosten für Verbindungen mit extrem hoher Bandbreite zu senken.
Hyperscaler	Hyperscaler haben einen enormen Bandbreitenbedarf und bauen seit vielen Jahren private Netzwerke auf Dark Fiber auf, um exponentielles Bandbreitenwachstum zu ermöglichen.
Verteidigungsministerium	Hohe Sicherheit, geringe Latenz und hohe Bandbreite sind Anforderungen für einige Organisationen der Verteidigungsministerien.
Geheimdienste	Hohe Sicherheit, geringe Latenz und hohe Bandbreite sind Anforderungen für einige Organisationen der Geheimdienste.

Tabelle 1. Beispiele für Organisationen mit Dark Fiber-Anforderungen

Entscheidungen über Networkservices hängen stark von der Art der Organisation, den Anwendungsfällen und den Anwendungsanforderungen ab. In den folgenden Abschnitten geben wir einen Überblick über Dark Fiber-basierte private WANs, erläutern die Sweet Spots für deren potenziellen Einsatz und präsentieren einen wirtschaftlichen Vergleich von privaten WANs mit Managed Carrier Ethernet-Services.

Privates WAN mit Dark Fiber

Unternehmen, die eine extrem hohe Bandbreite, niedrige Latenzzeiten und Sicherheit benötigen, sollten den Aufbau eines privaten Netzwerks mit Dark Fiber in Betracht ziehen. Dark Fiber ist eine zusätzliche Glasfaser in einer nicht aktivierten, ungenutzten Leitung, die zur Vermietung zur Verfügung steht. Der Grund dafür, dass es eine Fülle von Dark Fiber gibt, ist, dass ein großer Teil der Kosten für den Bau von Glasfasernetzwerken entfällt. Die Kosten für Glasfaserpaare in Kabeln sind viel geringer als die Kosten für das Ausheben von Gräben und Rohren sowie das Verlegen von Glasfaserkabeln. Glasfaserkabel können bis zu 864 Faserstränge in einem einzigen Kabel haben. Jedes Glasfaserpaar (zwei Stränge) kann bis zu 96 Wellenlängen übertragen, wobei jede Wellenlänge eine Transportkapazität von bis zu 400 Gbit/s bieten kann. Die Bandbreite in einem einzelnen Glasfaserpaar beträgt 38,4 Tbit/s und ist damit praktisch unbegrenzt. In vielen Industrie- und Entwicklungsländern haben Netzbetreiber normalerweise einen großen Überschuss an ungenutzten Glasfasersträngen und sind in der Regel bereit, Glasfaserpaare an Unternehmen oder andere Betreiber zu vermieten, die private Glasfasernetze benötigen.

Beispiele für Netzbetreiber, die Dark Fiber mieten, sind:

- Große nationale und globale Service Provider, die über umfangreiche Glasfasernetze verfügen, z. B. AT&T, Telefonica, Eurofiber und euNetworks
- Großhandels-Service Provider
- Elektrizitäts-, Gas- und Wasserversorgungsunternehmen, die Glasfasernetze auf ihren Wegstrecken errichtet haben
- Städtische und staatliche Regierungsorganisationen, die in bestimmten Regionen Glasfaserkabel verlegt haben
- Lokale Service Provider, die regionale Glasfasernetze besitzen
- Eisenbahnunternehmen, die neben ihren Gleisen Glasfaser entlang ihrer Bahntrassen verlegt haben

Die wichtigsten Vorteile von Dark Fiber sind in Tabelle 2 dargestellt.

