

# Computer networking - theory

Computernetwerken - Een 'top-down'-benadering, 7<sup>e</sup> editie  
 James F. Kurose & Keith W. Ross - ISBN 978-90-430-3621-4  
[http://www.cit.umass.edu/kurose\\_ross/interactive](http://www.cit.umass.edu/kurose_ross/interactive)



1

---

---

---

---


---

---

---

---

# Algemene inleiding



2

---

---

---

---

---


---

---

---

# Overzicht van de inhoud - H1

- Wat is Internet?
- Wat is een protocol?
- De edge (buitenrand) van het netwerk
- De core (kern) van het netwerk
- Toegangsnetwerken & fysieke media
- Vertraging en verlies
- Protocollagen en hun servicemodel
- Boek p 1 - 4



3

---

---

---

---

---

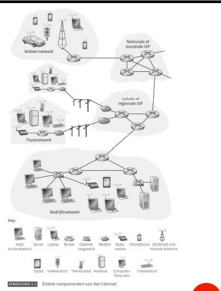
---

---

---

## Wat is Internet? - p2

- Publiek toegankelijk netwerk
- Complex systeem dat continu aan wijziging onderhevig is
- Kan beschreven worden als
  - Hardware
    - Hosts (clients/servers)
    - Packet switches (routers/switches)
    - Communicatielinks (Koper, glasvezel, draadloos,...)
  - Diensten
    - e-mail
    - World Wide Web



4

## Wat is Internet? (hardware)

- Wereldomvattend computernetwerk bestaande uit
  - desktops/laptops
  - servers voor web, mail, gaming, ...
  - smart tv's
  - smartphones
  - auto's
  - beveiligingssystemen, camerabewaking
  - allerlei sensoren (IoT)



5

## Wat is Internet? (hardware)

- Eindsystemen of "hosts"
  - voeren netwerktoepassingen uit
  - communiceren door middel van protocollen
    - TCP, IP, HTTP, FTP, ...
  - zijn verbonden met communicatielinks:
    - fysieke media (coax, koper, fiber, wireless)
    - bepaalde capaciteit (bandbreedte, bps, Mbps, Gbps)
  - zijn verbonden met packetswitches
    - routers en datalinklaagswitches



6

## Wat is Internet? (hardware)

- Hosts toegang verlenen tot internet via een ISP (Internet Service Provider)
  - door een toegangsnetwerk
  - is meestal breedbandtoegang (DSL of kabelmodem)
  - met als doel om websites, video's, .... van contentproviders ter beschikking te stellen
- Verbindingen tussen ISP's
  - nationaal
  - internationaal
  - netwerk gebruikt
    - protocollen
    - namen
    - adressen



7

---

---

---

---

---

---

---

---

## Wat is Internet? (hardware)

- Protocollen
  - uitgevoerd door eindsystemen en packetswitches
  - IP bepaalt indeling van pakketten
    - bij uitwisseling tussen routers en eindsystemen
    - bij uitwisseling tussen routers onderling
- Het gebruik van standaarden
  - IETF (Internet Engineering Task Force) - <https://www.ietf.org/standards/rfcs/>
  - RFC's (Request For Comments)
    - TCP, IP, FTP, SMTP, POP3, HTTP, ...
    - meer dan 7000 RFC's
    - Voorbeeld rfc791 - beschrijving van het Internet Protocol
  - IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee - <http://www.ieee802.org/>
    - Standaarden voor ethernet en wifi



8

---

---

---

---

---

---

---

---

## Wat is Internet? (hardware)

- Soorten netwerken - 1
  - LAN - local area network (bv thuisnetwerk)
    - Ethernet versie 2 en 802.11(WiFi)
  - WAN - wide area network (bv internet)
  - PAN - personal area network (bv bluetooth)
  - MAN - metropolitan area network (bv stadsdiensten)
  - SAN - storage area network (bv iSCSI / fiberchannel)
  - CAN - controller area network (bv netwerk in voertuigen)



