

Lösung von Übungsblatt 7

Aufgabe 1 (Datentransferrate und Latenz)

Der preußische optische Telegraf (1832-1849) war ein telegrafisches Kommunikationssystem zwischen Berlin und Koblenz in der Rheinprovinz.

Behördliche und militärische Nachrichten konnten mittels optischer Signale über eine Distanz von fast 550 km via 62 Telegrafenstationen übermitteln werden.

Jede Station verfügte über 6 Telegrafenarme mit je 4 Positionen zur Kodierung.

1. **Datentransferrate:** Wie viele Bits können pro Sekunde übertragen werden, wenn man alle 10 Sekunden eine neue Einstellung der Telegrafenarme vornehmen kann?

Mit 6 Flügeln und 4 Positionen pro Flügel gibt es $4^6 = 4096$ Flügelpositionen. damit kann man 12 Bits darstellen.

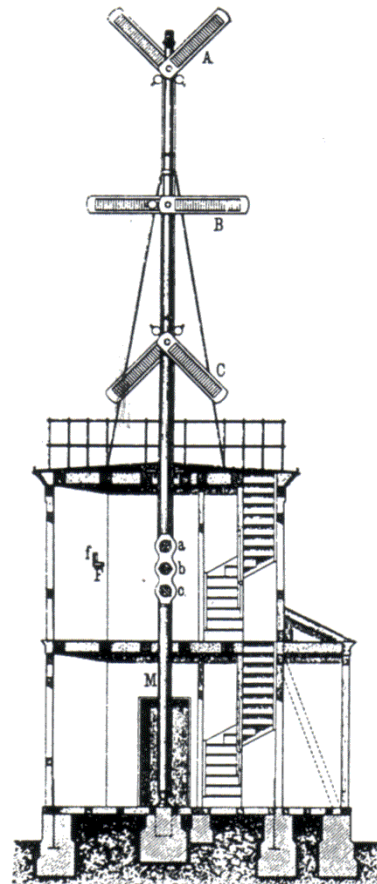
$$\text{Datentransferrate} = \frac{12 \text{ Bits}}{10 \text{ s}} = 1,2 \text{ Bit/s}$$

2. **Latenz:** Wie groß ist die Ende-zu-Ende-Verzögerung, wenn jede Station 1 Minute für die Weiterleitung benötigt? Einfacher gefragt: Wie lange dauert die Übertragung einer Nachricht von Berlin nach Koblenz?

Bei 62 Stationen müssen 61 Stationen weiterleiten, also benötigt man 61 Minuten.

Hinweis 1: Sie brauchen keine komplexe Formel um diese Übungsaufgabe zu berechnen.

Hinweis 2: Die letzte Station muss die Nachricht nicht mehr weiterleiten.



Eine ähnliche Aufgabe befindet sich in: Jörg Roth. Prüfungstrainer Rechnernetze. Vieweg (2010). Bildquelle: Wikipedia (CC0)

Aufgabe 2 (Übertragungsdauer)

Ein Bild enthält 1920x1080 Pixel (Full HD) in Echtfarben (*True Color*). Das bedeutet, dass pro Pixel 3 Bytes für die Repräsentation der Farbinformation nötig sind.

Der erste Schritt ist die Größe des Bildes in Bits zu ermitteln.

$$1920 * 1080 \text{ Pixel} = 2.073.600 \text{ Pixel}$$

$$2.073.600 \text{ Pixel} * 3 \text{ Bytes/Pixel} = 6.220.800 \text{ Bytes}$$

$$6.220.800 \text{ Bytes} * 8 = 49.766.400 \text{ Bits}$$

1. Berechnen Sie die Zeit zur Übertragung des unkomprimierten Bildes via...

- Modem mit 56 kbps Datendurchsatzrate

$$\frac{49.766.400 \text{ Bits}}{56.000 \text{ Bits/s}} \approx 888,7 \text{ s}$$