Vorteil von Dark Fiber	Beschreibung
Skalierbarkeit	Ein einziges Glasfaserpaar kann auf extrem hohe Datenraten skaliert werden. Router können mit 100 Gbit/s oder 400 Gbit/s an ein Glasfaserpaar angebunden sein. Wird zusätzliche Bandbreite benötigt, kann DWDM eingesetzt werden, das praktisch unbegrenzt skalierbar ist. C-Band-DWDM unterstützt bis zu 96 Wellenlängen auf einem Glasfaserpaar, wobei jede Wellenlänge bis zu 400 Gbit/s übertragen kann. Das ergibt 38,4 Tbit/s pro Faserpaar. Die Mietkosten für ein Glasfaserpaar sind unabhängig von der für den Netzwerkverkehr benötigten Bandbreite gleich hoch.
Vorhersehbare Kostenstrukturen für steigende Netzwerkbandbreite	Die primären Kosten für die Anmietung eines Dark Fiber-Paars sind abhängig vom Standort der Glasfaser und der Entfernung zwischen den zu verbindenden Endpunkten. Die Mietkosten für ein Glasfaserpaar sind unabhängig von der für den Netzwerkverkehr benötigten Bandbreite gleich hoch. Es fallen mit steigender Bandbreite einige zusätzliche Kosten für Netzwerkgeräte an, diese sind im Vergleich zu den Kosten für die Glasfasermiete und auch zu den Kosten für vergleichbare MPLS-Services oder Carrier Ethernet-Services jedoch recht gering.
Niedrige Latenz	Jede Verbindung über einen Managed Network Service wie MPLS, Internet oder Carrier Ethernet durchläuft mehrere Hops über aktive Netzwerkgeräte wie Router, Switches und DWDM-ROADMs. Im Gegensatz dazu verfügt eine Dark Fiber-Verbindung über keine aktiven Netzwerkgeräte; daher ist die Latenzzeit geringer. Unternehmen, die private WANs mit Dark Fiber aufbauen, können sich für Glasfaser-Router entscheiden, um Netzwerkentfernung und Latenz zu minimieren.
Sicherheit	Dark Fiber-basierte Netzwerke bieten von Natur aus eine hohe Sicherheit, da sich keine Router oder Switches von Service Providern zwischen den Endpunkten des Unternehmens befinden. Das Unternehmen kontrolliert seine Router, und die Glasfaser kann ausschließlich durch einen physischen Eingriff überwacht werden, was den Networkbetreiber des Unternehmens alarmieren würde.
Redundanz und Ausfallsicherheit	Unternehmen können mit Dark Fiber die Netzwerkredundanz und -zuverlässigkeit erhöhen, da sie Glasfasern in verschiedenen Leitungen mit unterschiedlichen Routen verwenden können. Sie können auch Ring- und Mesh-Netzwerke anlegen, die von Natur aus fehlertolerant gegenüber Unterbrechungen der Glasfasern sind. Unternehmen müssen sich auch keine Sorgen machen, dass die Geräte eines Service Providers ausfallen und den Service unterbrechen, da sich keine Geräte des Service Providers im Netzwerk befinden. Unternehmen müssen ihre eigenen Geräte verwalten, haben aber größere Transparenz und Kontrolle.

Tabelle 2. Vorteile von privatem WAN mit Dark Fiber

Vergleich der Gesamtbetriebskosten von privaten WANs mit Dark Fiber und Carrier Ethernet

In diesem Abschnitt vergleichen wir die Gesamtbetriebskosten (TCO) eines Carrier Ethernet-Service mit einem privaten Dark Fiber-WAN-Netzwerk. Bei höheren Bandbreiten ist der Carrier Ethernet-Service kostengünstiger als MPLS oder SD-WAN; daher verwenden wir Carrier Ethernet als Vergleich mit Dark Fiber. Der Preis sowohl für Carrier Ethernet als auch für private WAN-Dark-Fiber kann je nach Region Service Provider stark variieren. Wir verwenden einen Durchschnittspreis für diese Services in Nordamerika. Das Unternehmen nutzt Hochgeschwindigkeits-Router für die Verbindung sowohl mit Carrier Ethernet- als auch mit privaten WAN-Dark-Fiber-Services. Obwohl die Router gleich sind, variieren die Konfigurationen und Kosten des Routers je nach Netzwerkarchitektur.

Die Preisgestaltung für Carrier Ethernet-Service basiert auf Port-Geschwindigkeiten und Committed Information Rates (CIR). Da wir die Kosten für Verbindungen mit hoher Bandbreite vergleichen, gehen wir davon aus, dass Carrier Ethernet 10GE-Ports mit 10 Gbit/s CIR verwendet. Dies ist typischerweise die maximale Portgeschwindigkeit und CIR für die meisten Carrier Ethernet-Services. Wir gehen außerdem davon aus, dass mit zunehmender Anzahl von 10GE-Ports ein Rabatt auf den Carrier Ethernet-Service gewährt wird. Dies stellt einen Volumenrabatt dar. Die Preise für Dark Fiber variieren zwischen städtischen und Langstreckennetzen. Der Preis für Dark Fiber-Paare wird normalerweise pro Meile (bzw. Kilometer) berechnet. Unter Verwendung nordamerikanischer Branchendurchschnitte sind die Annahmen für die Preisgestaltung von Services in Tabelle 3 dargestellt.