9

---

---

---

---

---

---

---

---

## Wat is Internet? (hardware)

- Soorten netwerken - 2
  - internet
    - publiek toegankelijk
  - intranet
    - gebruikt internettechnologie (routers, IP, ...)
    - is een private omgeving (bedrijf, overheid, ...)
  - extranet
    - gebruikt internettechnologie tussen bedrijven
    - geeft geen toegang aan 'anonieme' gebruikers



10

---

---

---

---

---

---

---

---

## Wat is Internet? (hardware)

- De topologie van een netwerk
  - De structuur van de onderlinge verbindingen tussen de verschillende onderdelen (fysiek of logisch)
    - Maasnetwerk (mesh)
    - Busstructuur
    - Sternnetwerk
    - Ringnetwerk
    - Boomstructuur



11

---

---

---

---

---

---

---

---

## Wat is Internet? (diensten)

- Internet als infrastructuur die diensten aan toepassingen levert
- Gedistribueerde toepassingen (verschillende hosts wisselen gegevens uit)
  - surfen over het web (http)
  - remote login (ssh)
  - bestandsoverdracht (ftp)
  - P2P bestandsdeling
  - e-mail (outlook)
  - audio- en videostreaming (realaudio)
  - realtime audio en video (videoconferencing)
  - internettelefoon
  - distributed games



12

---

---

---

---

---

---

---

---

## Wat is een protocol?

### • Menselijke interactie

- begroeting  $A \rightarrow B$
- begroeting\*  $B \rightarrow A$
- vraag  $A \rightarrow B$
- antwoord  $B \rightarrow A$
- als \* er niet komt, volgt er niets meer
- specifieke berichten met specifieke reacties



13

---

---

---

---

---

---

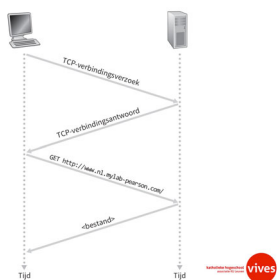
---

---

## Wat is een protocol?

### • Verzoek aan een webserver

- op de client URL in browser invullen
- connection request van client naar server
- connection reply van server naar client
- "GET" webpagina deel van het HTTP protocol
- client ontvang webpagina opgemaakt in HTML



14

---

---

---

---

---

---

---

---

## De edge van het netwerk p9

### • Computers zijn eindsystemen of hosts

- zitten op de rand van het netwerk
- "gastheer" voor de webbrowser, webserver, programma's voor e-mail, ...
- 2 categorieën van hosts
  - Clients
    - desktopcomputers, laptops, smartphones, ...
  - Servers
    - geheugen, CPUs, opslagcapaciteit, betrouwbaar
    - distribueren informatie (webpagina's, video streamen, e-mail)



15

---

---

---

---

---

---

---

---

## De edge van het netwerk

- Client/server model
  - Een clienttoepassing vraagt en krijgt een dienst van een servertoepassing
    - WWW → HTTP → Firefox & IIS
    - e-mail → SMTP, POP3 → Thunderbird & hMailServer
    - bestanden → FTP → Filezilla & IIS
    - remote login → SSH → Putty & Linux
  - Gedistribueerde toepassingen
    - client en server draaien op andere machine
    - reageren op elkaar door uitwisselen van berichten
    - netwerk van routers is "black box"



16

---

---

---

---

---

---

---

---

## De edge van het netwerk

- Peer-to-peer model (P2P)
  - De toepassing is cliënt en server
  - Oorspronkelijk
    - doordat netwerken te klein waren voor "dedicated servers"
    - clients kunnen bestanden delen, samenwerken
    - beveiliging niet gecentraliseerd
  - Nu
    - delen van bestanden
      - » BitTorrent