- ISDN mit 64 kbps Datendurchsatzrate

$$\frac{49.766.400 \text{ Bits}}{64.000 \text{ Bits/s}} \approx 777,6 \text{ s}$$

- DSL mit 1 Mbps Datendurchsatzrate

$$\frac{49.766.400 \text{ Bits}}{1.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 49,8 \text{ s}$$

- Ethernet mit 10 Mbps Datendurchsatzrate

$$\frac{49.766.400 \text{ Bits}}{10.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 5 \text{ s}$$

- DSL mit 16 Mbps Datendurchsatzrate

$$\frac{49.766.400 \text{ Bits}}{16.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 3,2 \text{ s}$$

- Ethernet mit 100 Mbps Datendurchsatzrate

$$\frac{49.766.400 \text{ Bits}}{100.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 0,5 \text{ s}$$

- Ethernet mit 1 Gbps Datendurchsatzrate

$$\frac{49.766.400 \text{ Bits}}{1.000.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 0,05 \text{ s}$$

Hinweis: 1 kbps = 1.000 Bits pro Sekunde

1 Mbps = 1.000.000 Bits pro Sekunde

1 Gbps = 1.000.000.000 Bits pro Sekunde

2. Angenommen, das Bild wird mit einem Kompressionsalgorithmus komprimiert, der die Bildgröße um 85% verringert. Berechnen Sie die Zeit zur Übertragung des Bildes via...

Zuerst die Größe des komprimierten Bildes in Bits ermitteln.

$$49.766.400 \text{ Bits} * 0,15 = 7.464.960 \text{ Bits}$$

- Modem mit 56 kbps Datendurchsatzrate

$$\frac{7.464.960 \text{ Bits}}{56.000 \text{ Bits/s}} \approx 133,3 \text{ s}$$

- ISDN mit 64 kbps Datendurchsatzrate

$$\frac{7.464.960 \text{ Bits}}{64.000 \text{ Bits/s}} \approx 116,7 \text{ s}$$

- DSL mit 1 Mbps Datendurchsatzrate

$$\frac{7.464.960 \text{ Bits}}{1.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 7,5 \text{ s}$$

- Ethernet mit 10 Mbps Datendurchsatzrate

$$\frac{7.464.960 \text{ Bits}}{10.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 0,8 \text{ s}$$

- DSL mit 16 Mbps Datendurchsatzrate

$$\frac{7.464.960 \text{ Bits}}{16.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 0,5 \text{ s}$$

- Ethernet mit 100 Mbps Datendurchsatzrate

$$\frac{7.464.960 \text{ Bits}}{100.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 0,08 \text{ s}$$

- Ethernet mit 1 Gbps Datendurchsatzrate

$$\frac{7.464.960 \text{ Bits}}{1.000.000.000 \text{ Bits/s}} \approx 0,008 \text{ s}$$

Aufgabe 3 (Parallele und serielle Datenübertragung)

1. Erklären Sie den Unterschied zwischen serieller und paralleler Datenübertragung.

Bei serieller Datenübertragung werden die Bits auf einer Datenleitung nacheinander übertragen.

Bei paralleler Datenübertragung gibt es neben den Steuerleitungen mehrere Datenleitungen.

2. Nennen Sie einen Vorteil von serieller gegenüber paralleler Datenübertragung.

Weniger kostenintensiv und weniger aufwändig bei großen Distanzen.

3. Nennen Sie einen Vorteil von paralleler gegenüber serieller Datenübertragung.

Höhere Datenübertragungsraten sind möglich, da mehr Datenleitungen vorhanden sind.

4. Verwenden Computernetze üblicherweise parallele oder serielle Datenübertragung? (Begründen Sie Ihre Antwort!)

Serielle Datenübertragung weil parallele Datenübertragung wäre für große Distanzen zu teuer.

Aufgabe 4 (Daten speichern und übertragen)

Verbreitete Annahmen zu Daten sind:

- Daten sind heute einfach zu speichern.
- Daten sind heute einfach zu transportieren bzw. zu übertragen.

In diese Übung untersuchen Sie, ob die Aussagen korrekt sind.