Übertragungstechnologie	Preis
Carrier Ethernet, monatlich: 10 Gbit/s CIR und 10GE-Port (3 Jahre Laufzeit)	1.300
Rabatt für Carrier Ethernet pro Port für zusätzliche 10GE-Ports	2 %
Monatlicher Preis pro Dark Fiber-Paar pro Meile: Langstrecke	9
Monatlicher Preis pro Dark Fiber-Paar pro Meile: Metro	29

Tabelle 3. Annahmen zur Preisgestaltung für Services

Es ist zu beachten, dass der Preis sowohl für Carrier Ethernet als auch für Dark Fiber zwischen den Regionen und Städten in Nordamerika und weltweit variiert. Obwohl die Finanzanalyse in diesem Dokument Preisdaten aus Nordamerika verwendet, können die Ergebnisse weltweit angewendet werden (Dark Fiber ist in Europa, Japan und Korea in großem Umfang vorhanden). Wenn der Netzwerkbedarf und die Anforderungen die Verwendung von Dark Fiber rechtfertigen, muss ein Unternehmen die Verfügbarkeit und die Preise von Glasfaser in seinen eigenen Regionen und Städten ermitteln.

Eine weitere wichtige Komponente der TCO-Analyse sind Netzwerktopologie und Verbindungsdatenraten. Zur Vereinfachung und Normalisierung der Analyse betrachten wir ein einfaches Netzwerk mit drei Knoten und nehmen an, dass der Verkehr zwischen allen Knoten gleich stark ist. Die Topologien für Carrier Ethernet und Dark Fiber sind in Abbildung 2 bzw. Abbildung 3 dargestellt. Im Carrier Ethernet-Netzwerk gehen wir davon aus, dass jeder Router über einen oder mehrere 10 GE-Ports mit einem Carrier Ethernet-Service verbunden ist. Alle drei Knoten sind mit virtuellen Ethernet-Leitungen mit einer CIR von 10 Gbit/s verbunden. Das Dark Fiber-Netzwerk mit einem physikalischen Glasfaserring verbindet die Router in jedem der drei Knoten.