17

---

---

---

---

---

---

---

---

## De edge van het netwerk

- Hosts connecteren op het internet via
  - een edge router (ISP)
  - connectie via een toegangsnetwerken
    - over telefoonlijn (Proximus, Scarlet)
    - via de coaxkabel van de televisie (Telenet, Orange)
    - via glasvezel (fiber to the home - FTTH)



18

---

---

---

---

---

---

---

---

## De edge van het netwerk

- Toegangsnetwerken - DSL
  - over telefoonlijn (Proximus)
  - DSL (Digital Subscriber Line)
  - gelijktijdig telefoneren en surfen mogelijk
  - DSL modem nodig
  - Asymmetrisch (ADSL) /symmetrisch (SDSL)
    - bandbreedte "upstream" lager dan "downstream" → ADSL
    - bandbreedte "upstream" zelfde dan "downstream" → SDSL
  - Snelheid is afhankelijk van
    - afstand tot centrale
    - kwaliteit van de verbinding (UTP kabel)
    - elektrische interferentie uit de omgeving



19

---

---

---

---

---

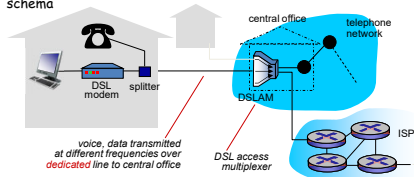
---

---

---

## De edge van het netwerk

- Toegangsnetwerken - DSL
  - schema



20

---

---

---

---

---

---

---

---

## De edge van het netwerk

- Toegangsnetwerken - kabel
  - over televisiekabel (Telenet)
  - HFC (hybrid fiber coax)
  - kopstation → distributienetwerk coaxkabels → signaalversterkers → huisaansluiting
  - glasvezel in verbinding van kop- en verdeelstations
  - kabelmodem nodig
  - gedeeld broadcastmedium
  - Asymmetrisch
    - EuroDocsis 3.0 (downstream 1,2 Gbps - upstream 200 Mbps)
    - EuroDocsis 3.1 (downstream 10 Gbps - upstream 1-2 Gbps)



21

---

---

---

---

---

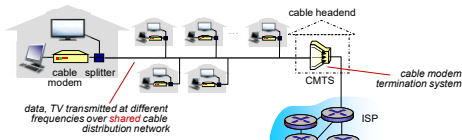
---

---

---

## De edge van het netwerk

- Toegangsnetwerken - kabel
  - schema



22

---

---

---

---

---

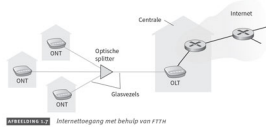
---

---

---

## De edge van het netwerk

- Toegangsnetwerken - fiber
  - over glasvezel
  - Fiber to the home



23

---

---

---

---

---

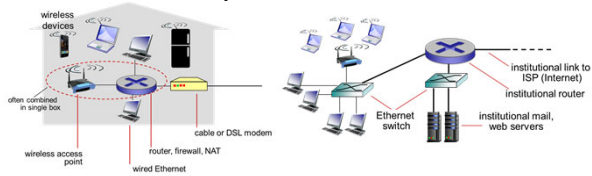
---

---

---

## De edge van het netwerk

- Thuisnetwerk / bedrijfsnetwerk



24

---

---

---

---

---

---

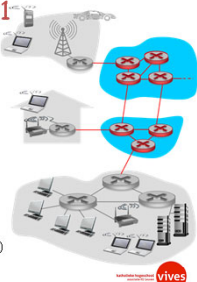
---

---



## De core van het netwerk - p21

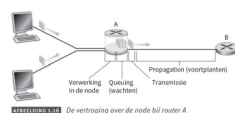
- Een netwerk van onderling verbonden routers (mesh)
  - functie router is forwarden en routeren
- 2 soorten switching
  - Circuitswitching - Exclusieve verbinding
    - klassieke telefoon - PSTN
  - Packetswitching - Gedeelde verbinding
    - berichten opsplitsen in datagrammen (packets)
    - gaan door communicatielinks en packetswitches of routers
    - gebruiken de volledige transmissiesnelheid van de link
    - "store-and-forward transmission"
      - opslaan en doorsturen = vertraging (functie van lengte)
    - buffer op uitgang van een packetswitch
      - variabele "queuing delay" (functie van netwerkcongestie)
      - pakketverlies bij volle buffer



