

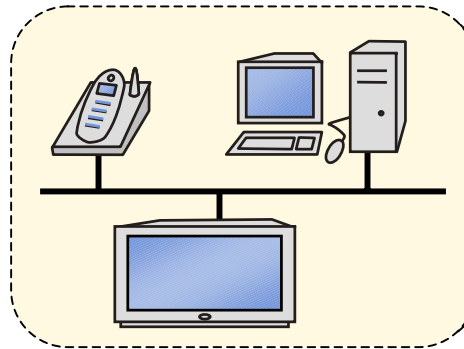


Ontwerp en analyse van optische pakketschakelende netwerken

Chris Develder

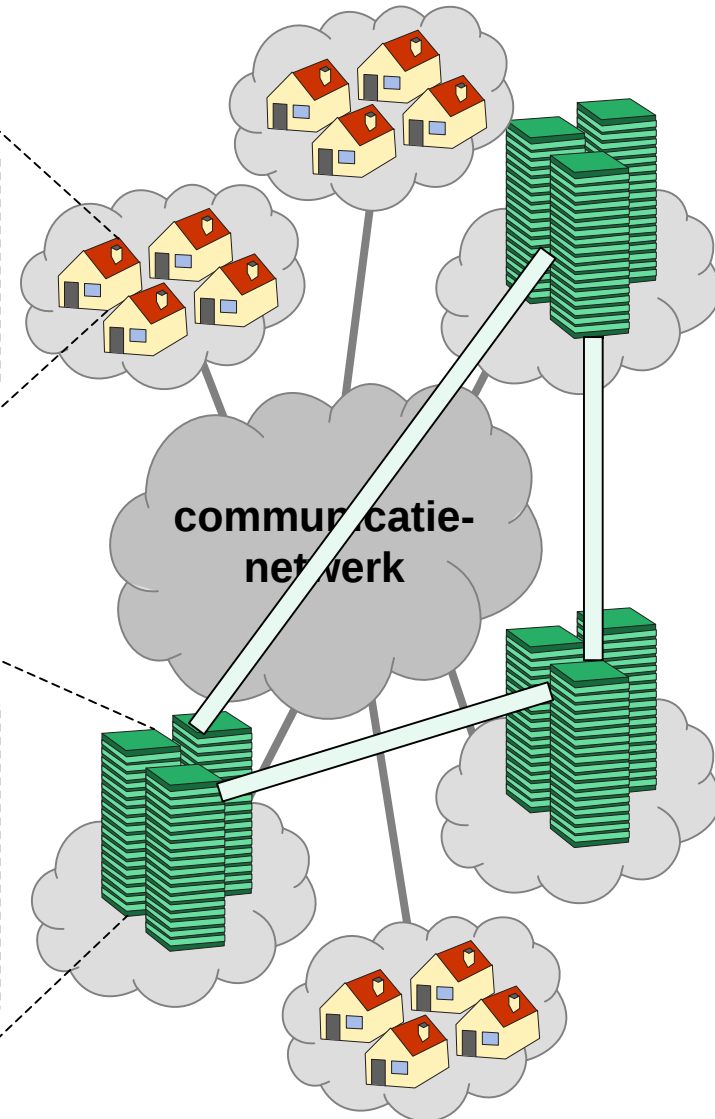
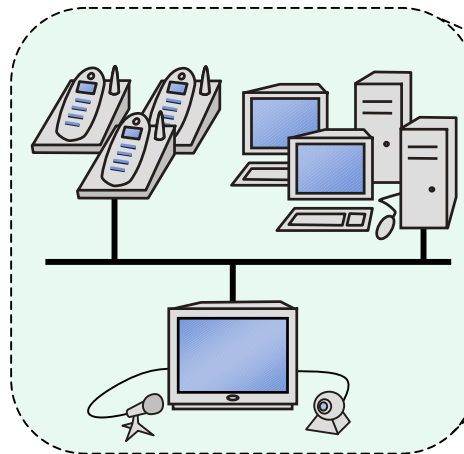
- Residentiële gebruikers:

- telefonie
- internet (web, email...)
- TV
- video op aanvraag
- ...



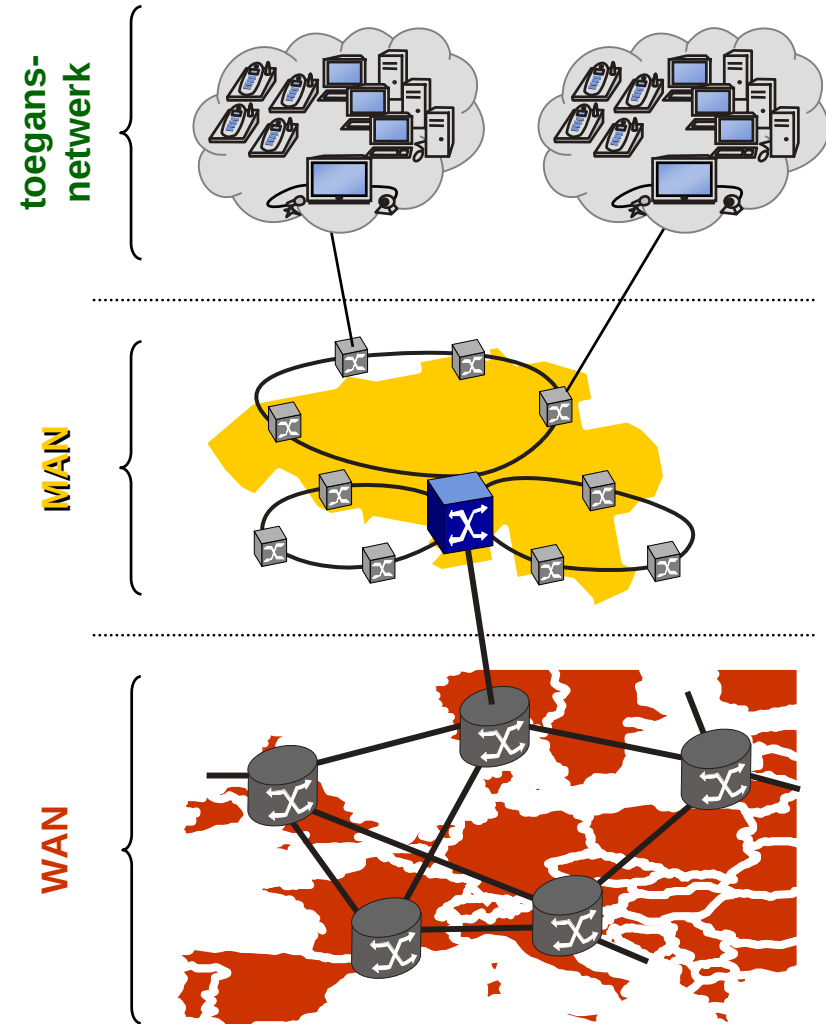
- Bedrijven:

- telefonie
- internet (web, email...)
- bedrijfsnetwerk
- videoconferentie
- ...



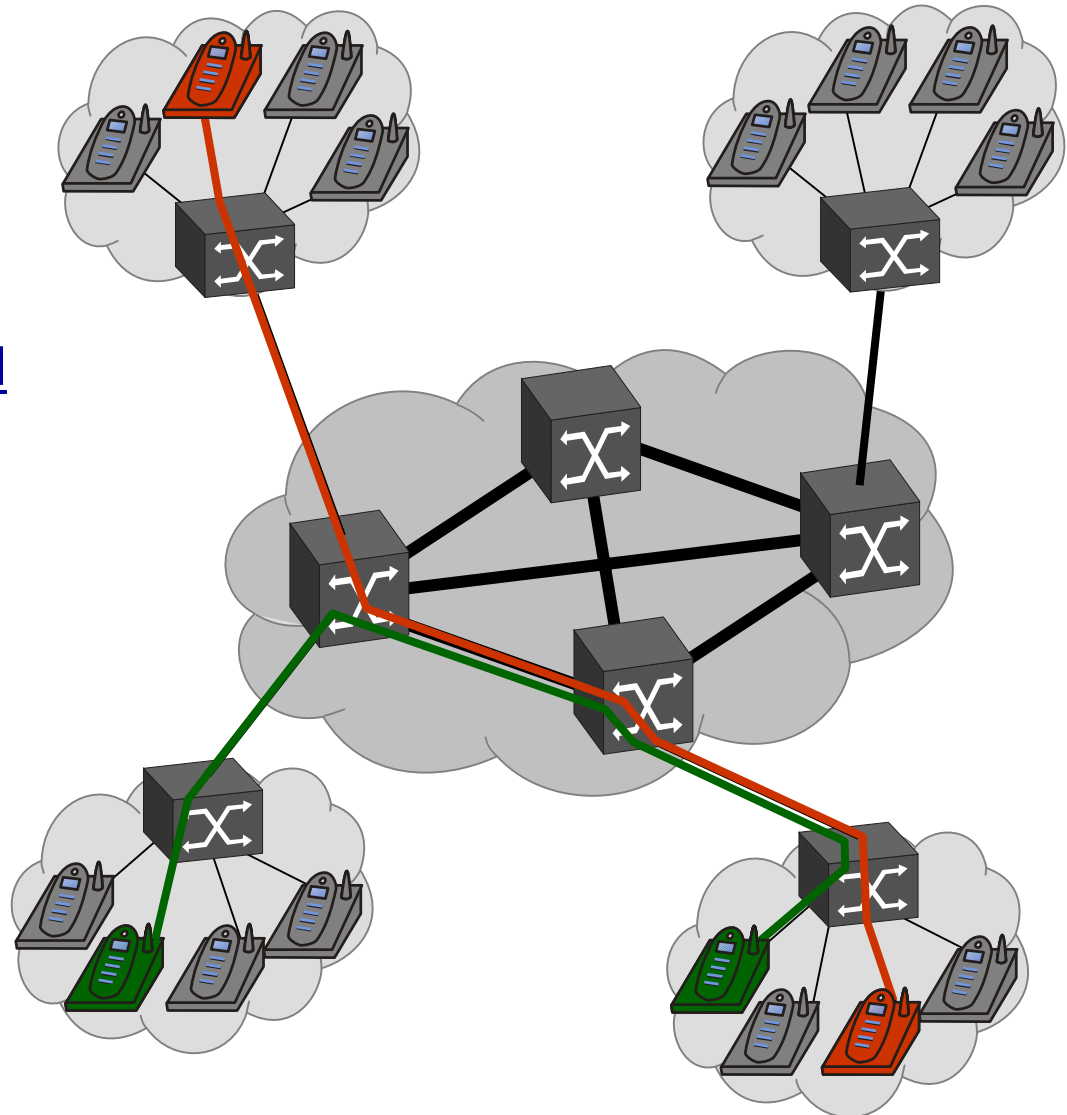
- Hiërarchische opbouw:

- toegangsnetwerk: verzamelt en bundelt verkeer van eindgebruikers
- metro(pool): regionaal netwerk; 10-tallen tot paar honderd kilometer (bv. Vlaanderen)
- ruggengraat: paar honderd tot duizenden kilometers (bv. pan-Europees netwerk)

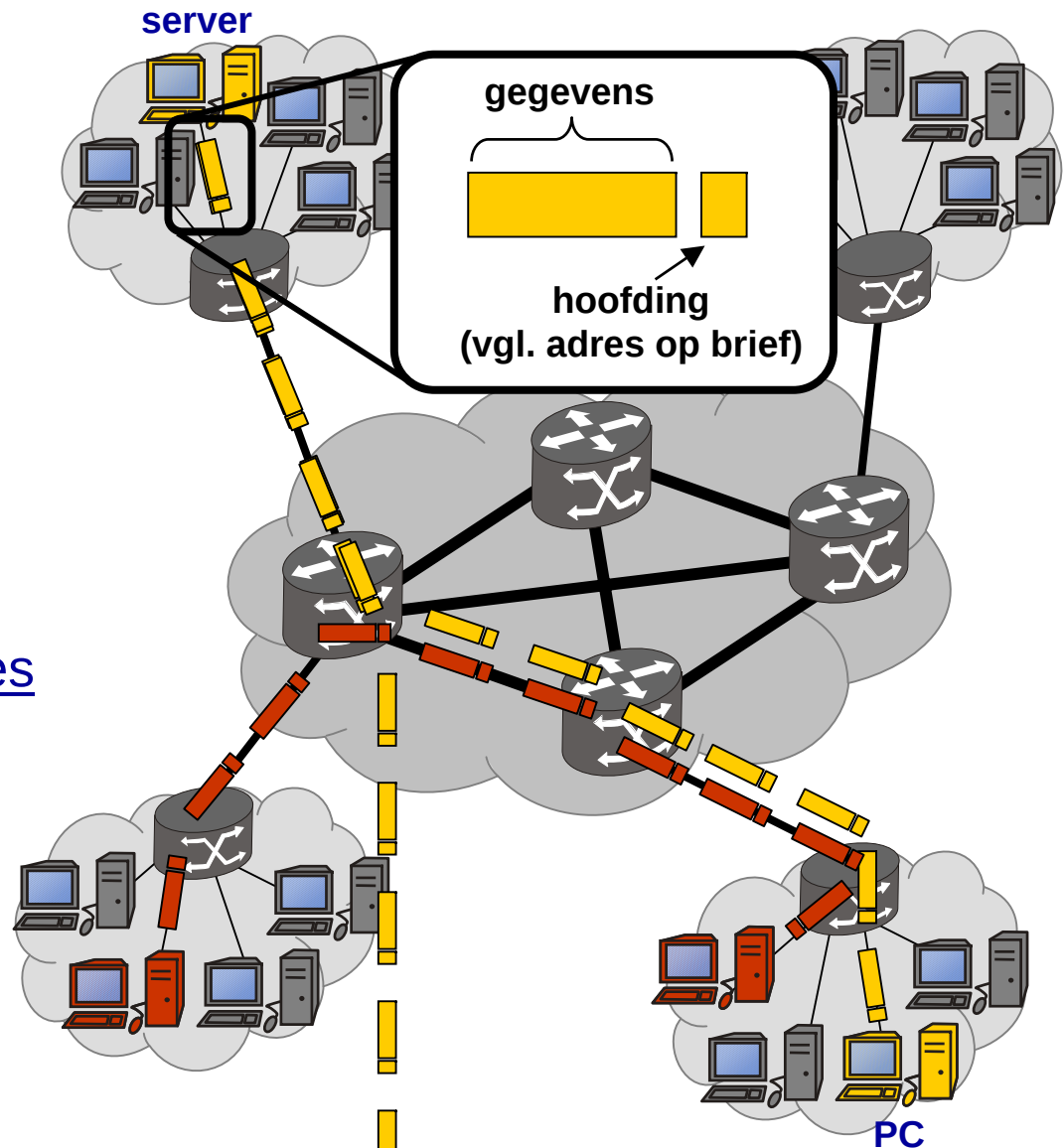


- Klassieke telefonie:

- vaste bandbreedte
- connectie-georiënteerd
- circuit is gereserveerd voor de duur van het gesprek
- kwaliteit van de verbinding is gegarandeerd
- lokaal karakter

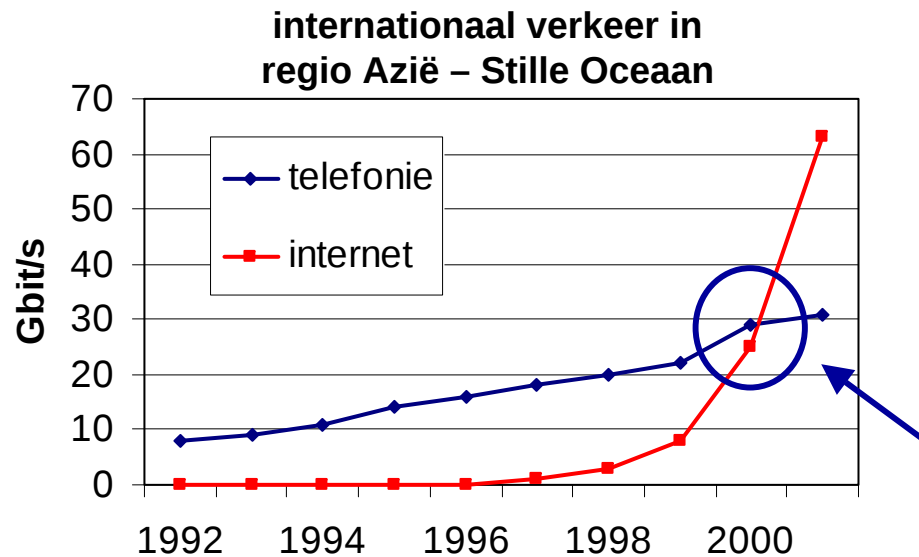


- Internet Protocol (IP):
 - variabele bandbreedte
 - connectieloos
 - enkel gegevens versturen wanneer nodig
 - geen kwaliteitsgaranties (pakket kan vertraagd worden of verloren gaan)
 - geen lokaal karakter

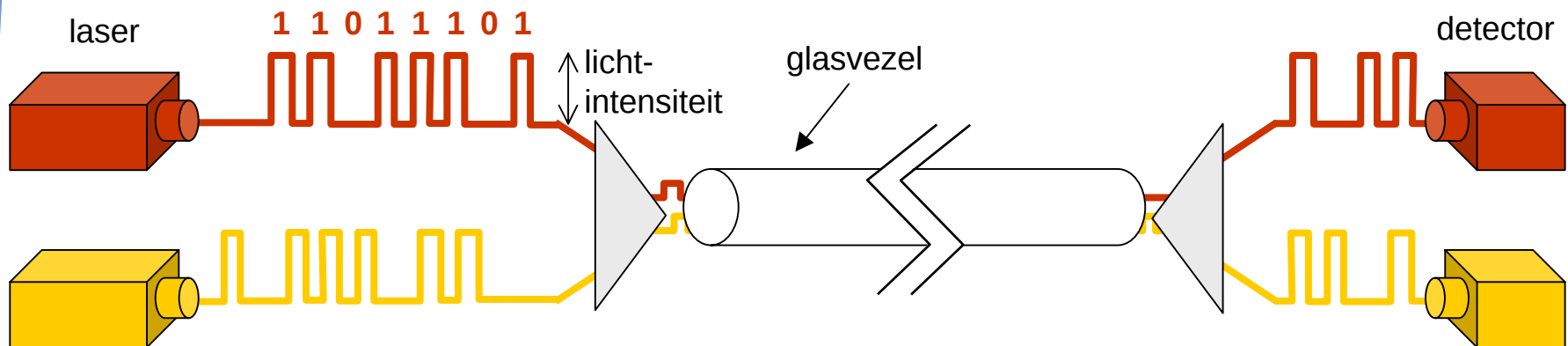


- Internet vs telefonie:

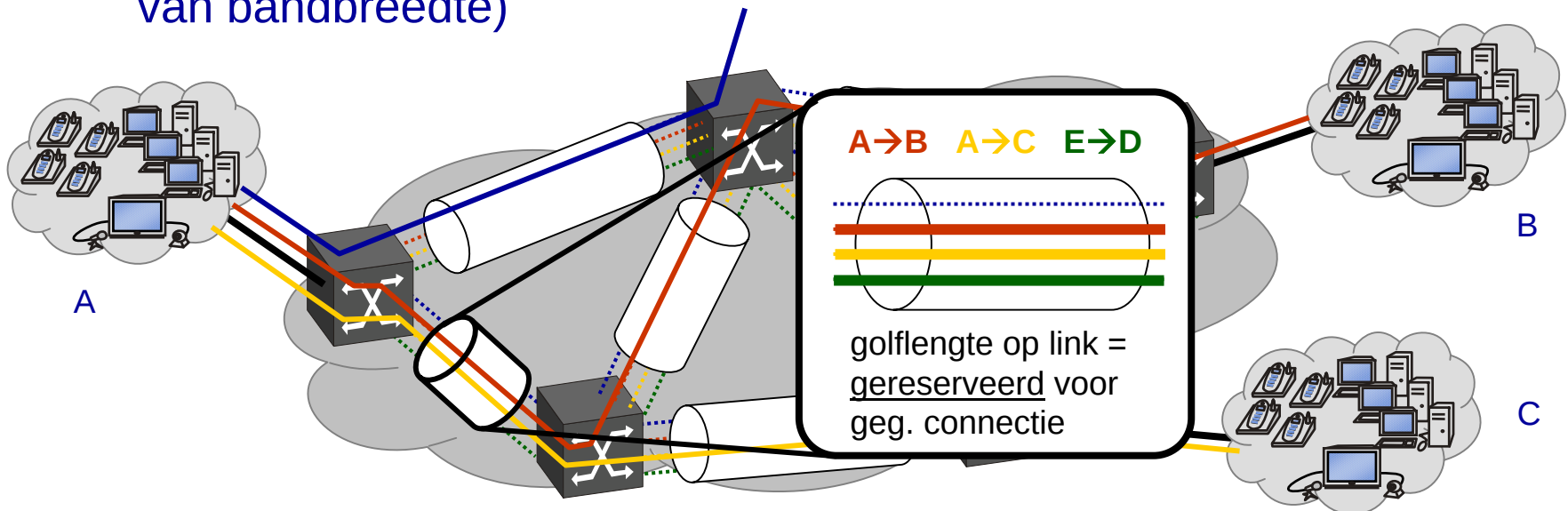
- sinds ca. 2001: meer internet- dan telefoonverkeer
- bandbreedte groeit nog steeds zeer sterk
- sterke opmars breedband internet (kabel, ADSL, etc.)
(jaarlijks ca. +130% in Europa, dixit Dr. C. Carrelli @ Eurescom Summit, sep. 2003)



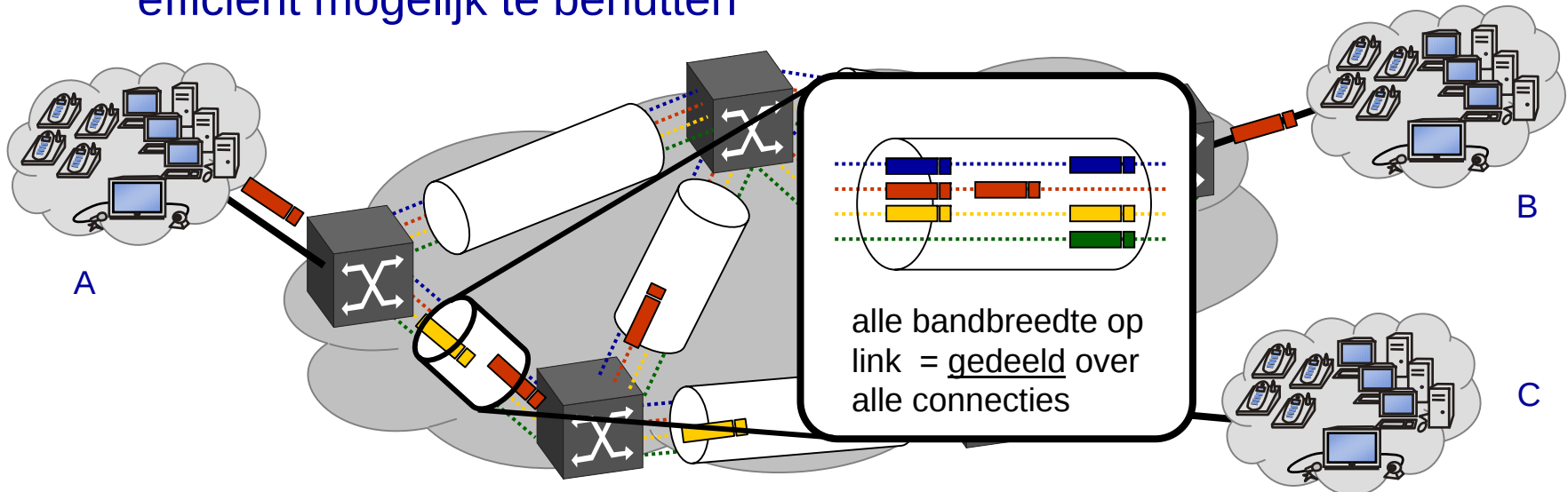
- Er is nood aan een ondersteunend netwerk voor verkeer
 - ✓ van hoge capaciteit
 - dat dynamisch sterk varieert in tijd en ruimte
- Oplossing “vandaag”:
 - optische technologie is zeer efficiënt voor het schakelen van grote bandbreedtes (kost per bit slechts in zeer geringe mate afhankelijk van bandbreedte)



- Er is nood aan een ondersteunend netwerk voor verkeer
 - ✓ van hoge capaciteit
 - ✗ dat ~~dynamisch sterk varieert~~ in tijd en ruimte
- Oplossing “vandaag”:
 - optische technologie is zeer efficiënt voor het schakelen van grote bandbreedtes (kost per bit slechts in zeer geringe mate afhankelijk van bandbreedte)



- Er is nood aan een ondersteunend netwerk voor verkeer
 - ✓ van hoge capaciteit
 - ✓ dat dynamisch sterk varieert in tijd en ruimte
- Oplossing “morgen”:
 - optische technologie
 - pakketschakelen is doeltreffend om de aanwezige bandbreedte zo efficiënt mogelijk te benutten