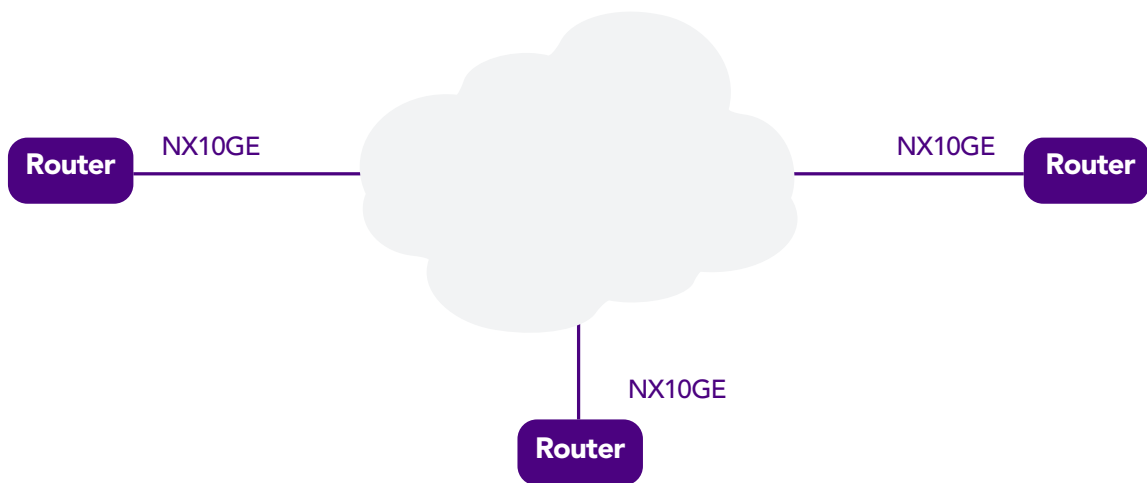


Abbildung 2. Carrier Ethernet-Netzwerktopologie

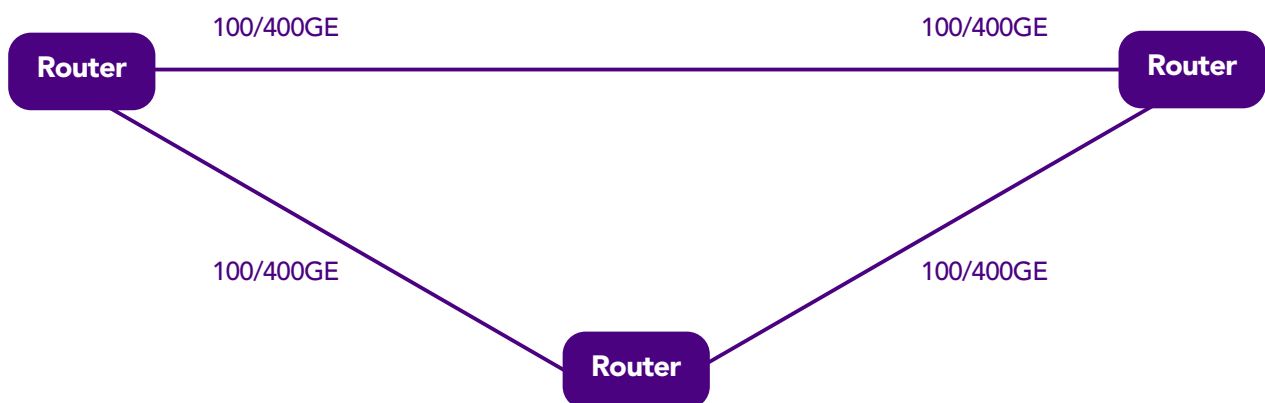


Abbildung 3. Dark Fiber-Netzwerktopologie

Wir berücksichtigen in unserem TCO-Modell auch die Kosten für den Router. Für die Analyse werden die Juniper MX 240 Router verwendet. Für das Carrier Ethernet-Netzwerk verwenden wir mehrere 10GE-Ports an einem MX 240. Für das Dark-Fiber-Netzwerk verwenden wir entweder 100GE- oder 400GE-Ports, je nachdem, welche Datenrate für die Verbindung benötigt wird. Wir berücksichtigen auch MPLS-Softwarekosten.

Eine weitere Komponente der TCO-Analyse sind die Betriebskosten (OpEx). Wir gehen davon aus, dass die Arbeitskosten für die Verwaltung eines Dark Fiber-Netztes höher sind als für die Verwaltung eines Carrier Ethernet-Services-Netzwerks. Für das kleine Netzwerk mit drei Knoten in diesem Beispiel sind unsere Annahmen für die Arbeitskosten in Tabelle 4 dargestellt.

	Preis
Jährliche FTE-Gesamtausgaben	150.000 USD
Erforderliche FTEs für Carrier Ethernet-Service	0,25
Erforderliche FTEs für Dark Fiber-Service	1

Tabelle 4. Annahmen für Betriebskosten

Natürlich sind die meisten Unternehmensnetzwerke komplexer als das in unserem TCO-Modell verwendete einfache Netzwerk. Die Ergebnisse sind jedoch auf größere, komplexere Netzwerke anwendbar, da die Vorteile von Dark Fiber bei einer bestimmten Verbindung mit Bedarf an hoher Bandbreite und/oder niedriger Latenz liegen. Viele Netzwerke könnten hybride Architekturen sein, bei denen einige Verbindungen Dark Fiber nutzen und andere Verbindungen eher traditionelle Managed Network Services wie Carrier Ethernet oder MPLS.

ERGEBNISSE FÜR GESAMTBETRIEBSKOSTEN (TCO)

Die Gesamtbetriebskosten beinhalten die folgenden Komponenten:

- Übertragungskosten (Carrier Ethernet oder Dark Fiber)
- Kosten für Router
- Betriebskosten (OpEx)

Wir vergleichen zwei Szenarien über drei Jahre:

- Städtisches Netzwerk mit Verbindungsdistanzen von 75 Meilen
- Langstreckennetzwerk mit Verbindungsdistanzen von 500 Meilen