25

## Vertragingen en verlies - p34

- Wat gebeurt er tussen bron en bestemming ?
  - het pakket gaat door een aantal routers en links.
- Er ontstaat vertraging
  - door 4 verschillende oorzaken



26

## Vertragingen en verlies

- Processing delay ( $d_{proc}$ )
  - de pakketten analyseren op fouten
  - de bestemming van volgend knooppunt bepalen
  - afhankelijk van de sterkte van de apparatuur
  - hoeveel pakketten verwerken per seconde ?
- Queuing delay ( $d_{queue}$ )
  - wachten op verzending over bepaalde link
  - afhankelijk van aantal eerder aangekomen pakketten dus variabel per pakket
  - nul bij lege buffer, groot bij veel verkeer
  - afhankelijk van de congestie van de router



27

## Vertragingen en verlies

- Transmission delay ( $d_{trans}$ )
  - een pakket van  $L$  (bits) over link met een bandbreedte van  $R$  (bps) verzenden
  - $L/R$  seconden tot de bestemming bereikt is
  - store-and-forward delay
- Propagation delay ( $d_{prop}$ )
  - tijd om de afstand (km) van de link te doorlopen
  - afhankelijk van het soort medium (koper, fiber)
  - snelheid ongeveer 200.000 tot 300.000 km per seconde
  - vaste waarde voor elke bit



28

---

---

---

---

---

---

---

---

## Vertragingen en verlies

- Totale vertraging in een knooppunt
  - de som van de 4 soorten vertraging
  - $d_{node} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$
- Packetverlies
  - buffer heeft eindige capaciteit
  - vertraging in de queue kan nooit langer zijn dan de tijd om de volledige buffer te versturen (=eindig)
  - indien de **buffer vol** is ontstaat packetverlies
  - hoe meer verkeer (traffic intensity), hoe groter de kans op verloren pakketten
  - opvangen in protocols op de eindsystemen (retransmit)



29

---

---

---

---

---

---

---

---

## Vertragingen en verlies

- End-to-end vertraging
  - Som van alle node vertragingen
  - Te controleren via ping / tracert commando (Windows)



30

---

---

---

---

---

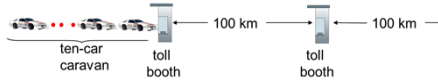
---

---

---

## Vertragingen en verlies

- Eenvoudig voorbeeld van propagation delay en transmission delay
  - Autosnelweg met iedere 100 km een tolhuis
  - Verwerkingssnelheid tolhuis 12s per auto
  - Snelheid auto 100 km/u
  - Konvooi van 10 auto's



31

---

---

---

---

---

---

---

---

## Vertragingen en verlies

- (transmission delay)
  - de eerste auto moet wachten tot alle 9 andere auto's voor het tolhuis staan (store and forward principe)
  - $10 * 12s = 120s$  of 2 minuten om de auto's te verwerken
- (propagation delay)
  - de tijd die een auto erover doet om van de uitgang van het ene tolhuis naar de ingang van het volgende tolhuis te rijden
  - $100 \text{ km} / (100 \text{ km/u}) = 1 \text{ u}$  of 60 min
- Totale tijd = 62 min



32

---

---

---

---

---

---

---

---

## Vertragingen en verlies

- Wat indien:
  - Verwerkingssnelheid tolhuis 60s per auto
  - Snelheid auto 1000 km/u
  - (transmission delay)
    - $10 * 60s = 600s$  of 10 minuten om de auto's te verwerken
  - (propagation delay)
    - $100 \text{ km} / (1000 \text{ km/u}) = 0,1 \text{ u}$  of 6 min
  - Dus de eerste auto is reeds bij het volgende tolhuis (7 min) terwijl nog niet alle auto's door het eerste tolhuis zijn (nog 3 auto's staan te wachten)!