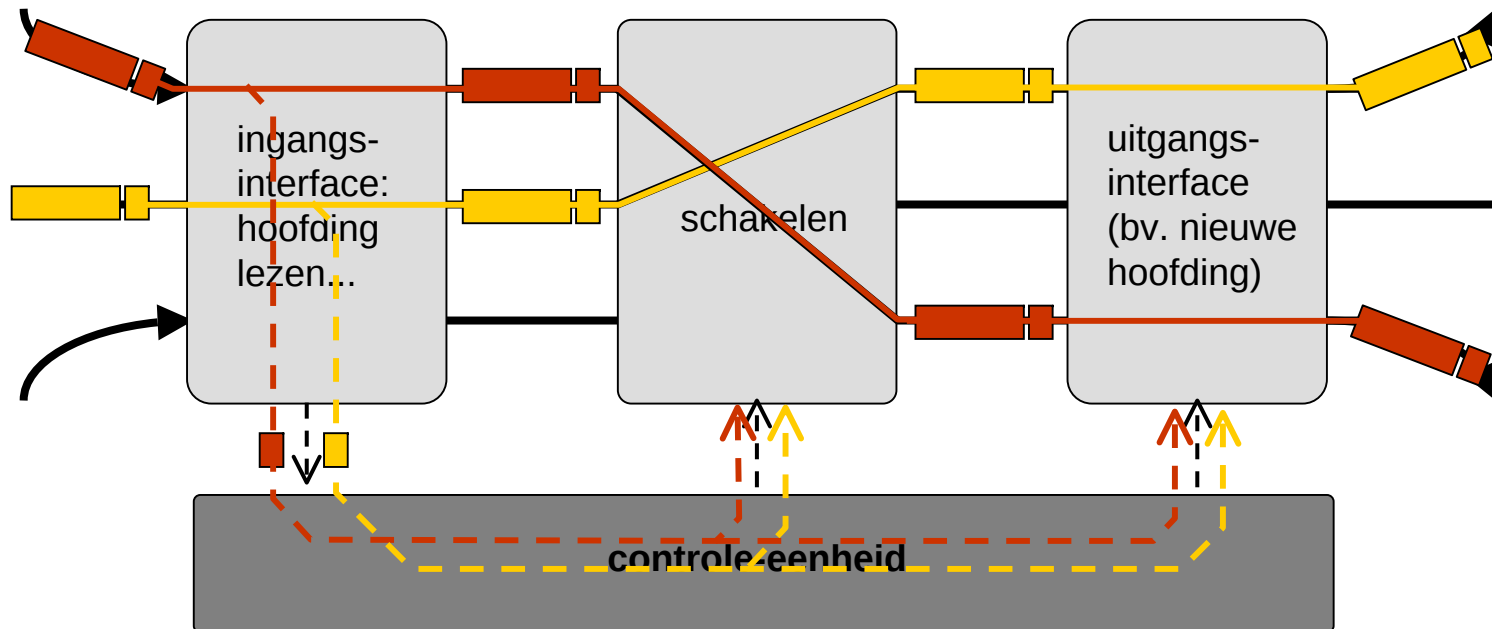




Optische pakket- schakelende netwerken



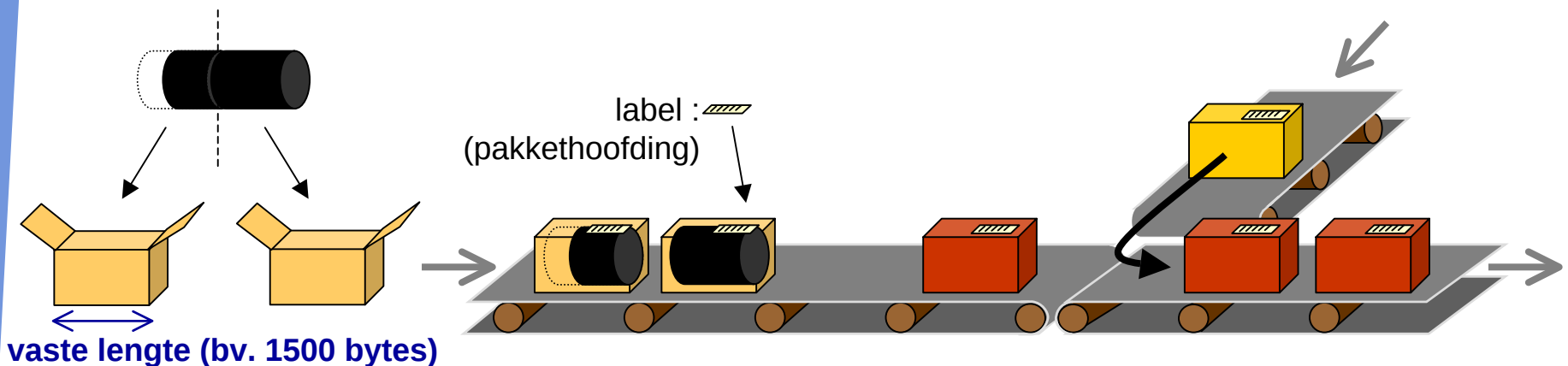
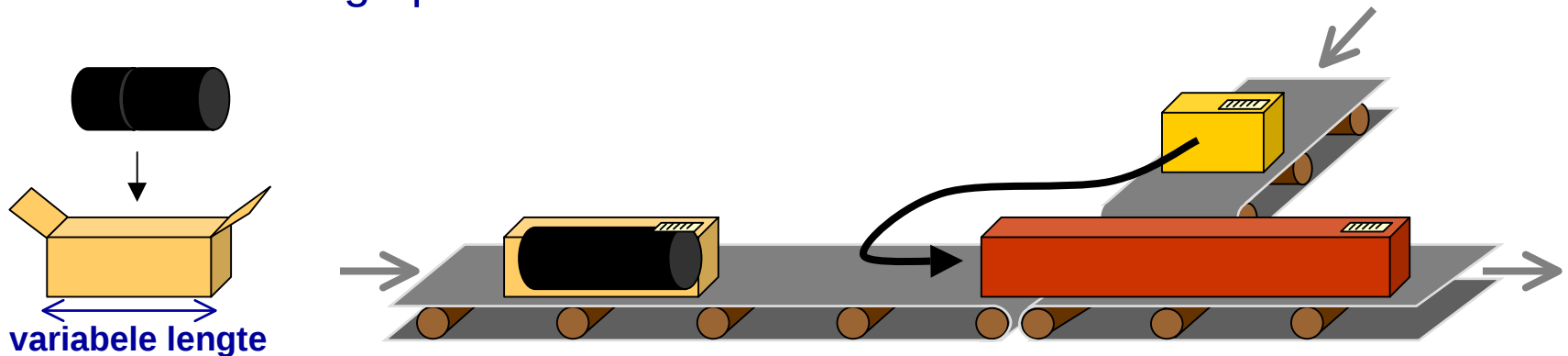
- structuur:
 - ingang = hoofding lezen, signaal herstellen, ...
 - schakelaar = in- en uitgang verbinden
 - uitgang = bv. nieuwe hoofding
- snelheid: nanoseconden (=1 miljardste seconde)



Hoe ziet pakket eruit?

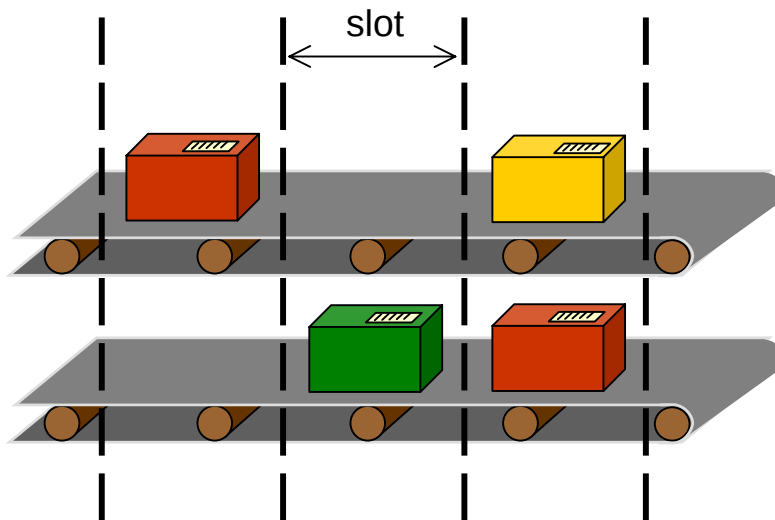
- vaste/variabele lengte:

- pro variabel = geen fragmentering/wedersamenstelling, geen opvulling, minder hoofding-overlast
- contra = lange pakketten kunnen vele korte blokkeren

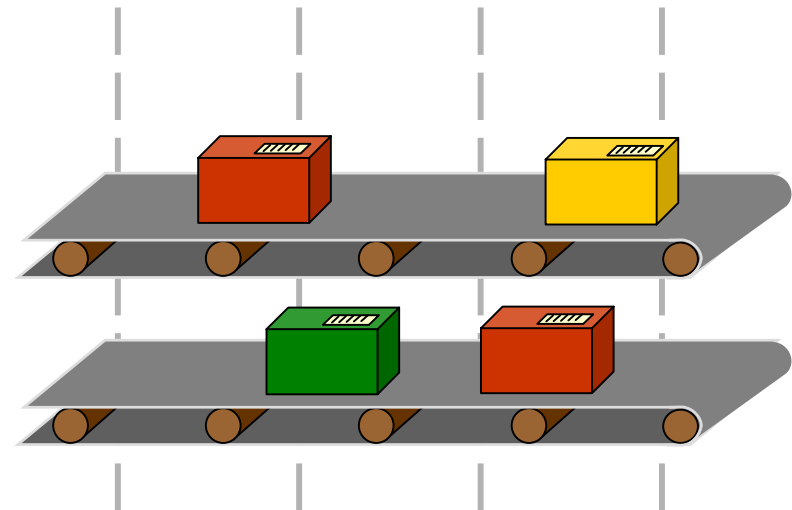


Hoe ziet pakket eruit?

- vaste/variabele lengte:
 - pro variabel = geen fragmentering/wedersamenstelling, geen opvulling, minder hoofding-overlast
 - contra = lange pakketten kunnen vele korte blokkeren
- slot-gebaseerd of niet:



slot-gebaseerd



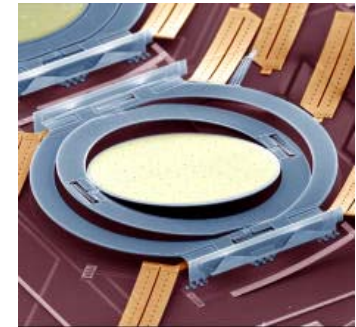
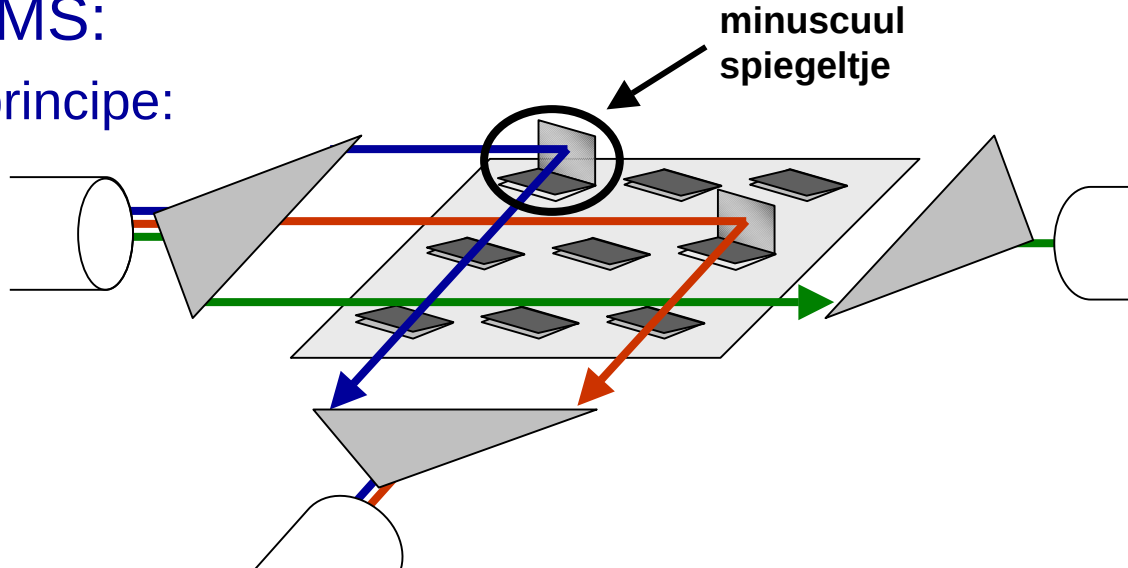
niet slot-gebaseerd

- Gangbare implementaties van optische schakelaars:

- MEMS (=micro-electro-mechanische systemen)
- SOA
- AWG

- MEMS:

- principe:



© Lucent, e.g. OFC2002

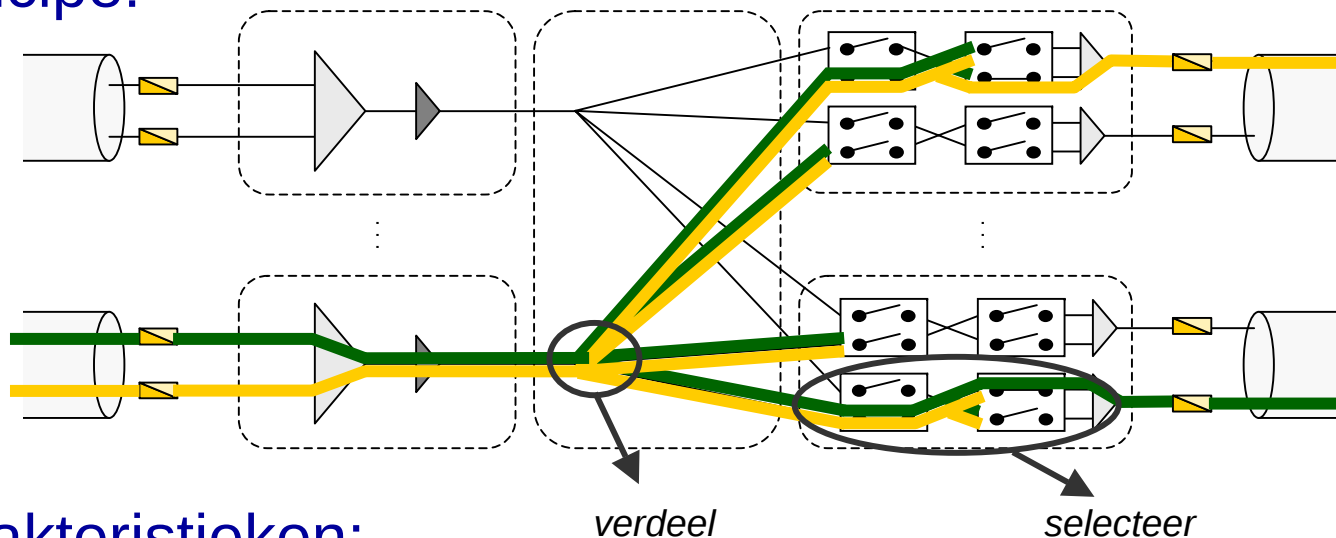
- karakteristieken

- beperkt lichtverlies
- goed schaalbaar
- maar... te traag voor OPS (MEMS = milliseconde(n))

- Gangbare implementaties van optische schakelaars:

- MEMS
- **SOA**, bv. verdeel-en-selecteer
- AWG

- principe:



- karakteristieken:

- splitsingsverlies: lichtsignaal moet geregenereerd worden
- kan gelijktijdig signaal naar meerdere uitgangen versturen (multicast)

- Doel:

- studie van conceptuele problemen bij OPS, hoofdzakelijk vanuit functioneel oogpunt (eerder dan de implementatie met behulp van optische componenten)

- Vragen die we hier zullen behandelen:

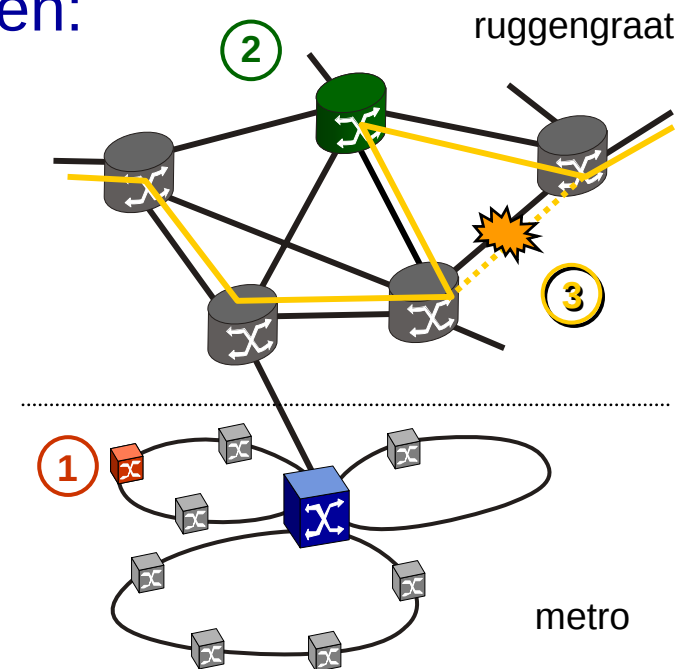


① hoe ziet schakelknoop in een OPS metro-netwerk eruit?

② hoe zullen we de schakelbeslissingen nemen in een OPS knoop?

- vaste lengte, slot-gebaseerd
- variabele lengte, slot-gebaseerd
- variabele lengte, niet slot-gebaseerd

③ hoe reageert internet-verkeer op acties in het (optische) netwerk?