Die kumulierten Drei-Jahres-TCO des städtischen Netzwerks sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Analyse zeigt die TCO sowohl für das Dark Fiber-Netzwerk- als auch für das Carrier Ethernet -Szenario für unterschiedliche Verbindungsbandbreiten. Der Verbindungs-Bandbreitenbereich beträgt 5 Gbit/s bis 400 Gbit/s. In unserem Modell gehen wir davon aus, dass dies die erforderliche Bandbreite zwischen allen drei Routern ist. Das TCO-Modell zeigt, dass der Schwellenwert bei 70 Gbit/s für jede Verbindung im Netzwerk liegt. Das bedeutet, dass in einem städtischen Netzwerk Verbindungen mit einer Bandbreite von über 70 Gbit/s kostengünstiger sind, wenn sie über Dark Fiber-Netze laufen. Eine Aufschlüsselung der Übertragungs- und Routingkosten ist in Abbildung 5 bzw. Abbildung 6 dargestellt. Der Schnittpunkt der Übertragungskosten für Carrier Ethernet verglichen mit Dark Fiber (ohne Router und Arbeitskosten) liegt bei 20 Gbit/s. Die Routerkosten sind für das Carrier Ethernet-Netzwerk über 5 Gbit/s immer höher, aber der Unterschied ist gering, bis die Bandbreite über 75 Gbit/s steigt. Wir beziehen auch die Differenz der Arbeitskosten in die TCO mit ein, die hier nicht in einem Diagramm dargestellt wird, aber den TCO-Schwellenwert in eine höhere Bandbreite treibt als jener bei den Übertragungskosten.

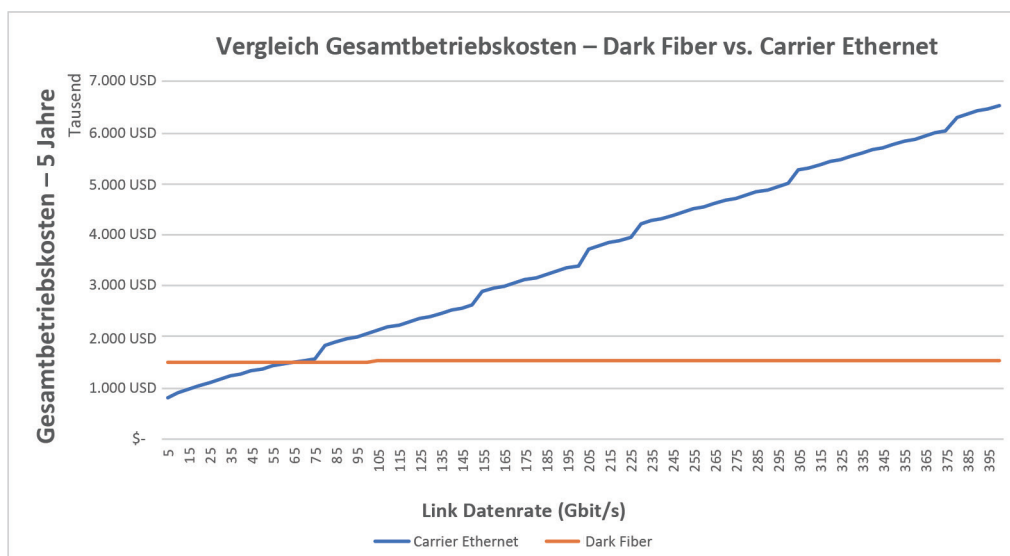


Abbildung 4. Drei-Jahres-TCO-Vergleich für Metro-Netzwerk von Dark Fiber vs. Carrier Ethernet

