

# Introduksjon til Datakommunikasjon

Olav Lysne

(delvis basert på materiale fra J. K. Kurose og K. W. Ross)

Introduksjon 1

## Undervisningsopplegg:

- En dobbelt-time forelesninger pr. uke
- Felles gruppeundervisning (dobbelt-time)
- En oblig og to hjemme-eksamener (teller omlag 40% til sammen)
- Orakel: tilstede i termstua i Informatikk-bygget 2 timer pr. uke

Introduksjon 2

## Problemområde og fokusering

- hvordan skal vi bygge opp effektive kommunikasjonsnettverk?
- kursets fokusering:
  - gi en funksjonell forståelse av bygge-elementene
  - vise hvordan elementene settes sammen til operative nett
  - fokus på prinsipper, konsepter og generalitet

Introduksjon 3

## Denne forelesningen:

### Målsetning

- Gi oversikt over emnet
- tilnærming:
  - deskriptiv
  - Bruker Internett som eksempel

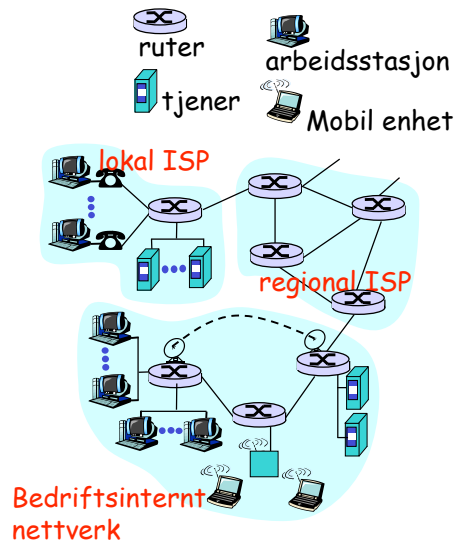
### Innhold:

- Hva er Internett
- Hva er en protokoll
- Endemaskiner
- Nettverkskjerne
- Aksessnett og fysiske media
- Ytelse: tap og forsinkelse
- Protokollag, tjenestemodeller
- backbones, NAP'er, ISP'er
- historie

Introduksjon 4

## Hva er Internett?

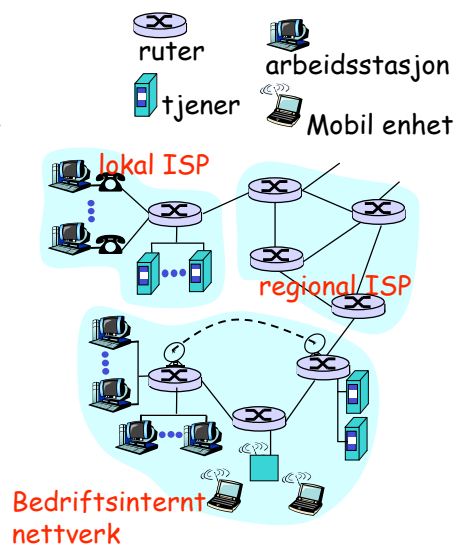
- Millioner av sammenkoblede dataressurser: *vertsmaskiner, endesystemer*
  - PC'er, arbeidsstasjoner, tjenere
  - PDA'er, telefoner, kjøleskap... som kjører *nettverksapplikasjoner*
- *kommunikasjonslinker*
  - Fiber, kobber, radio, satellitt
- *rutere*: videresender pakker med data gjennom nettverket



Introduksjon 5

## Hva er Internett?

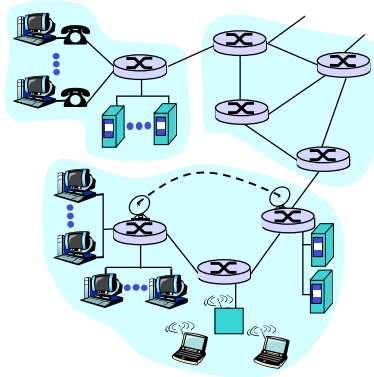
- *protokoller*: kontrollerer sending, mottak av meldinger, f. eks., TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- *Internett: "nettverk av nettverk"*
  - Delvis hierarkisk
  - Offentlig Internett versus privat intranet
- *Internett standarder*:
  - RFC: Request for comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force



Introduksjon 6

## Hva er internett fra et tjenestesynspunkt?

- **kommunikasjons infrastruktur** muliggjør distribuerte applikasjoner:
  - WWW, email, spill, e-handel, fildeling, IP-telefoni, mediastreaming
  - Flere ting?
- **Kommunikasjonstjenester som tilbys:**
  - forbindelsesløs
  - Forbindelses-orientert



Introduksjon 7

## Hva er en protokoll?

### Menneskelige protokoller:

- "hva er klokka?"
- "Jeg har et spørsmål"
- Høflighetsfraser...