1. Bei einem wissenschaftlichen Experiment fallen jährlich 15 Petabyte Daten an, die gespeichert werden müssen. Berechnen Sie die Höhe des Stapels, wenn zur Speicherung...

- CDs (Kapazität: 600 MB = $600 * 10^6$ Byte, Dicke: 1,2 mm) verwendet würden.
- DVDs (Kapazität: 4,3, GB = $4.3 * 10^9$ Byte, Dicke: 1,2 mm) verwendet werden.
- Blu-ray Disks (Kapazität: 25 GB = $25 * 10^9$ Byte, Dicke: 1,2 mm) verwendet werden.
- Festplatten (Kapazität: 2 TB = $2 * 10^{12}$ Byte, Dicke: 2,5 cm) verwendet werden.

Achtung: Berechnen Sie die Lösungen für beide Alternativen:

- 15 PB = $15 * 10^{15}$ Byte \Leftarrow so rechnen die Hardwarehersteller
- 15 PB = $15 * 2^{50}$ Byte \Leftarrow so rechnen die Betriebssysteme

*Lösung für CDs mit 15 PB = 15 * 10¹⁵ Byte:*

$$\text{Anzahl CDs:} \quad \frac{15 \cdot 10^{15} \text{ Byte}}{600 \cdot 10^6 \text{ Byte}} = 25.000.000$$

$$\begin{aligned} \text{Höhe CD-Stapel:} \quad 25.000.000 * 1,2 \text{ mm} &= 30.000.000 \text{ mm} \\ &= 3.000.000 \text{ cm} \\ &= 30.000 \text{ m} \\ &= 30 \text{ km} \end{aligned}$$

*Lösung für CDs mit 15 PB = 15 * 2⁵⁰ Byte:*

$$\text{Anzahl CDs:} \quad \frac{15 \cdot 2^{50} \text{ Byte}}{600 \cdot 10^6 \text{ Byte}} = 28.147.498$$

$$\begin{aligned} \text{Höhe CD-Stapel:} \quad 28.147.498 * 1,2 \text{ mm} &\approx 33.776.997,6 \text{ mm} \\ &= 3.377.699,76 \text{ cm} \\ &= 33.776,9976 \text{ m} \\ &\approx 33,777 \text{ km} \end{aligned}$$

*Lösung für DVDs mit 15 PB = 15 * 10¹⁵ Byte:*

$$\text{Anzahl DVDs:} \quad \frac{15 \cdot 10^{15} \text{ Byte}}{4.3 \cdot 10^9 \text{ Byte}} = 3.488.372,093$$

$$\text{Es ist eine ganze Zahl nötig} \quad \implies 3.488.373$$

$$\begin{aligned} \text{Höhe DVD-Stapel:} \quad 3.488.373 * 1,2 \text{ mm} &= 4.186.047,6 \text{ mm} \\ &= 418.604,76 \text{ cm} \\ &= 4.186,0476 \text{ m} \\ &\approx 4,187 \text{ km} \end{aligned}$$

*Lösung für DVDs mit 15 PB = 15 * 2⁵⁰ Byte:*

$$\text{Anzahl DVDs:} \quad \frac{15 \cdot 2^{50} \text{ Byte}}{4.3 \cdot 10^9 \text{ Byte}} = 3.927.557,814$$

$$\text{Es ist eine ganze Zahl nötig} \quad \implies 3.927.558$$

$$\begin{aligned} \text{Höhe DVD-Stapel:} \quad 3.927.558 * 1,2 \text{ mm} &= 4.713.069,6 \text{ mm} \\ &= 471.306,96 \text{ cm} \\ &= 4.713,0696 \text{ m} \\ &\approx 4.714 \text{ km} \end{aligned}$$