33

---

---

---

---

---

---

---

---

## Protocollagen en hun servicemodel - p46

- Internet
  - enorm complex systeem
  - verschillende toepassingen en protocollen
  - verschillende eindsystemen en verbindingen
  - routers en links met verschillende media
  - Oplossing om dit beter te begrijpen -> splitsen in deelproblemen/lagen
- Gelaagde structuur
  - scenario van een reis met een vliegtuig
  - van vertrekpunt naar bestemming
  - ticketfunctie, bagagefunctie, gatefunctie, vertrek- en landingsfunctie, navigeren



34

---

---

---

---

---

---

---

---

## Protocollagen en hun servicemodel

- Vliegtuigreis - de verschillende stappen wanneer je op reis gaat van A naar B



35

---

---

---

---

---

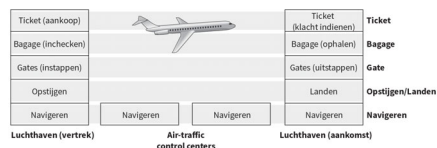
---

---

---

## Protocollagen en hun servicemodel

- Vliegtuigreis als lagenmodel



36

---

---

---

---

---

---

---

---

## Protocollagen en hun servicemodel

- "Elke laag levert een dienst door bepaalde handelingen binnen die laag uit te voeren en diensten van de direct onderliggende laag te gebruiken."
  - voordeel - specifiek deel van een groot, complex systeem isoleren
  - implementatie van een dienst kan eenvoudig veranderd worden → modulariteit
    - dezelfde dienst blijven leveren
    - gebruik blijven maken van dezelfde dienst
    - werking van het systeem blijft dezelfde



37

---

---

---

---

---

---

---

---

## OSI model (Open System Interconnection)

- In 1984 ontwikkeld door International Standards Organization (ISO)
- Internationale standaardisatie van protocollen
- Een manier om de netwerkkommunicatie onder te verdelen in kleinere stukken (lagen)
- Het OSI model bestaat uit 7 lagen
  - elke laag heeft een welomschreven functie
  - functies aan lagen toekennen met standaardisatie als doel
  - voldoende lagen om afzonderlijke functies onder te brengen en toch beperkt om niet te onhandig te zijn
- Iedere laag biedt een aantal functies voor de laag er boven en gebruikt functies van de laag er onder
- OSI is geen netwerkkarchitectuur, zegt alleen wat elke laag moet doen (ISO standaard voor elke laag)



38

---

---

---

---

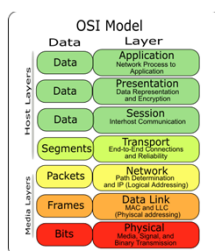
---

---

---

---

## OSI model (Open System Interconnection)



39

---

---

---

---

---

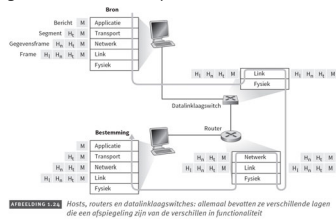
---

---

---

## 5 lagen IP model - encapsulation

- Inkapseling van de data (encapsulation)



40

## Fysieke laag - LAN

41

## Fysieke laag - H6 - p444-445

- Functie
  - Beschrijft de elektrische/optische en mechanisch eigenschappen van het netwerk
  - Bitstream versturen
- Media waarover bits verstuurd kunnen worden:
  - Koper
    - (Telefoonkabel)
    - **Twisted Pair Kabel**
    - (Coax Kabel)
  - **Glasvezel**
  - (Lucht - radiogolven)