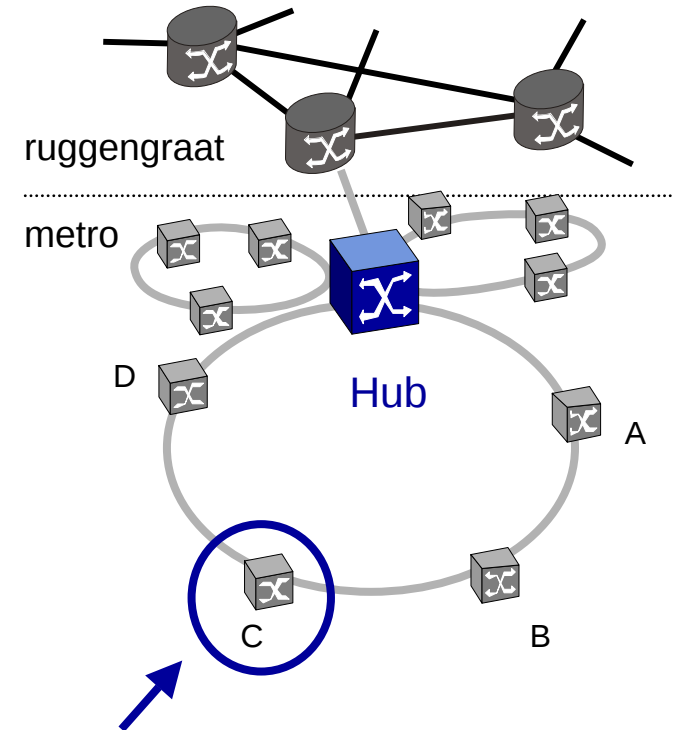




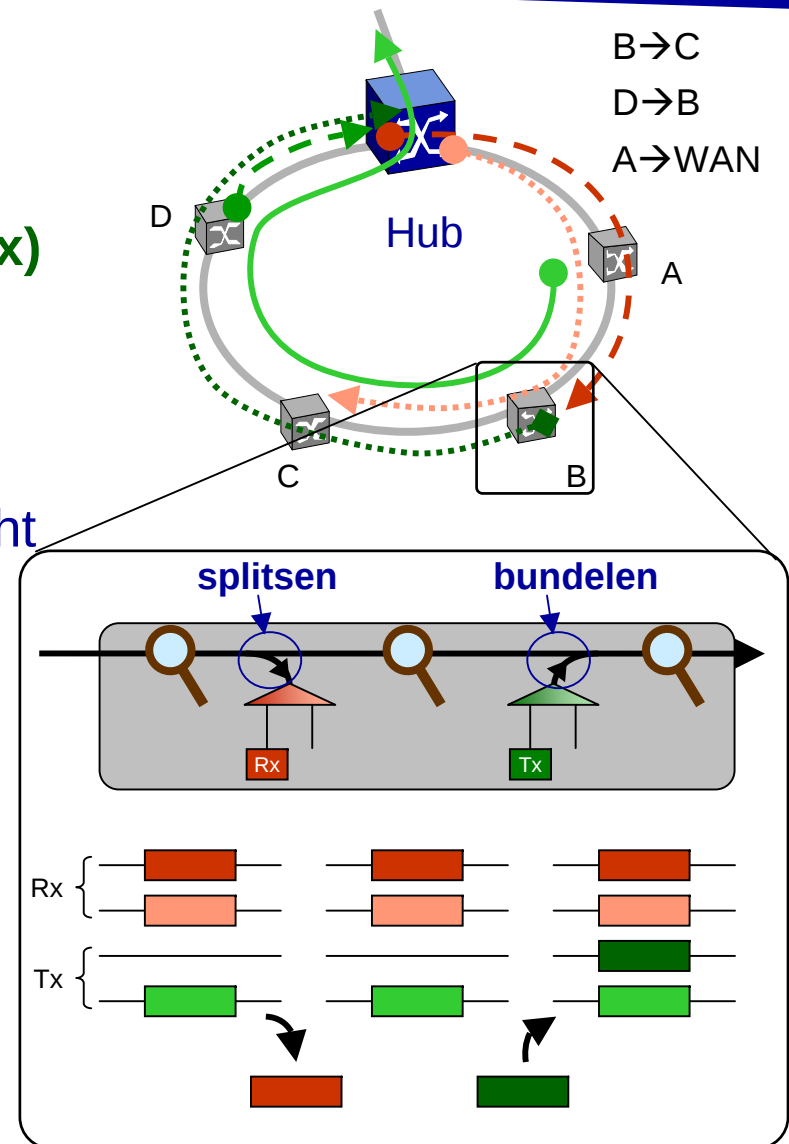
Knooparchitectuur



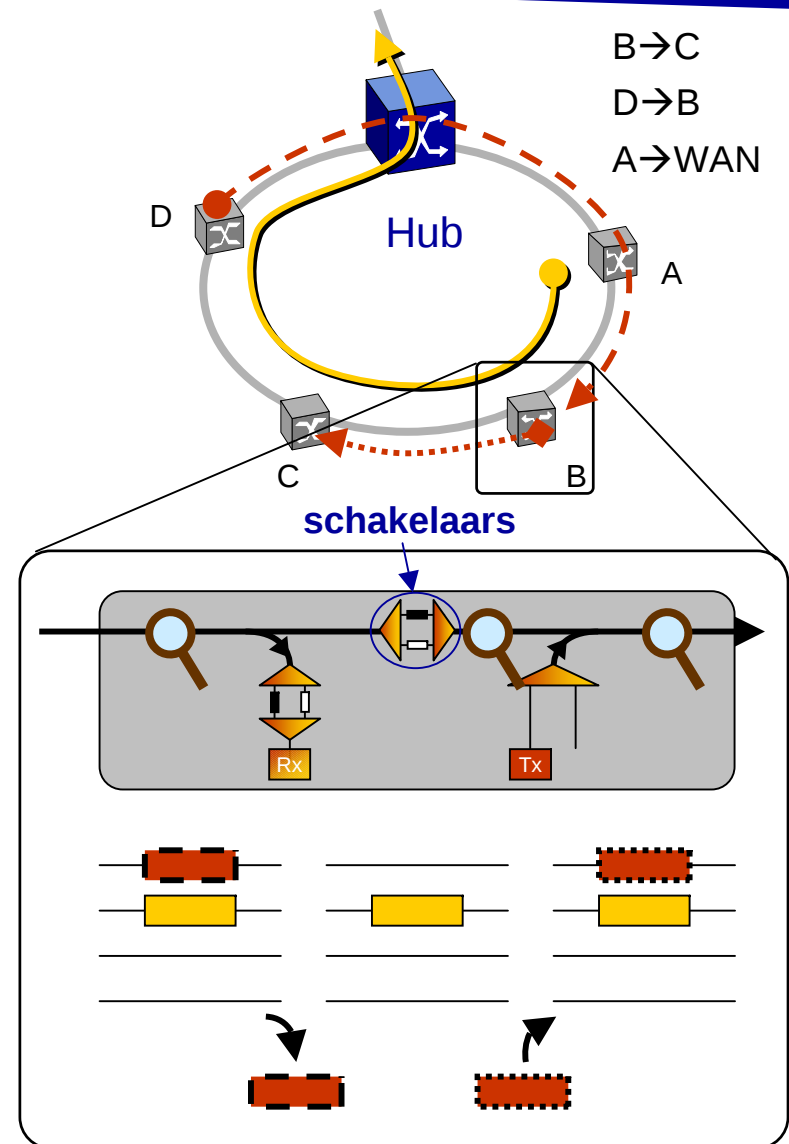
- Metro: ringen met OPADMs en Hub



- Metro: ringen met OPADMs en Hub
- Passieve knooparchitectuur:
 - aparte golflengten voor zenden (Tx) en ontvangen (Rx)
 - knoop kan pakket niet verwijderen van de ring
 - enkel splitsen en bundelen van licht
- Voor- en nadelen:
 - ✓ geen schakelaars: bevordert signaalkwaliteit
 - ✓ eenvoudige componenten (goedkoop)
 - ✗ alle verkeer moet doorheen Hub
 - ✗ minimaal 2 golflengten



- Actieve knooparchitectuur:
 - alle golflengten dienen zowel voor zenden als ontvangen
 - via schakelaars kan pakket "gestopt" worden
- Voor- en nadelen:
 - ✓ verkeer volgt kortste pad (bv. $B \rightarrow C$)
 - ✓ zelfde slot kan je hergebruiken voor meerdere verbindingen (bv. $D \rightarrow B$ en $B \rightarrow C$)
 - ✗ complexere structuur (duurder)
 - ✗ schakelaars & hergebruik golflengten voor Tx en Rx zorgen voor snellere signaaldegradatie

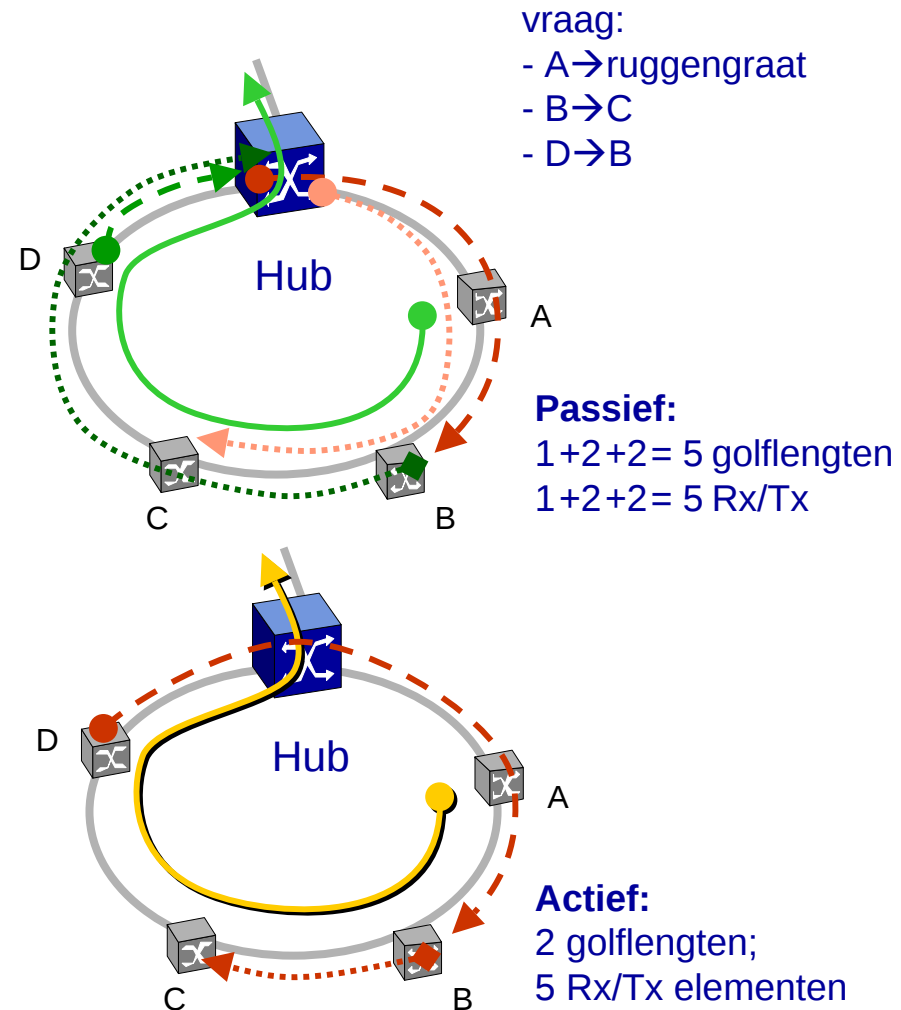


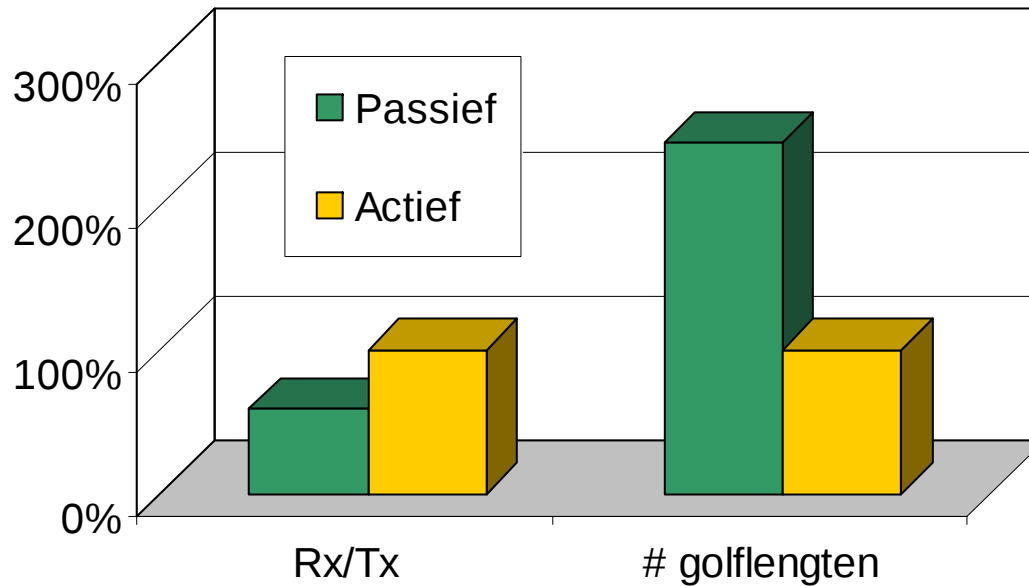
- Vergelijken Actief vs Passief:

- gegeven: een verzameling knooppunten die metro-netwerk moeten vormen + hoeveel gegevens ze met elkaar uitwisselen
- bereken: hoeveel apparatuur moet je daarvoor installeren

- Kost-criteria:

- hoeveel verschillende golflengten zijn nodig?
- hoeveel zenders (Tx) en ontvangers (Rx) heb je nodig?