*Lösung für Blu-rays mit 15 PB = 15 * 10¹⁵ Byte:*

$$\text{Anzahl Blu-rays:} \quad \frac{15 \cdot 10^{15} \text{ Byte}}{25 \cdot 10^9 \text{ Byte}} = 600.000$$

$$\begin{aligned} \text{Höhe Blu-ray-Stapel:} \quad 600.000 * 1,2 \text{ mm} &= 720.000 \text{ mm} \\ &= 72.000 \text{ cm} \\ &= 720 \text{ m} \end{aligned}$$

*Lösung für Blu-rays mit 15 PB = 15 * 2⁵⁰ Byte:*

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Blu-rays:} & \quad \frac{15 \cdot 2^{50} \text{ Byte}}{25 \cdot 10^9 \text{ Byte}} = 675.539,944 \\ \text{Es ist eine ganze Zahl nötig} & \quad \implies 675.540 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Höhe Blu-ray-Stapel:} & \quad 675.540 * 1,2 \text{ mm} = 810.648 \text{ mm} \\ & \quad = 81.064,8 \text{ cm} \\ & \quad = 810,648 \text{ m} \end{aligned}$$

*Lösung für HDDs mit 15 PB = 15 * 10¹⁵ Byte:*

$$\text{Anzahl HDDs:} \quad \frac{15 \cdot 10^{15} \text{ Byte}}{2 \cdot 10^{12} \text{ Byte}} = 7.500$$

$$\begin{aligned} \text{Höhe HDDs:} & \quad 7.500 * 2,5 \text{ cm} = 18.750 \text{ cm} \\ & \quad = 187,5 \text{ m} \end{aligned}$$

*Lösung für HDDs mit 15 PB = 15 * 2⁵⁰ Byte:*

$$\begin{aligned} \text{Anzahl HDDs:} & \quad \frac{15 \cdot 2^{50} \text{ Byte}}{2 \cdot 10^{12} \text{ Byte}} = 8.444,2493 \\ \text{Es ist eine ganze Zahl nötig} & \quad \implies 8.445 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Höhe HDDs:} & \quad 8.445 * 2,5 \text{ cm} = 21.112,5 \text{ cm} \\ & \quad = 211,125 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Die Daten im LHC Computing Grid werden über ein Netzwerk mit einer Bandbreite von 40 Gigabit pro Sekunde übertragen

- Wie lange dauert die Übertragung in dem Netzwerk mit einer Bandbreite von 40 Gigabit pro Sekunde?
- Wie lange dauert die Übertragung in einem Ethernet mit 100 Megabit pro Sekunde?

Achtung: Berechnen Sie die Lösungen für beide Alternativen:

- 15 PB = 15 * 10¹⁵ Byte
- 15 PB = 15 * 2⁵⁰ Byte

*Lösung für das Netz mit 40 Gbit/s mit 15 PB = $15 * 10^{15}$ Byte:*

Bandbreite des Netzwerks: $40 \text{ Gbit/s} = 40.000.000.000 \text{ Bit/s}$
 $= 5.000.000.000 \text{ Byte/s}$

Dauer der Übertragung: $\frac{15 * 10^{15} \text{ Byte}}{5 * 10^9 \text{ Byte/s}} = 3 * 10^6 \text{ s} = 3.000.000 \text{ s}$
 $= 50.000 \text{ Minuten}$
 $= 833, \bar{3} \text{ Stunden}$
 $= 34,7\bar{2} \text{ Tage}$

\Rightarrow ca. 34 Tage, 17 Stunden, 20 Minuten

*Lösung für das Netz mit 40 Gbit/s mit 15 PB = $15 * 2^{50}$ Byte:*

Bandbreite des Netzwerks: $40 \text{ Gbit/s} = 40.000.000.000 \text{ Bit/s}$
 $= 5.000.000.000 \text{ Byte/s}$

Dauer der Übertragung: $\frac{15 * 2^{50} \text{ Byte}}{5 * 10^9 \text{ Byte/s}} = 3.377.699,72 \text{ s}$
 $\approx 56,295 \text{ Minuten}$
 $\approx 938,25 \text{ Stunden}$
 $\approx 39,09 \text{ Tage}$