42

## Fysieke laag

### • Standaarden

|               |   |  |
|---------------|---|--|
| IEEE 802.3    | Higher Layer LAN Protocols (Bridging)             | active                                 |
| IEEE 802.3    | LAN   | discontinued                           |
| IEEE 802.3    | Ethernet  | active                                 |
| IEEE 802.3    | Token Ring  | discontinued                           |
| IEEE 802.3    | Token Ring MAC layer                              | discontinued                           |
| IEEE 802.3    | Media Technology                                  | discontinued                           |
| IEEE 802.3    | Broadband LAN using Coaxial Cable                 | discontinued                           |
| IEEE 802.3    | Fiber Optic TAD                                   | discontinued                           |
| IEEE 802.3    | Integrated Services LAN (ISLAN or IsoEthernet)    | discontinued                           |
| IEEE 802.3    | Interoperable LAN Security                        | discontinued                           |
| IEEE 802.11   | Wireless LAN (WLAN) & Mesh (Ad Hoc) Certification | active                                 |
| IEEE 802.12   | 100BaseVG   | discontinued                           |
| IEEE 802.13   | Unicase   | reserved for Fast Ethernet development |
| IEEE 802.14   | Cable modem                                       | discontinued                           |
| IEEE 802.15   | Wireless PAN                                      | active                                 |
| IEEE 802.15.1 | Bluetooth certification                           | active                                 |



43

## Fysieke laag

- Twisted pair
  - Goedkoopste en meeste gebruikte medium
  - 2 geïsoleerde koperdraden (in spiraalvorm)
  - 4 paar (8 draadjes)
  - Implementaties ethernet over twisted pair
    - Fast Ethernet (100Base-TX)
    - Gigabit Ethernet (1000Base-T)
    - 10 Gigabit Ethernet (10GBase-T)
    - 25 Gigabit Ethernet (25GBase-T)
    - 40 Gigabit Ethernet (40GBase-T)



44

## Fysieke laag

### – PoE (Power over Ethernet)

| POE PIN/DATA ASSIGNMENT (PSE PERSPECTIVE) |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Pin #                                     | TX PAIR (TX+ TX-) | TX PAIR (TX+ TX-) | TX PAIR (TX+ TX-) | TX PAIR (TX+ TX-) | TX PAIR (TX+ TX-) | TX PAIR (TX+ TX-) | TX PAIR (TX+ TX-) | TX PAIR (TX+ TX-) | TX PAIR (TX+ TX-) |
| 1   | White/Orange      | White/Green       | Blue              | Blue              | DC+               | DC-               | Table A           | DC+               | DC-               |
| 2   | Orange            | Green             | Blue              | Blue              | DC+               | DC-               | Table A           | DC+               | DC-               |
| 3   | White/Green       | White/Orange      | Tx+               | Tx+               | DC                | DC                | Table B           | DC                | DC                |
| 4   | Blue              | Blue              | DC+               | DC-               | DC                | DC                | Table C           | DC+               | DC-               |
| 5   | White/Blue        | White/Blue        | +                 | DC+               | DC-               | DC                | Table C           | DC+               | DC-               |
| 6   | Green             | Orange            | Tx+               | Tx+               | DC                | DC                | Table B           | DC                | DC                |
| 7   | White/Orange      | White/Orange      | +                 | DC                | DC                | DC                | Table D           | DC                | DC                |
| 8   | Brown             | Brown             | +                 | DC                | DC                | DC                | Table D           | DC                | DC                |