... spesielle "meldinger" som blir sendt fører til

... gitte hendelser eller aksjoner når meldingen blir mottatt

### Nettverksprotokoller:

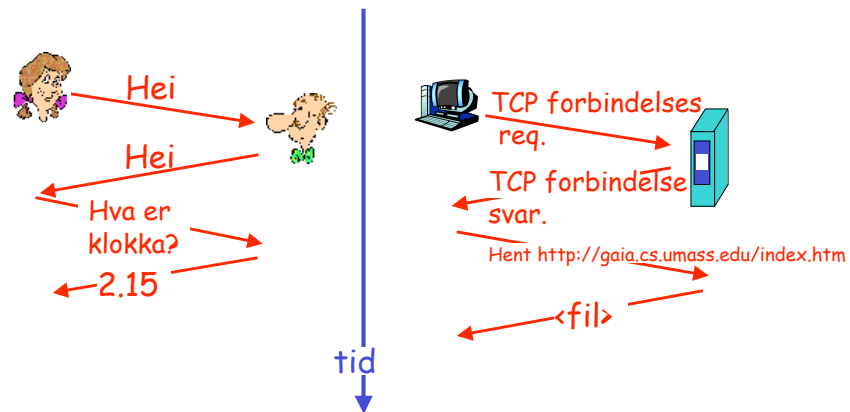
- Maskiner i stedet for mennesker
- All kommunikasjonsaktivitet på Internett er styrt av protokoller

*Protokoller definerer formater, rekkefølge for avsending og mottak av medlinger, og hvilke handlinger mottak av en melding skal føre til.*

Introduksjon 8

## Hva er en protokoll?

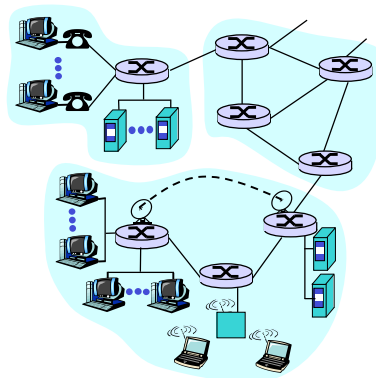
En menneskelig protokoll og en maskinell protokoll:



Introduksjon 9

## En nærmere titt på nettverksstrukturen:

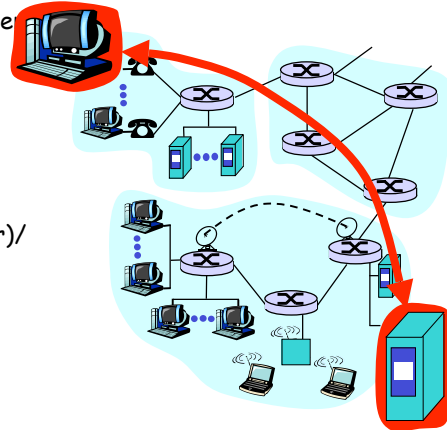
- **endemaskin:** applikasjoner og vertsmaskiner
- **nettverkskjerne:**
  - rutere
  - Nettverk av nettverk
- **aksessnettverk, fysisk medium:** kommunikasjonslinker



Introduksjon 10

## Endemaskinene:

- **Endesystemene**
  - Kjører applikasjonsprogrammer
  - F.eks., WWW, email
  - I "utkanten" av nettet
- **Klient/tjener modell**
  - Klienten ber om, og får en tjeneste fra tjeneren
  - F.eks. WWW klient (browser)/tjener; email klient/tjener
- **peer-peer modell:**
  - interaksjonen er symmetrisk
  - F.eks. telekonferanse



Introduksjon 11

## Endemaskiner: forbindelsesorientert tjeneste

**Mål:** dataoverføring mellom endesystemene.

- **handshaking:** forbered dataoverføringen på forhånd
  - "Hei", "hei igjen" er en menneskelig handshaking potokoll
  - **Sett opp "tilstand"** i de to maskinene som kommuniserer.
- TCP - Transmission Control Protocol
  - Internettets forbindelsesorienterte tjeneste

**TCP service** [RFC 793]

- **pålitelig, in-order** bytestrøm data overføring
  - tap: acknowledgements og retransmisjoner
- **Flyt-kontroll:**
  - Sender ikke mer enn mottaker kan ta imot
- **Metnings-kontroll:**
  - Sender saktere når nettverket er i metning.