\Rightarrow ca. 39 Tage, 2 Stunden, 15 Minuten

*Lösung für das Ethernet mit 15 PB = $15 * 10^{15}$ Byte:*

Bandbreite des Ethernet: $100 \text{ Mbit/s} = 100.000.000 \text{ Bit/s}$
 $= 12.500.000 \text{ Byte/s}$

Dauer der Übertragung: $\frac{15 * 10^{15} \text{ Byte}}{12.500.000 \text{ Byte/s}} = 1.200.000.000 \text{ s}$
 $= 20.000.000 \text{ Minuten}$
 $= 333.333, \bar{3} \text{ Stunden}$
 $= 13.888, \bar{8} \text{ Tage}$
 $= 38,02570538 \text{ Jahre}$
(Jedes Jahr hat statistisch 365,25 Tage!)

\Rightarrow ca. 38 Jahre, 13 Tage, 21 Stunden, 20 Minuten

*Lösung für das Ethernet mit 15 PB = $15 * 2^{50}$ Byte:*

Bandbreite des Ethernet: $100 \text{ Mbit/s} = 100.000.000 \text{ Bit/s}$
 $= 12.500.000 \text{ Byte/s}$

Dauer der Übertragung: $\frac{15 * 2^{50} \text{ Byte}}{12.500.000 \text{ Byte/s}} = 1.351.079, \bar{8} \text{ s}$
 $= 22.517.998, 13 \text{ Minuten}$
 $= 375.299, 9688 \text{ Stunden}$
 $= 15.637, 4987 \text{ Tage}$
 $= 42, 81313812 \text{ Jahre}$
(Jedes Jahr hat statistisch 365,25 Tage!)

\Rightarrow ca. 42 Jahre, 296 Tage, ...

Aufgabe 5 (Richtungsabhängigkeit der Datenübertragung)

1. Bei tragbaren Funkgeräten (*Walkie-Talkies*), wie sie in die 1980er Jahre bei Kindern populär waren, konnten zwei oder mehr Teilnehmer miteinander sprechen. Allerdings konnte zu keinem Zeitpunkt mehr als ein Teilnehmer sprechen. Erklären Sie den Grund für diese Einschränkung.

Es wird nur ein Kanal verwendet.

2. Nach welchem Prinzip der Richtungsabhängigkeit arbeiten *Walkie-Talkies*?

☐ Simplex ☐ Vollduplex ☒ Halbduplex

3. Nennen Sie 2 Systeme, die nach dem Prinzip Simplex arbeiten.

Radio, Satellitenempfang, GPS, Funkuhr, Fernsehen, Funkmeldeempfänger (Pager)

4. Nennen Sie einen Vorteil und einen Nachteil von Kommunikationssystemen, die nach dem Prinzip Simplex arbeiten?

Vorteil: Bei drahtlosen Netzen ist nur ein Kanal nötig. Bei drahtgebundenen Netzen ist der Aufwand für die Verkabelung geringer.

Nachteil: Der Informationstransfer funktioniert nur in eine Richtung.

5. Nennen Sie 2 Systeme, die nach dem Prinzip Vollduplex arbeiten.

Netzwerke mit Twisted-Pair-Kabeln, Telefon

6. Nennen Sie einen Vorteil und einen Nachteil von Kommunikationssystemen, die nach dem Prinzip Vollduplex arbeiten?

Vorteil: Der Informationstransfer funktioniert in beide Richtungen gleichzeitig.

Nachteil: Bei drahtlosen Netzen sind mehrere Kanäle nötig. Bei drahtgebundenen Netzen ist der Aufwand für die Verkabelung höher.



Abbildung eines tragbaren Funkgeräts „Walkie-Talkie“

Bildquelle: Google Bildersuche

Aufgabe 6 (Übertragungsdauer = Latenz)

Eine MP3-Datei mit einer Dateigröße von $30 \cdot 10^6$ Bits soll von Endgerät A zu Endgerät B übertragen werden. Die Signalausbreitungsgeschwindigkeit beträgt 200.000 km/s. A und B sind direkt durch eine 5.000 km lange Verbindung miteinander verbunden. Die Datei wird als eine einzelne $30 \cdot 10^6$ Bits große Nachricht übertragen. Es gibt keine Header oder Trailer (*Anhänge*) durch Netzwerkprotokolle.