• Conclusie:

- passieve structuur levert geen meerkost op in termen van Rx/Tx capaciteit, en knooparchitectuur is eenvoudiger (goedkoper + betere fysische eigenschappen)
- maar als aantal golflengten schaars wordt (i.e. capaciteit in metro-netwerk wordt heel groot) zal toch naar de Actieve structuur moeten overgegaan worden



Schakelbeslissingen



- Doel:

- studie van conceptuele problemen bij OPS, hoofdzakelijk vanuit functioneel oogpunt (eerder dan de implementatie met behulp van optische componenten)

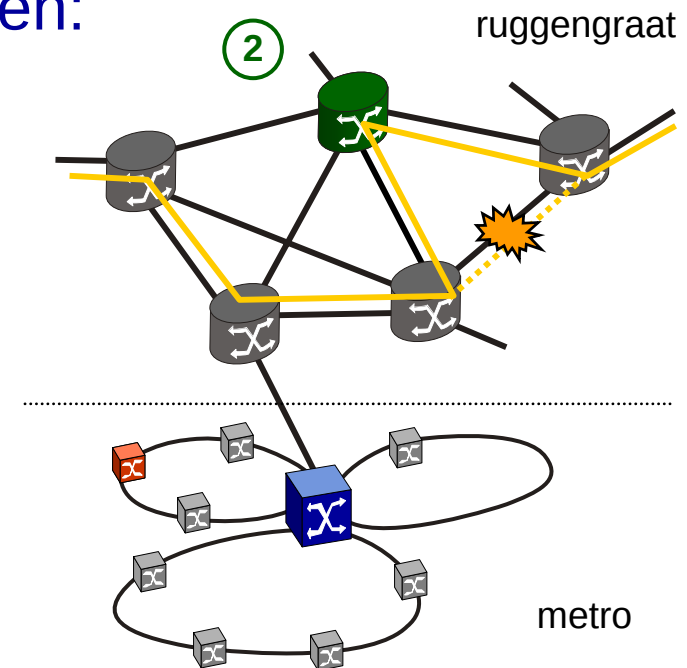
- Vragen die we hier zullen behandelen:

① hoe ziet schakelknoop in een OPS metro-netwerk eruit?

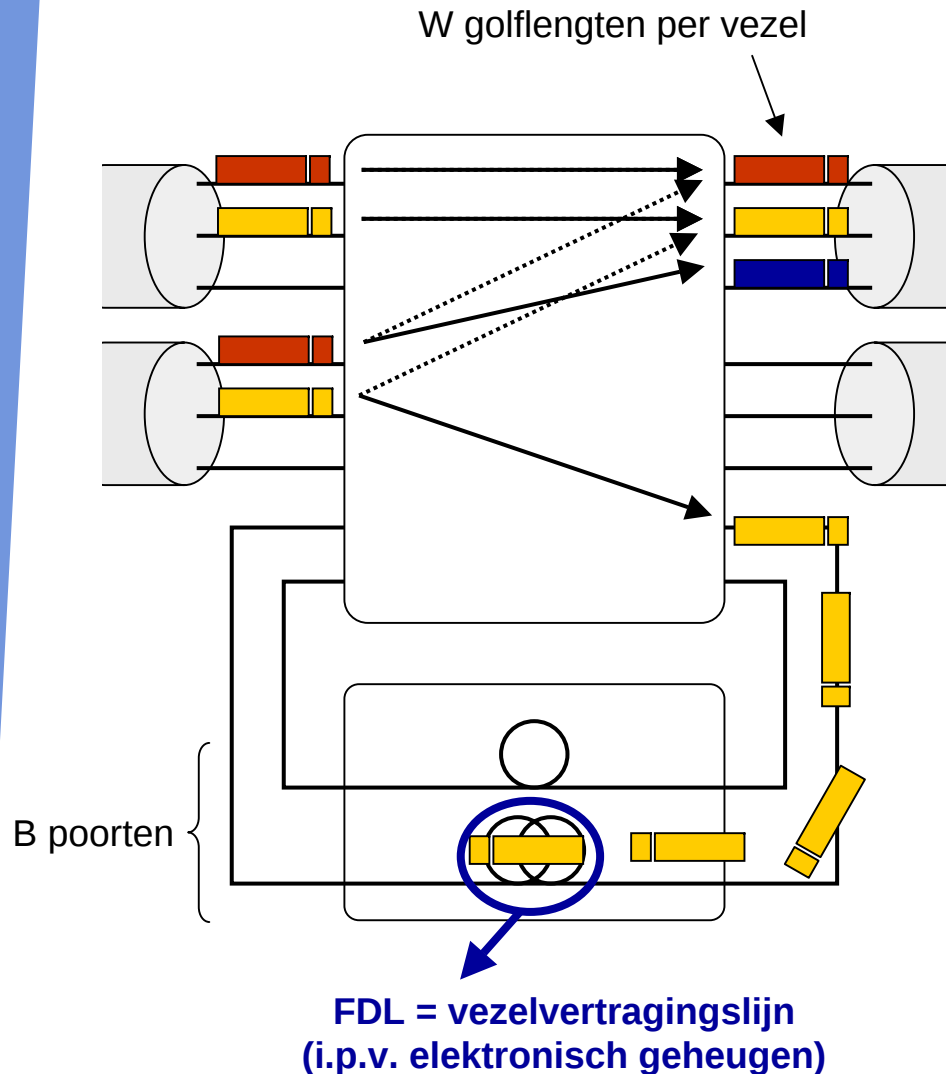
② hoe zullen we de schakelbeslissingen nemen in een OPS knoop?

- vaste lengte, slot-gebaseerd
- variabele lengte, slot-gebaseerd
- variabele lengte, niet slot-gebaseerd

③ hoe reageert internet-verkeer op acties in het (optische) netwerk?



Werking schakelknoop



- **Probleem:**

- meer dan één pakket is bestemd voor zelfde uitgang

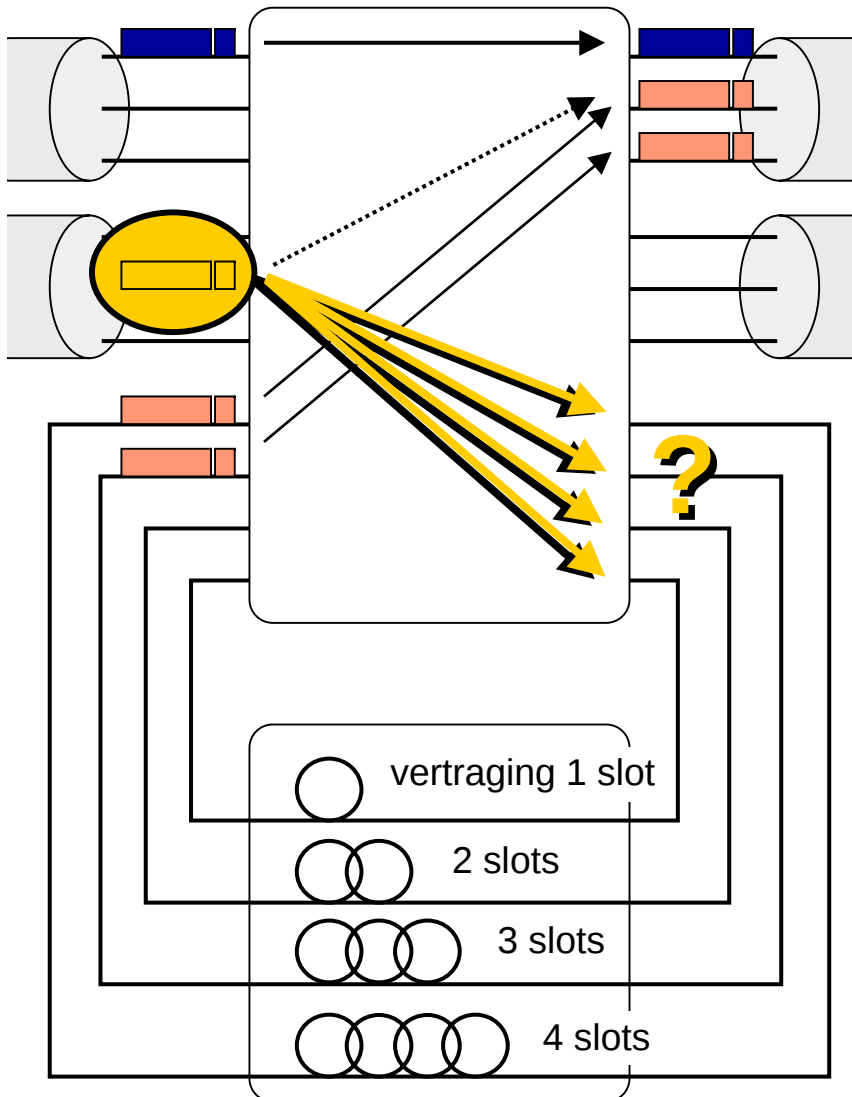
- **Oplossing:**

- golflengte conversie
- naar buffer

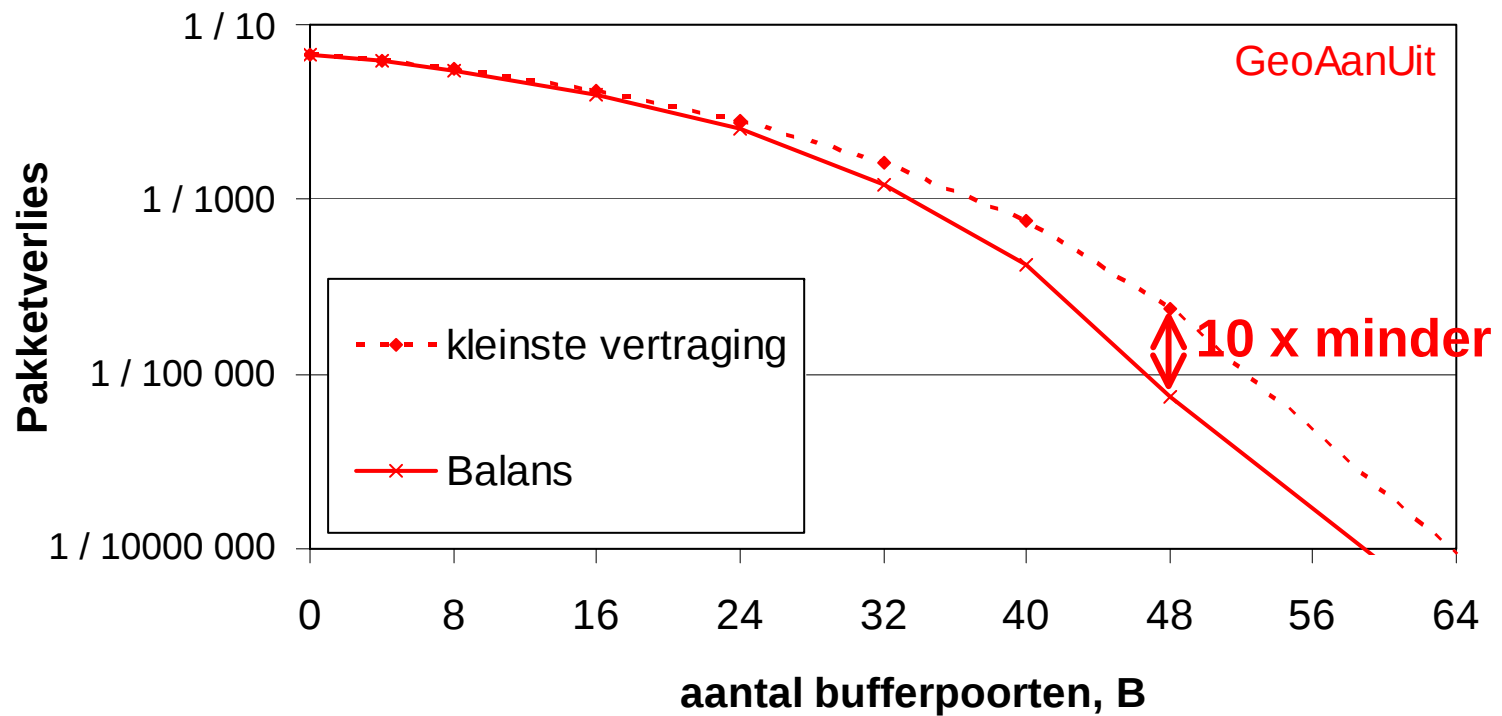
- **Werkwijze:**

- groepeer per uitgang
- kies er W voor elke uitgang
- kies er B uit overschot

Bufferplaats kiezen

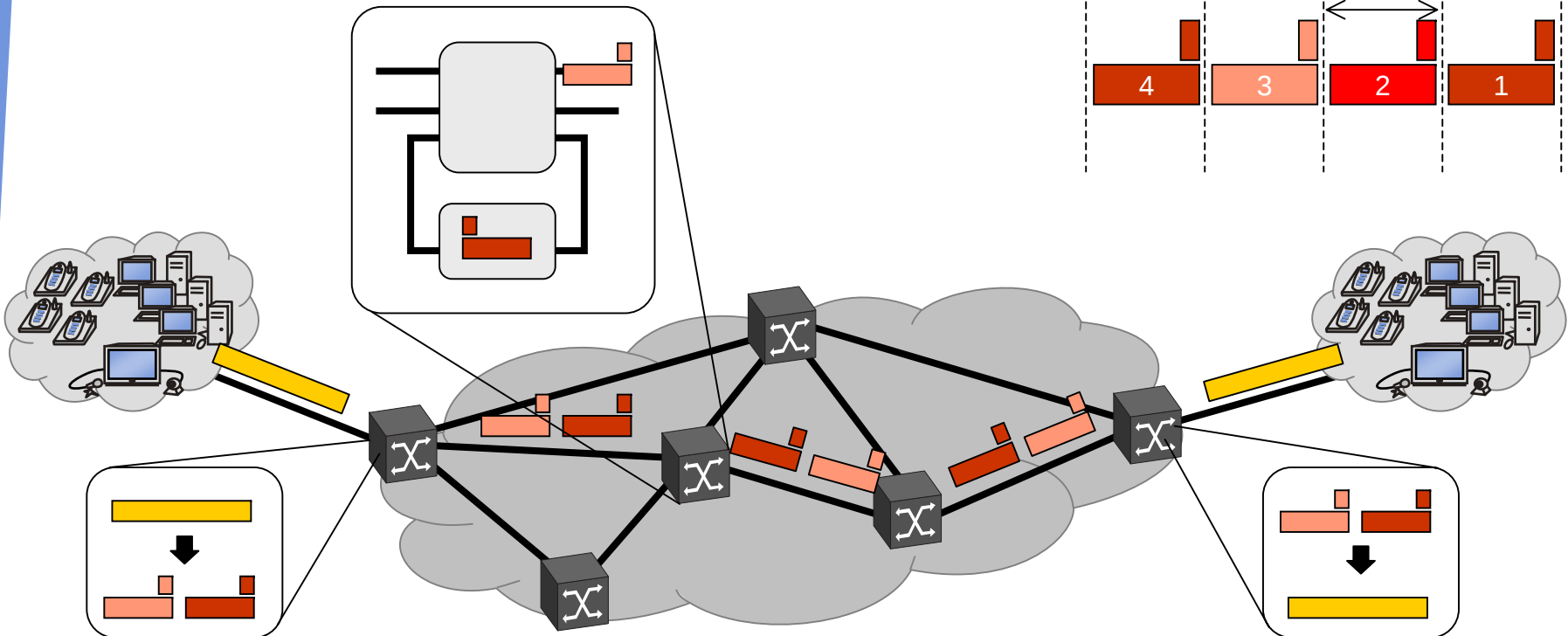
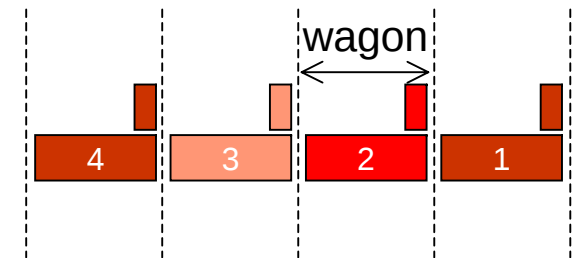
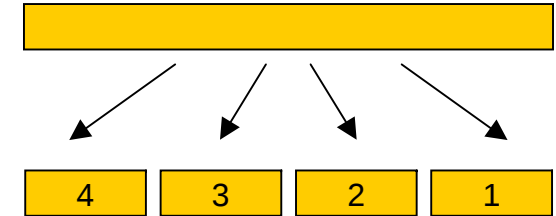