45

## Fysieke laag

- Soorten twisted pair (TP) bekabeling
  - Cat 5<sup>e</sup> (1000Base-T - lengte 100 m)
  - Cat 6
  - Cat 6a (10GBase-T)
  - Cat 7
  - Cat 7a
  - Cat 8 (25GBase-T en 40GBase-T)

| Name     | Typical construction | Bandwidth            |
|----------|----------------------|----------------------|
| Level 1  |                      | 0.4 MHz              |
| Level 2  |                      | 4 MHz                |
| Cat. 3   | UTPR <sup>1</sup>    | 16 MHz <sup>2</sup>  |
| Cat. 4   | UTPR <sup>1</sup>    | 20 MHz <sup>2</sup>  |
| Cat. 5   | UTPR <sup>1</sup>    | 100 MHz <sup>2</sup> |
| Cat. 5e  | UTPR <sup>1</sup>    | 100 MHz <sup>2</sup> |
| Cat. 6   | UTPR <sup>1</sup>    | 250 MHz <sup>2</sup> |
| Cat. 6a  | U/UTP, F/UTP         | 500 MHz              |
| Cat. 7   | F/FTP, S/FTP         | 600 MHz              |
| Cat. 7a  | F/FTP, S/FTP         | 1000 MHz             |
| Cat. 8.1 | U/FTP, F/FTP         | 1600-2000 MHz        |
| Cat. 8.2 | F/FTP, S/FTP         | 1600-2000 MHz        |



46

## Fysieke laag

- Shielding bij TP
  - voorkomen van elektromagnetische interferentie (storingen van het signaal)

| Common industry nomenclature for cable construction types |                           |                   |                |
|---|---------------------------|-------------------|----------------|
| Industry abbreviations                                    | ISO/IEC 11801 designation | Cable shielding   | Pair shielding |
| UTP, TP   | U/UTP                     | None              | None           |
| STP, S/UTP, P/STP   | U/STP                     | None              | Full           |
| F/STP, S/STP  | F/STP                     | Full              | None           |
| STP, SC/TP  | S/UTP                     | Braiding          | None           |
| S/FTP, S/F/STP, STP                                       | S/FTP                     | Braiding and Full | None           |
| F/FTP, SC/TP  | F/FTP                     | Full              | Full           |
| SC/TP, S/FTP, STP, STP P/STP                              | S/FTP                     | Braiding          | Full           |
| SC/TP, S/FTP, STP   | S/FTP                     | Braiding and Full | Full           |

The code before the slash designates the shielding for the cable itself, while the code after the slash determines the shielding for the individual pairs.

U = unshielded  
 P = pair shielding  
 S = twisted shielding (outer layer only)  
 STP = twisted pair  
 FTS = twisted pair, individual shielding in quads



47

## Fysieke laag

- Glasvezel
  - dun, compact, licht, flexibel medium
    - single mode fiber 9/125  $\mu\text{m}$  - lange afstanden
    - multimode fiber 62,5/125 of 50/125  $\mu\text{m}$  - korte afstanden
  - geleider van lichtpulsen
    - lichtbron - LED of laser
    - lichtgevoelige detector - fotodiode
    - werkt in 1 richting dus 2 vezels voor full-duplex
  - enorme bandbreedte per vezel (Tbps)
  - ongevoelig voor elektromagnetische storingen
  - lage verzwakking van het signaal



48



Fysieke laag

- Implementaties ethernet over glasvezel
  - Fast Ethernet (100Base-FX)
  - Gigabit Ethernet (1000Base-LX (lange afstand) - 1000Base-SX (korte afstand))
  - 10 Gigabit Ethernet (10GBase-SR - 10GBase-SW)

|            |     |         |       |  |
|------------|-----|---------|-------|--|
| 10GBASE-SR | MMF | 10 Gbps | 300 m | 850nm laser, max length depends on fiber size and quality  |
| 10GBASE-LR | SMF | 10 Gbps | 10 km | 1310nm laser, max length depends on fiber size and quality |
| 10GBASE-ER | SMF | 10 Gbps | 40 km | 1550nm laser, max length depends on fiber size and quality |
| 10GBASE-SW | MMF | 10 Gbps | 300 m | 850nm laser transceiver                                    |
| 10GBASE-LW | SMF | 10 Gbps | 10 km | Typically used with SONET                                  |
| 10GBASE-EW | SMF | 10 Gbps | 40 km | 1550nm optical wavelength                                  |



---

---

---

---

---

---

---