Introduksjon 12

## Endemaskiner: forbindelsesløs tjeneste

**Mål:** dataoverføring mellom endesystemer

- Som før!
- **UDP** - User Datagram Protocol [RFC 768]: Internettets forbindelsesløse tjeneste
  - Upålitelig dataoverføring
  - Ingen flytkontroll
  - Ingen metnings-kontroll

**Typiske Applikasjoner som bruker TCP:**

- HTTP (WWW), FTP (file transfer), Telnet (remote login), SMTP (email)

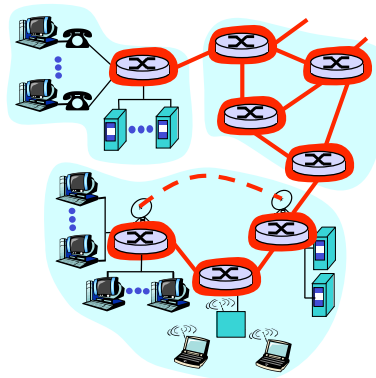
**Typiske Applikasjoner som bruker UDP:**

- streaming av media, telekonferanser, Internett-telefoni

Introduksjon 13

## Nettverkskjernen

- Graf av sammenkoblede rutere
- **Ett fundamentalt spørsmål:** hvordan blir data formidlet gjennom nettet?
  - **Circuit-(sti-?)svitsjing:** dedikert sti gjennom nettverket: tele-nettverk.
  - **Pakke-svitsjing:** data sendes gjennom nettet i diskrete enheter.

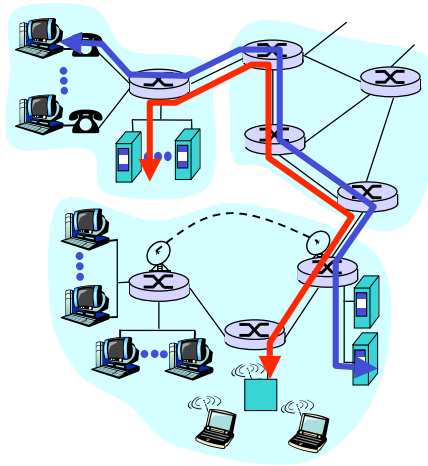


Introduksjon 14

## Nettverkskjernen: Circuit Switching

Ende-til-ende  
ressurser  
reservert for  
"samtale"

- Link båndbredde, ruterkapasitet
- Dedikerte ressurser (ingen deling).
- Garantert ytelse
- Setup-fase er påkrevet

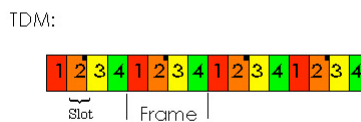
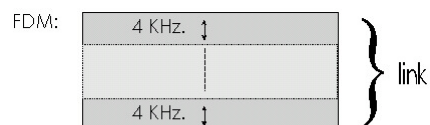


Introduksjon 15

## Nettverkskjernen: Circuit Switching

Nettverksressurser (f.eks. Båndbredde) **kan deles opp i deler**

- Deler allokeres til samtaler
- En ressurs er ubrukt dersom den samtalen som eier den ikke bruker den.
- Oppdeling av link-båndbredde i deler
  - frekvensoppdeling
  - tidsoppdeling



Alle slots merket **2** er dedikert til et gitt par av sender og mottaker

Introduksjon 16



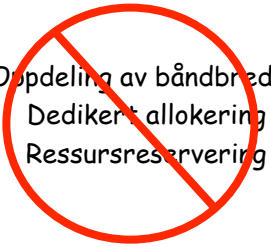
## Nettverkskjernen: Pakkesvitsjing

Hver ende-til-ende datastrøm deles opp i pakker

- Datastrømmer *deler* nettressurser
- Hver pakke bruker hele båndbredden til en link
- Ressurser brukes etter behov