- Schakelaar:
 - slot-gebaseerd
 - pakketten van vaste lengte
 - buffer bestaat uit FDLs van verschillende lengte
- Probleem:
 - welke bufferpoort kies je wanneer een pakket gebufferd moet worden?
- Oplossing: “Balans”
 - onthoud wat je in buffer hebt gestopt
 - spreid in de tijd



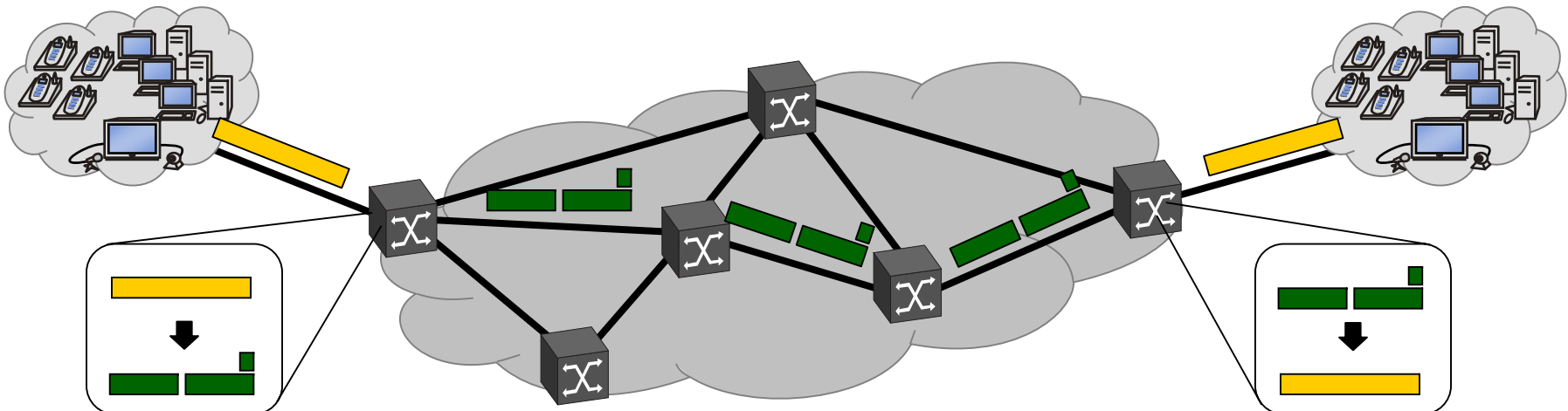
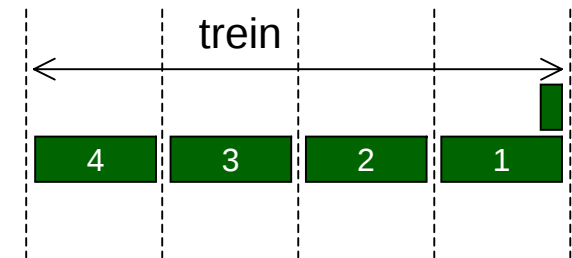
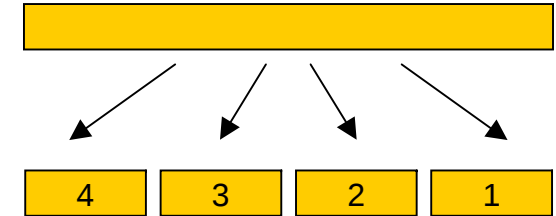
Slot-gebaseerd schakelen pakketten variabele lengte

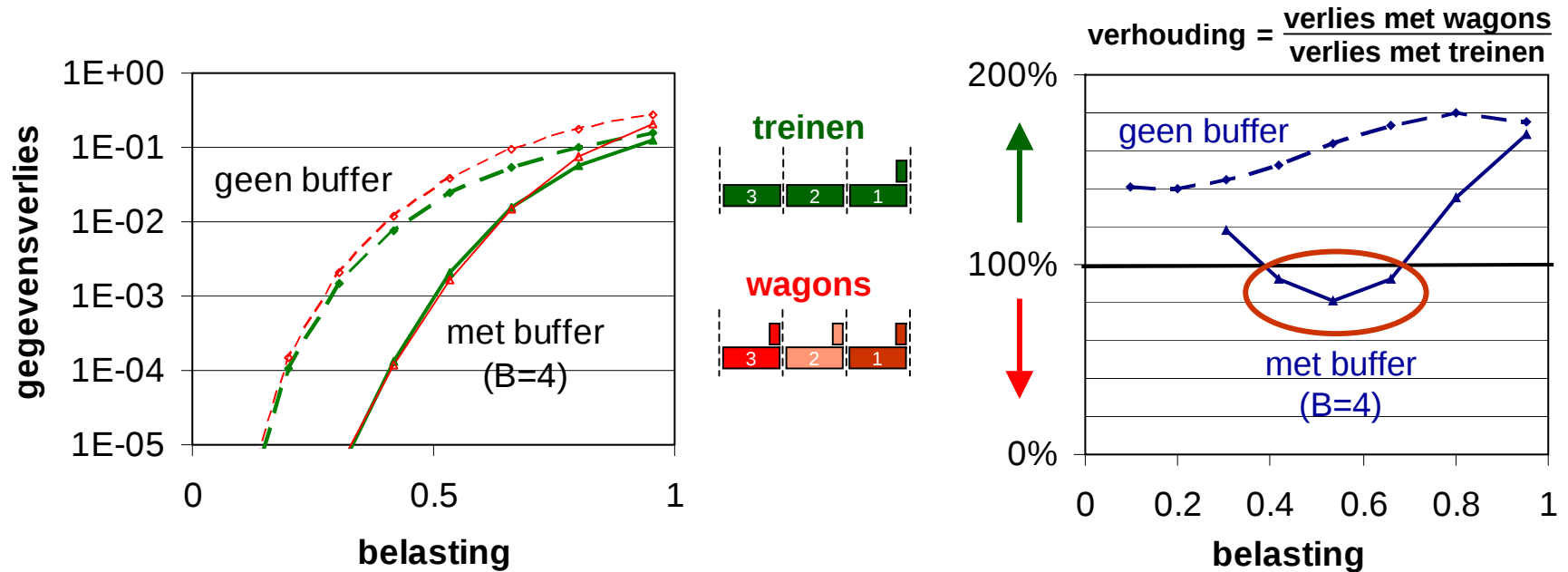
- Segmentatie & wedersamenstelling (SAR)
- “Treinen” of “wagons”:
 - **wagons**: elk slot (=“wagon”) onafhankelijk
 - niets onthouden over vorige slot



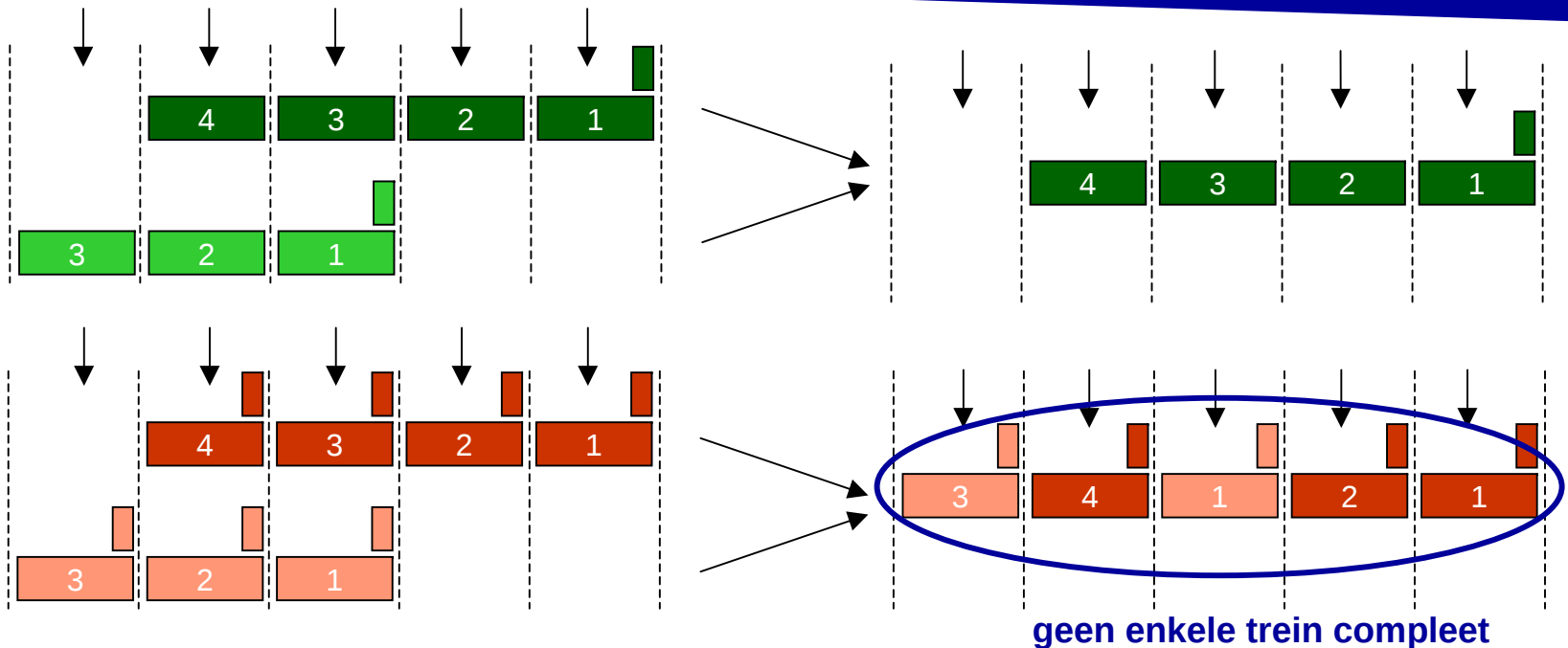
Slot-gebaseerd schakelen pakketten variabele lengte

- Segmentatie & wedersamenstelling (SAR)
- “Treinen” of “wagons”:
 - wagons: elk slot (=“wagon”) onafhankelijk
 - niets onthouden over vorige slot
 - trein: pakket steeds in z'n geheel
 - SAR triviaal
 - slechts één volwaardige hoofding





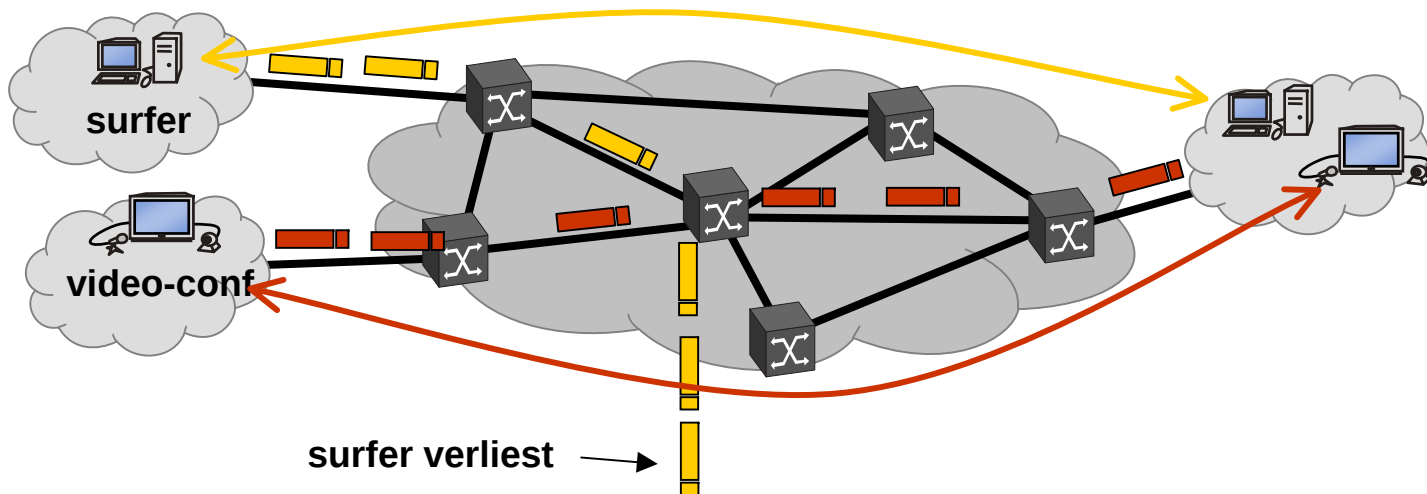
- zonder buffer: treinen beter
- met buffer: wagon-aanpak soms beter (middelmatig belast)