1. Berechnen Sie die Übertragungsdauer (Latenz) der Datei für folgende Datentransferraten zwischen beiden Endgeräten...

- 56 kbps

Dateigröße: 30.000.000 Bits
Datentransferrate: 56.000 Bits/s

Ausbreitungsverzögerung = $5.000.000 \text{ m} / 200.000.000 \text{ m/s} = 0,025 \text{ s}$
Übertragungsverzögerung = $56.000 \text{ Bits} / 1.000.000 \text{ Bits/s} = 535,714285714 \text{ s}$
Wartezeit = 0 s

Latenz = Ausbreitungsverzögerung + Übertragungsverzögerung + Wartezeit
= $0,025 \text{ s} + 535,714285714 \text{ s} = 535,739 \text{ s} = \text{ca. } 9 \text{ Minuten}$

- 64 kbps

Dateigröße: 30.000.000 Bits
Datentransferrate: 64.000 Bits/s

Ausbreitungsverzögerung = $5.000.000 \text{ m} / 200.000.000 \text{ m/s} = 0,025 \text{ s}$
Übertragungsverzögerung = $64.000 \text{ Bits} / 1.000.000 \text{ Bits/s} = 468,75 \text{ s}$
Wartezeit = 0 s

Latenz = Ausbreitungsverzögerung + Übertragungsverzögerung + Wartezeit
= $0,025 \text{ s} + 468,75 \text{ s} = 468,775 \text{ s} = \text{ca. } 7 \text{ Minuten } 49 \text{ Sekunden}$

- 1 Mbps

Dateigröße: 30.000.000 Bits
Datentransferrate: 1.000.000 Bits/s

Ausbreitungsverzögerung = $5.000.000 \text{ m} / 200.000.000 \text{ m/s} = 0,025 \text{ s}$
Übertragungsverzögerung = $30.000.000 \text{ Bits} / 1.000.000 \text{ Bits/s} = 30 \text{ s}$
Wartezeit = 0 s

Latenz = Ausbreitungsverzögerung + Übertragungsverzögerung + Wartezeit
= $0,025 \text{ s} + 30 \text{ s} = 30,025 \text{ s}$

- 16 Mbps

Dateigröße: 30.000.000 Bits

Datentransferrate: 16.000.000 Bits/s

Ausbreitungsverzögerung = $5.000.000 \text{ m} / 200.000.000 \text{ m/s} = 0,025 \text{ s}$

Übertragungsverzögerung = $30.000.000 \text{ Bits} / 16.000.000 \text{ Bits/s} = 1,875 \text{ s}$

Wartezeit = 0 s

Latenz = Ausbreitungsverzögerung + Übertragungsverzögerung + Wartezeit
= $0,025 \text{ s} + 1,875 \text{ s} = 1,9 \text{ s}$

- 100 Mbps

Dateigröße: 30.000.000 Bits

Datentransferrate: 100.000.000 Bits/s

Ausbreitungsverzögerung = $5.000.000 \text{ m} / 200.000.000 \text{ m/s} = 0,025 \text{ s}$

Übertragungsverzögerung = $30.000.000 \text{ Bits} / 100.000.000 \text{ Bits/s} = 0,3 \text{ s}$

Wartezeit = 0 s

Latenz = Ausbreitungsverzögerung + Übertragungsverzögerung + Wartezeit
= $0,025 \text{ s} + 0,3 \text{ s} = 0,325 \text{ s}$

2. Berechnen Sie für jede der oben genannten Alternativen das Volumen der Netzwerkverbindung. Was ist die maximale Anzahl an Bits, die sich zwischen Sender und Empfänger in der Leitung befinden können?