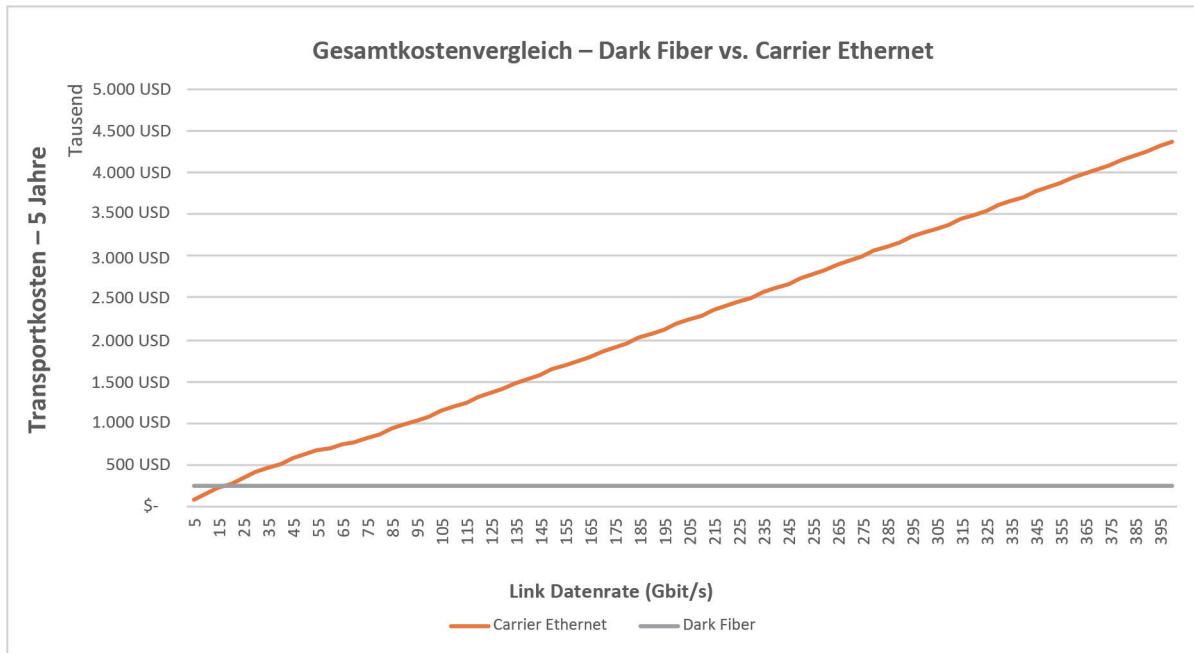


Abbildung 5. Drei-Jahres-Vergleich der Übertragungskosten für Metro-Netzwerk von Dark Fiber vs. Carrier Ethernet

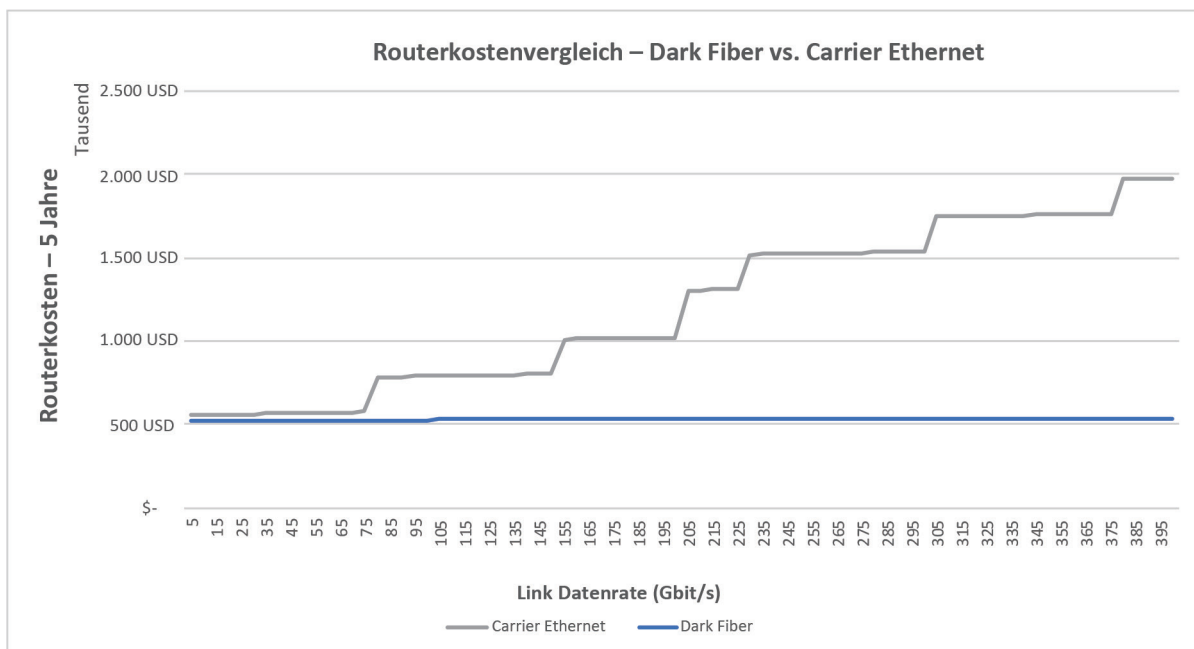


Abbildung 6. Drei-Jahres-Vergleich der Router-Kosten für Metro-Netzwerk von Dark Fiber vs. Carrier Ethernet

Die kumulierten Drei-Jahres-TCO des Langstreckennetzes sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Ergebnisse unterscheiden sich nicht wesentlich von denen des Metro-Netzwerks. Der Schwellenwert, an dem Dark Fiber kostengünstiger als Carrier Ethernet wird, liegt bei 75 Gbit/s. Die Drei-Jahres-TCO der Übertragungs- und Router-Kosten sind in Abbildung 8 bzw. Abbildung 9 dargestellt.