- zonder buffer: treinen beter
 - wagon-aanpak resulteert in het verlies van delen van verschillende treinen die overlappen
- met buffer: wagon-aanpak soms beter (middelmatic belast)
 - buffer kan verlies van wagons overlappende treinen opvangen
 - bufferruimte kan je beter benutten met eenheden van vaste lengte

- Bedoeling:

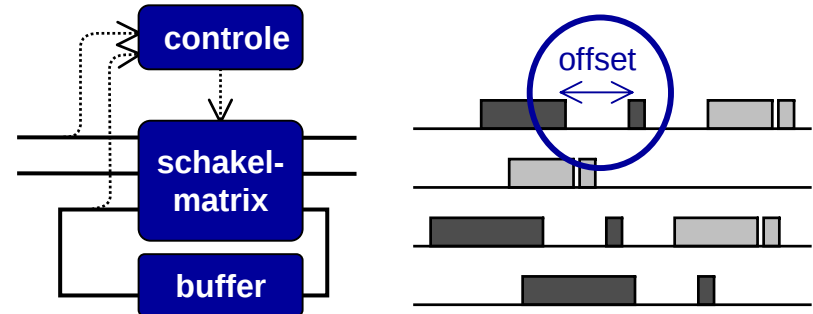
- voorrang verlenen aan bepaalde verkeersstromen (bv. video-conferentie boven internet-surfen)



QoS voor asynchrone pakketten van variabele lengte

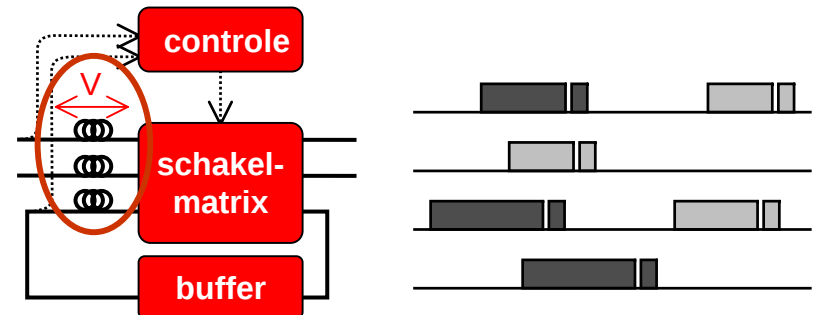
• Offset-differentiatie:

- hoofding langer vooruit sturen
- vgl. reservatie tafel in restaurant



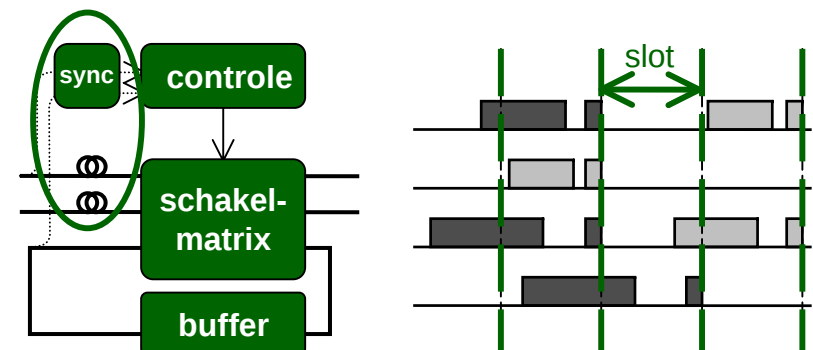
• Vooruitkijken:

- uitstellen beslissing met buffer
- beslissing kan herzien worden



• Slot-gebaseerde controle:

- neem gezamenlijke beslissingen per tijdslot

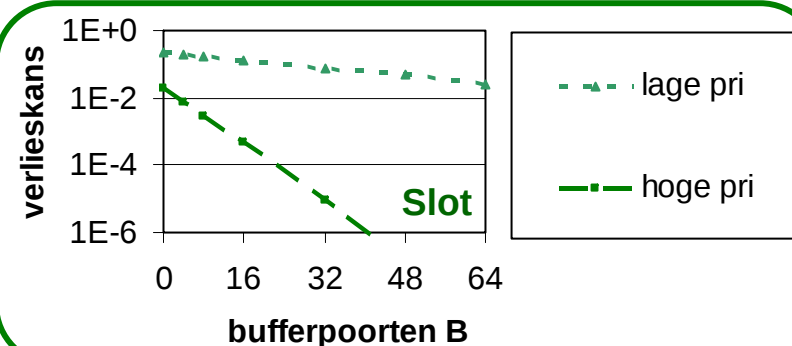
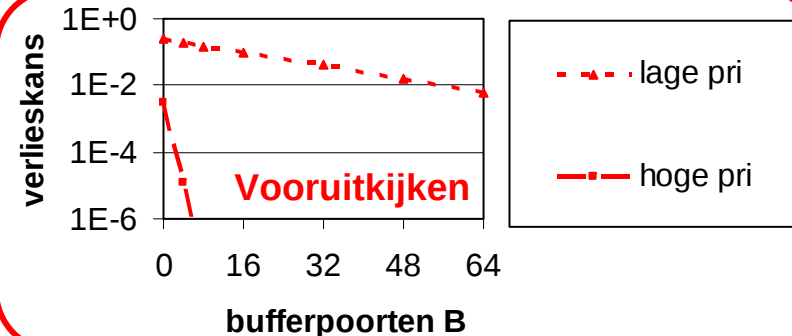
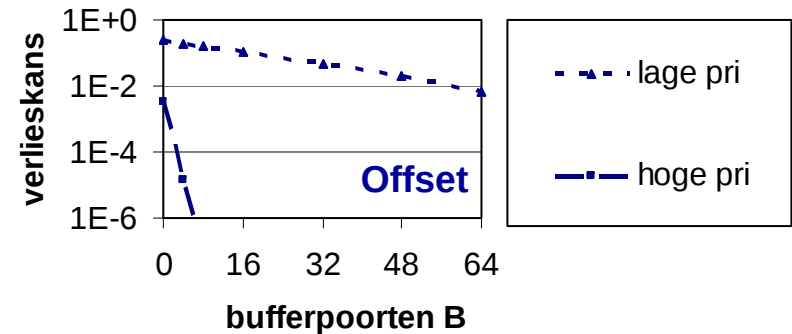


• Vooruitkijken

- even goed qua gemiddeld verlies als offset
- maar sterkere discriminatie van lange pakketten binnen een prioriteitsklasse

• Slot-gebaseerde controle

- minder sterke differentiatie
- maar erg eenvoudig
- volstaat voor lage tot middelmatige belastingen (last=0.5, hoge prioriteit verliest 1 pakket op miljoen)





Interactie met internet-verkeer

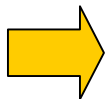


- Doel:

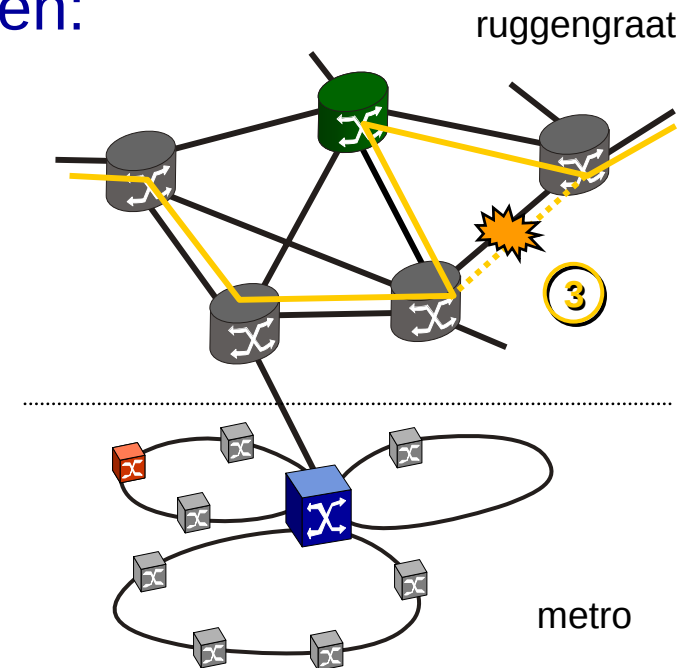
- studie van conceptuele problemen bij OPS, hoofdzakelijk vanuit functioneel oogpunt (eerder dan de implementatie met behulp van optische componenten)

- Vragen die we hier zullen behandelen:

- ① hoe ziet schakelknoop in een OPS metro-netwerk eruit?
- ② hoe zullen we de schakelbeslissingen nemen in een OPS knoop?
 - vaste lengte, slot-gebaseerd
 - variabele lengte, slot-gebaseerd
 - variabele lengte, niet slot-gebaseerd

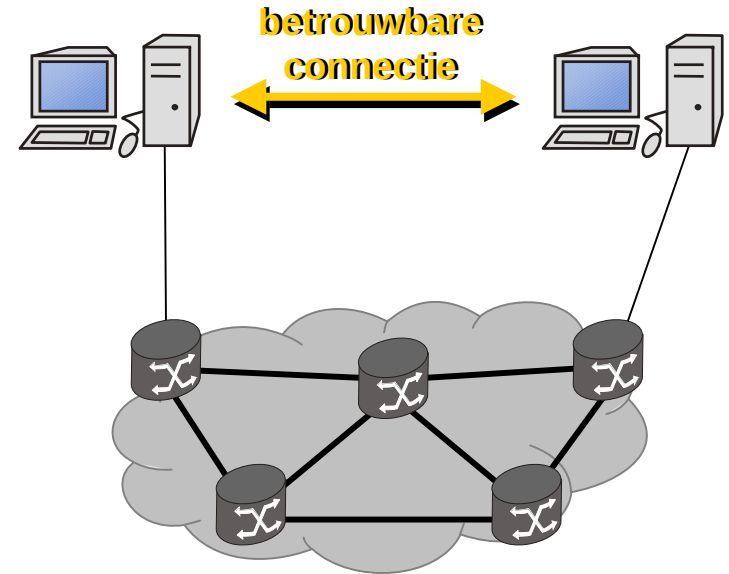


- ③ hoe reageert internet-verkeer op acties in het (optische) netwerk?



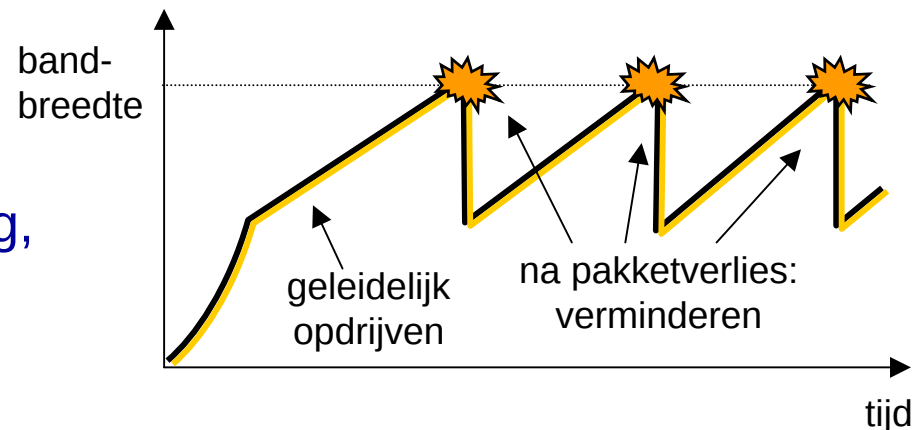
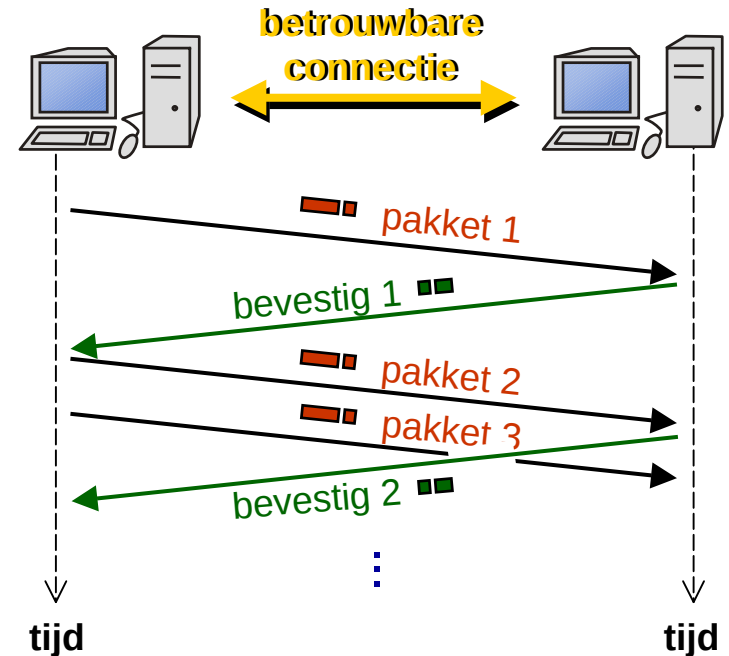
Transport Control Protocol (TCP)

- Internet verkeer:
 - ca. 90% van verkeer is TCP
- TCP =
Transport Control Protocol
 - connectie tussen communicatie-eindpunten
 - betrouwbaar: bevestig
ontvangst; zoniet: opnieuw
zenden



Transport Control Protocol (TCP)