$56.000 \text{ Bits/s} * 535,739 \text{ s} = 30.001.384 \text{ Bits}$

$64.000 \text{ Bits/s} * 468,775 \text{ s} = 30.001.600 \text{ Bits}$

$1.000.000 \text{ Bits/s} * 30,025 \text{ s} = 30.025.000 \text{ Bits}$

$16.000.000 \text{ Bits/s} * 1,9 \text{ s} = 30.400.000 \text{ Bits}$

$100.000.000 \text{ Bits/s} * 0,325 \text{ s} = 32.500.000 \text{ Bits}$

Aufgabe 7 (Bandbreite-Verzögerung-Produkt)

Stellen Sie sich vor, die NASA hätte es geschafft, ein Raumschiff zum Planeten Mars zu schicken. Zwischen dem Planeten Erde und dem Raumschiff gibt es eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung mit einer Datendurchsatzrate von 128 kbps (Kilobit pro Sekunde).

Die Entfernung zwischen Erde und Mars schwankt zwischen ca. 55.000.000 km und ca. 400.000.000 km. Für die weiteren Berechnungen verwenden Sie ausschließlich den Wert 55.000.000 km, welcher der kürzesten Entfernung zwischen Erde und Mars entspricht.

Die Signalausbreitungsgeschwindigkeit entspricht der Lichtgeschwindigkeit (299.792.458 m/s).

1. Berechnen Sie die Umlaufzeit = Round Trip Time (RTT) der Verbindung.

$$\text{RTT} = (2 * \text{Distanz}) / \text{Signalausbreitungsgeschwindigkeit}$$

$$\text{Umlaufzeit} = \text{RTT} = \frac{2 * 55.000.000.000 \text{ m}}{299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 366,920504718 \text{ s}$$

2. Berechnen Sie das Bandbreite-Verzögerung-Produkt für die Verbindung, um herauszufinden, was die maximale Anzahl an Bits ist, die sich zwischen Sender und Empfänger in der Leitung befinden können.

$$\text{Signalausbreitungsgeschwindigkeit} = 299.792.458 \text{ m/s}$$

$$\text{Distanz} = 55.000.000.000 \text{ m}$$

$$\text{Übertragungsverzögerung} = 0 \text{ s}$$

$$\text{Wartezeit} = 0 \text{ s}$$

$$\text{Ausbreitungsverzögerung} = \frac{55.000.000.000 \text{ m}}{299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 183,460252359 \text{ s}$$

$$\text{Bandbreite-Verzögerung-Produkt} = 256.000 \frac{\text{Bit}}{\text{s}} \times 183,460252359 \text{ s} = 46.965.824 \text{ Bit}$$

3. Eine Webcam auf der Oberfläche des Planeten Mars sendet Bilder zur Erde. Jedes Bild ist 20 MB (1 MB = 2^{20} Byte) groß. Wie lange dauert die Übertragung eines Bildes bis zum Kontrollzentrum auf der Erde?

$$\text{Dateigröße: } 20 \text{ MB} = 20.971.520 \text{ Bytes} = 167.772.160 \text{ Bits}$$

$$\text{Datenrate: } 128.000 \text{ Bits/s}$$

$$\text{Latenz} = \text{Ausbreitungsverzögerung} + \text{Übertragungsverzögerung} + \text{Wartezeit}$$

$$\text{Ausbreitungsverzögerung} = 55.000.000.000 \text{ m} / 299.792.458 \text{ m/s} \approx 183.47 \text{ s}$$

$$\text{Übertragungsverzögerung} = 167.772.160 \text{ Bits} / 128.000 \text{ Bits/s} = 1.310,72 \text{ s}$$

$$\text{Wartezeit} = 0 \text{ s}$$

$$\text{Latenz} = 183.47 \text{ s} + 1.310,72 \text{ s} + 0 \text{ s} = 1.494,19 \text{ s} \implies \text{ca. 25 Minuten}$$

Quelle: Larry L. Peterson, Bruce S. Davie. Computernetzwerke. dpunkt (2008)