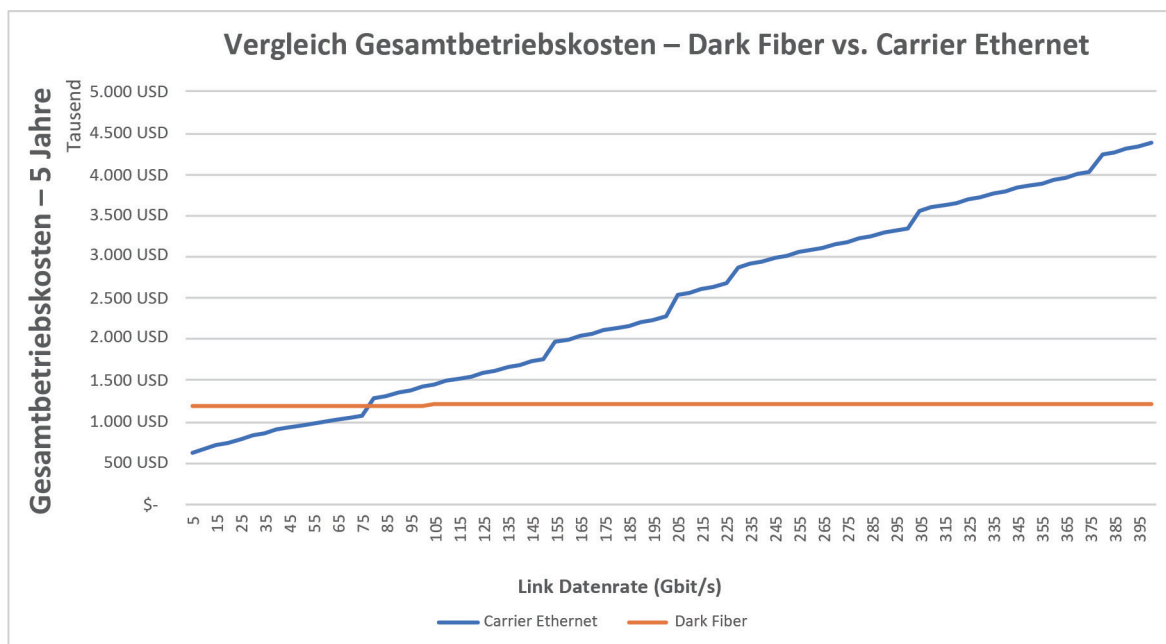


Abbildung 7. Drei-Jahres-TCO-Vergleich für Langstreckennetzwerk von Dark Fiber vs. Carrier Ethernet