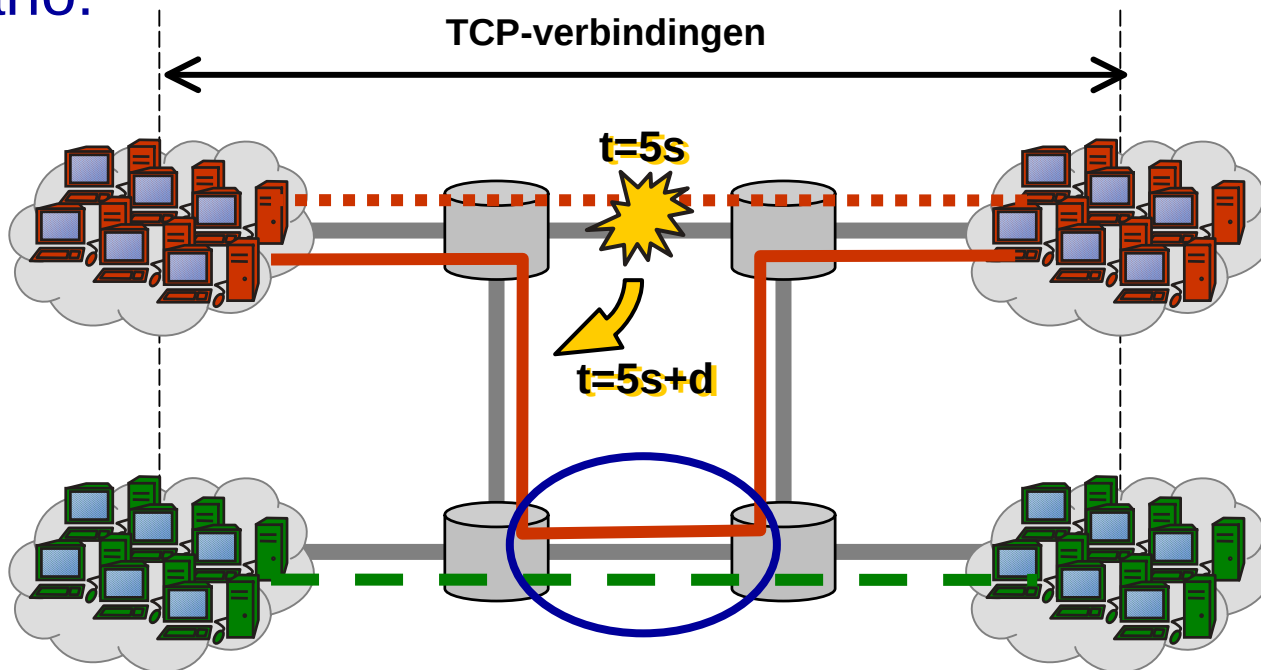
- Internet verkeer:
 - ca. 90% van verkeer is TCP
- TCP = Transport Control Protocol
 - connectie tussen communicatie-eindpunten
 - betrouwbaar: bevestig ontvangst; zoniet: opnieuw zenden
 - reactief: aanpassen aan beschikbare bandbreedte (pakketverlies = overbelasting, dus trager zenden)



Acties in onderliggend netwerk

- TCP reageert op
 - pakketverlies
 - verandering in vertraging (cf. wacht op bevestigingen)
 ⇒ zal reageren wanneer route abrupt gewijzigd wordt

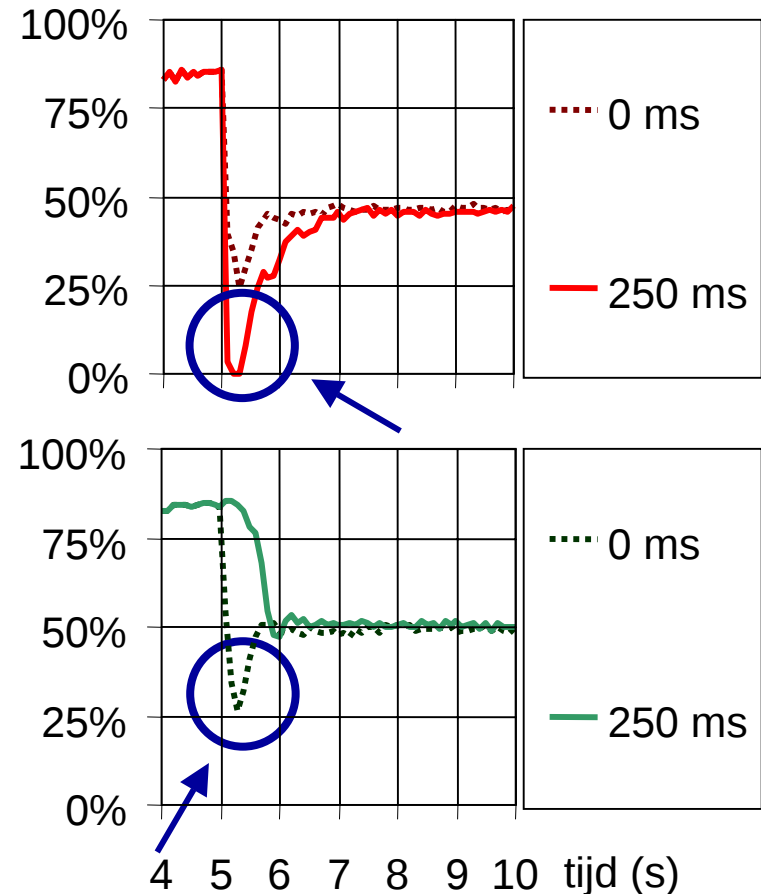
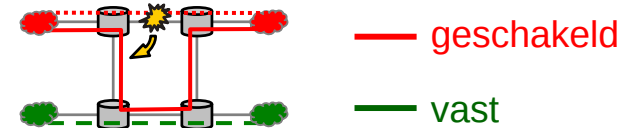
- Scenario:



- Invloed van de omschakeltijd:

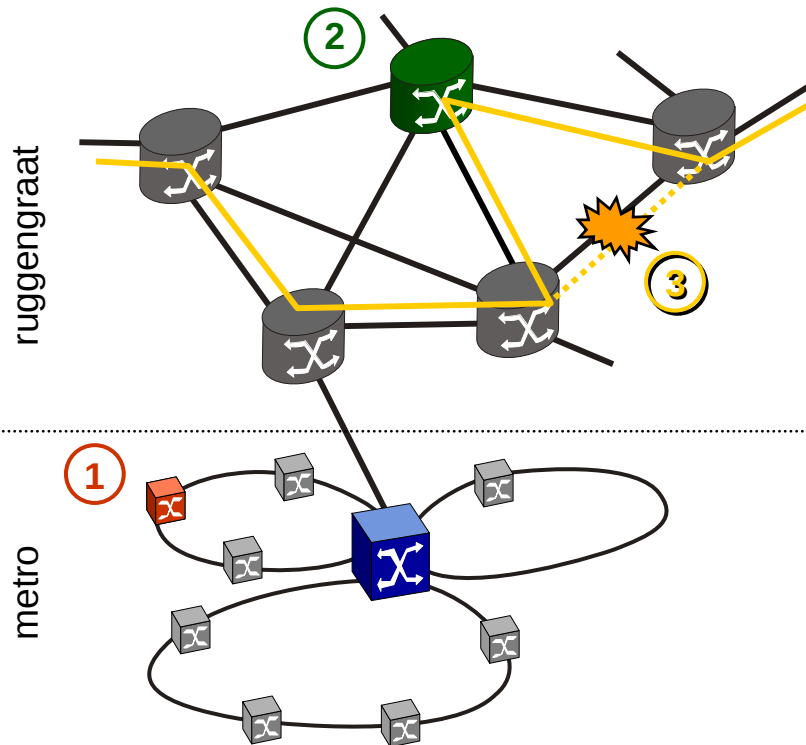
- **traag:**  
geschakelde stromen zijn stilgevallen en herbeginnen vanaf 0
- **snel:**  
geschakelde stromen hebben zich nog niet aangepast: veel verlies, ook voor vaste stromen

⇒ niet proberen absoluut zo snel mogelijk te herstellen





Ter bijna slot...

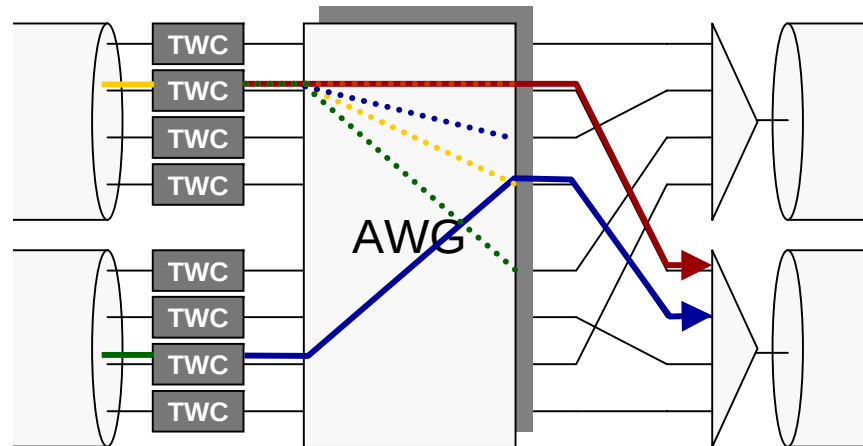


- Studie van brede waaier aan conceptuele problemen in OPS:
 - knoop-architectuur
 - schakel- en buffer-algoritmes
 - interactie met toepassingen



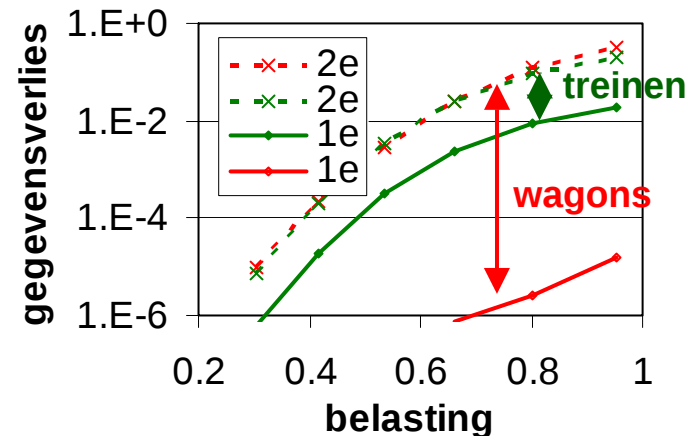
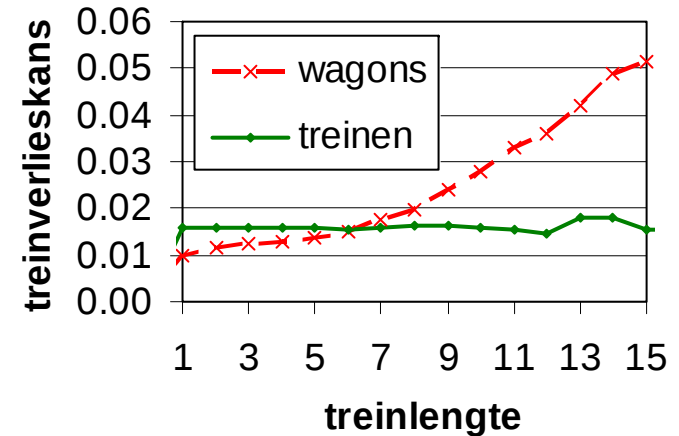
**... danku voor uw zeer
gesmaakte aandacht**

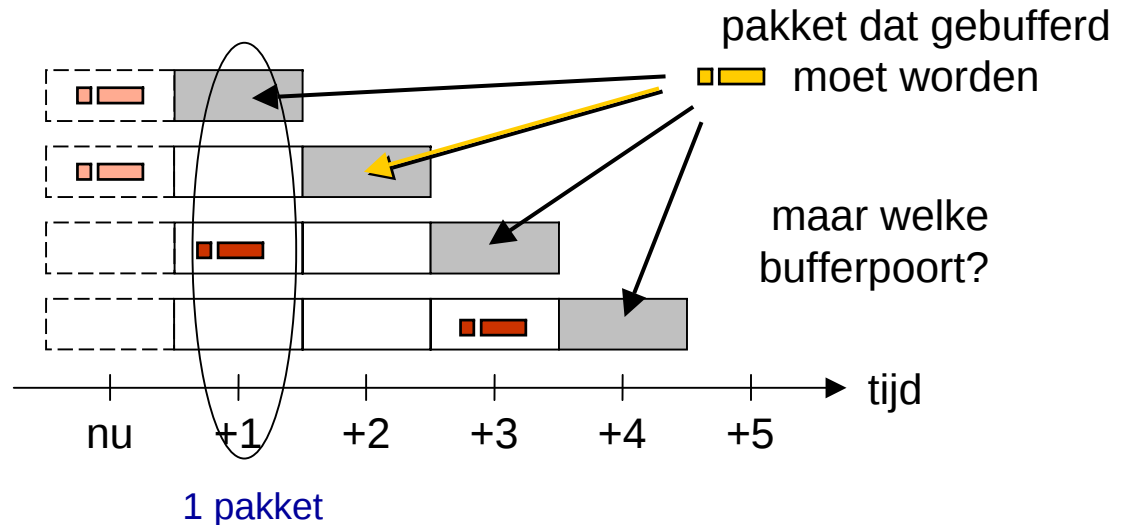
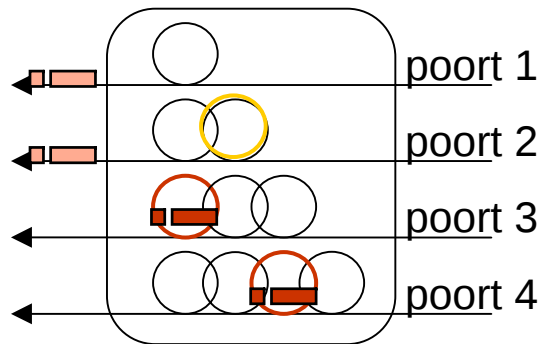
- Gangbare implementaties van optische schakelaars:
 - MEMS
 - verdeel-en-selecteer
 - **AWG en convertoren met regelbare golflengte**
- principe:



- karakteristieken:
 - geen splitsingsverliezen
 - multicast behoorlijk complex

- Bijkomend nadeel wagon-aanpak:
 - discriminatie van lange treinen is erger (ttz. kans dat een trein ongeschonden doorgeschakeld wordt is beduidend kleiner naarmate de trein langer is)
- Voordeel wagon-aanpak:
 - markeren van pakketten met een prioriteit volstaat om gedifferentieerde diensten aan te bieden (bv. treinen van 1e klas vs treinen van 2e klas)





- **Balans algoritme:**

- onthoud wat je vroeger in buffer hebt gestopt
- spreid pakketten die bestemd zijn voor zelfde uitgang in de tijd

- **Werking:**

- aantal pakketten in buffer voor $nu+L$ later
- kies L met kleinste aantal

Transport Control Protocol (TCP)

- Internet verkeer:
 - 85 a 90% pakketten is TCP
 - meer dan 95% van bytes is TCP
- TCP =
Transport Control Protocol
 - **connectie** tussen communicatie-eindpunten
 - **betrouwbaar**: bevestig ontvangst; zoniet: opnieuw zenden
 - **reactief**: aanpassen aan beschikbare bandbreedte (pakketverlies = overbelasting, dus trager zenden)