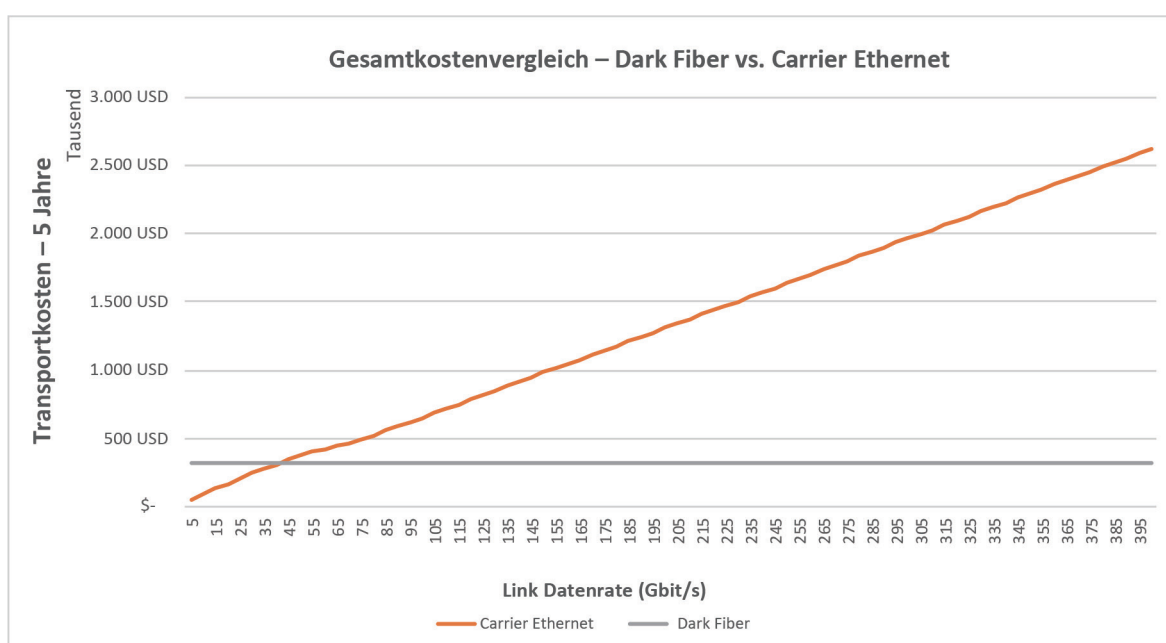


Abbildung 8. Drei-Jahres-Vergleich der Übertragungskosten für Langstreckennetzwerk von Dark Fiber vs. Carrier Ethernet

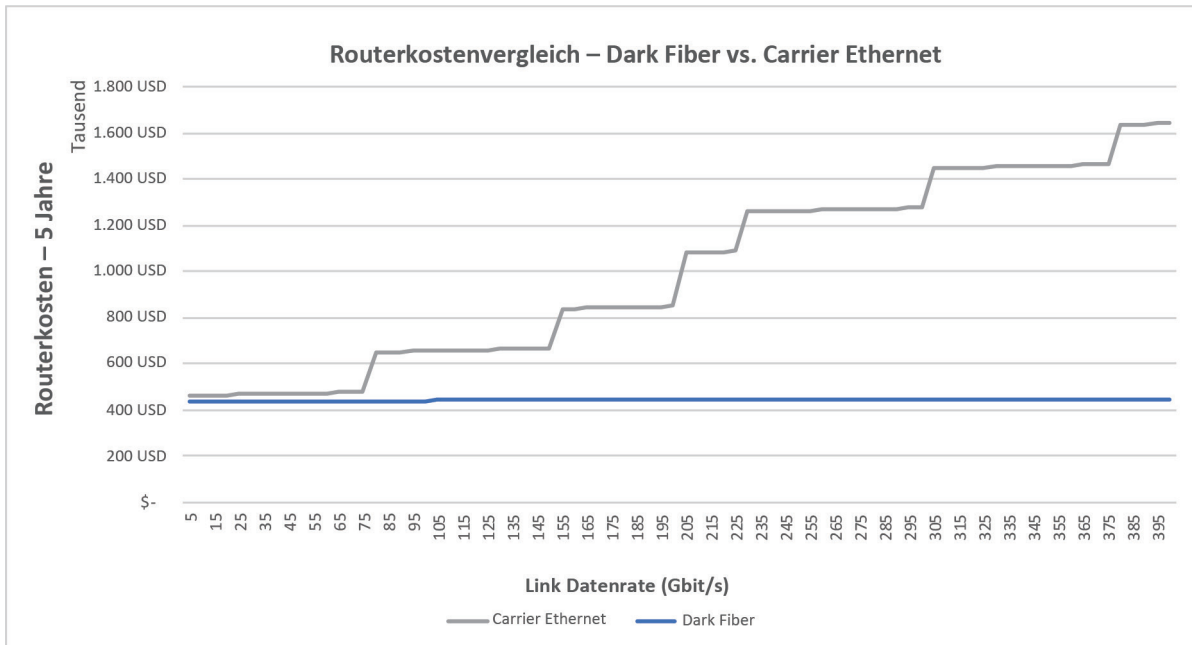


Abbildung 9. Drei-Jahres-Vergleich der Router-Kosten für Langstreckennetzwerk von Dark Fiber vs. Carrier Ethernet

Zusammenfassung und Fazit

Obwohl die meisten Unternehmensnetzwerke für Standard-Netzwerkservices wie MPLS, SD-WAN und Carrier Ethernet geeignet sind, gibt es eine Klasse von Unternehmensnetzwerken mit speziellen Anforderungen, die den Aufbau eines privaten Netzwerks mit Dark Fiber rechtfertigen könnten. Die wichtigsten Faktoren für ein privates Dark-Fiber-Netzwerk sind einer oder mehrere der folgenden Punkte:

- Verbindungsgeschwindigkeiten über 70 Gbit/s
- Extrem niedrige Latenzzeiten
- Hochverfügbare Netzwerktopologien