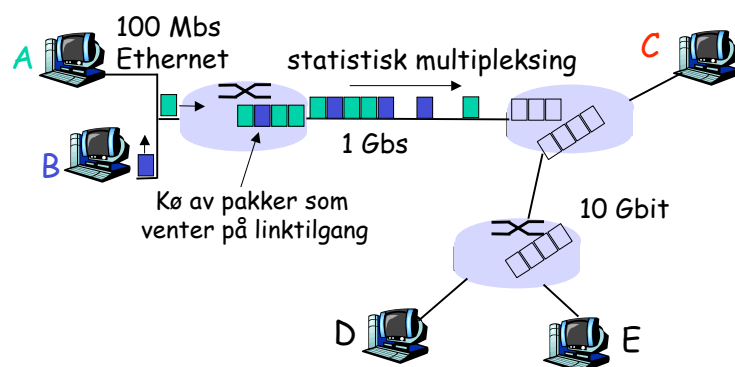
Konkurransen om ressurser:

- Samlet ressursbehov kan overstige det som er tilgjengelig
- metning: pakker køes opp foran "trange" linker
- store and forward: pakker beveger seg en link av gangen
  - Sending over linken
  - Vent på tur ved neste link

  
Oppdeling av båndbredde  
Dedikert allokering  
Ressursreservering

Introduksjon 17

## Nettverkskjernen: Pakkesvitsjing

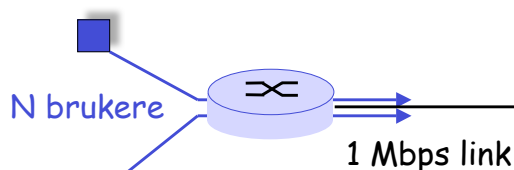


Introduksjon 18

## Pakke-svitsjing versus circuit-svitsjing

Pakke-svitsjing tillater flere brukere på nettet!

- 1 Mbit link
- Hver bruker:
  - 100Kbps når "aktiv"
  - aktiv 10% av tiden
- circuit-svitsjing:
  - 10 brukere
- Pakke-svitsjing:
  - Med 35 brukere, sannsynlighet > 10 aktive mindre enn 0.004



Introduksjon 19

## Pakke-svitsjing versus circuit-svitsjing

Er pakkesvitsjing opplagt og alltid det beste?

- Bra for data med "bursty" oppførsel
    - ressursdeling
    - Ikke nødvendig med "setup fase"
  - Ved et mettet nettverk: forsinkelse og pakketap
    - Nødvendig med protokoller for pålitelig trafikk og metningskontroll
  - Hvordan får vi en oppførsel som ligner på den for circuit-svitsjing?
    - Båndbreddegarantier er nødvendige for audio/video applikasjoner
- Dette er fremdeles et uløst problem!

Introduksjon 20

## Pakke-svitsjede nettverk: ruting

- **Mål:** flytte pakker fra ruter til ruter mellom kilde og destinasjon
  - Det finnes flere metoder for å finne stier for pakker.
- **pakkenettverk:**
  - *destinasjonsadressen* bestemmer neste hopp.
  - Stier kan endres mens sesjonen pågår
  - Analogi: spørre etter veien når du kjører.
- **Circuit Switching nettverk:**
  - Hver pakke har en "tag" (virtual circuit ID), som avgjør neste hopp
  - Stien avgjøres når forbindelsen settes opp, og forblir den samme under hele sesjonen.
  - Ruterene må ha indre tilstand med informasjon om hver virtual circuit.

Introduksjon 21

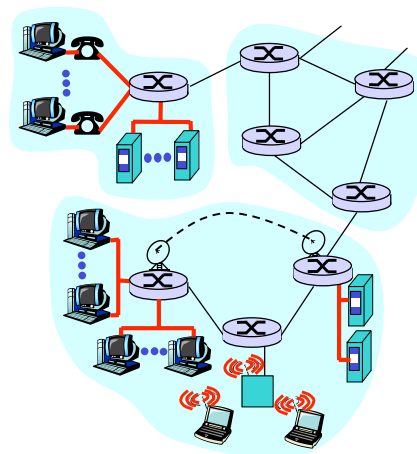
## Aksessnettverk og fysiske media

*Hvordan koble endesystemene til en enderuter?*

- Hjemmenettverk
- institusjonsnettverk (skoler, firmaer)
- Mobile aksessnettverk

*Ha i bakhodet ved teknologivalg:*

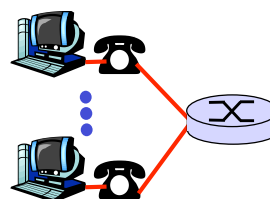
- Båndbredde?
- Delt medium eller dedikert?



Introduksjon 22

## Hjemmenettverk: punkt til punkt

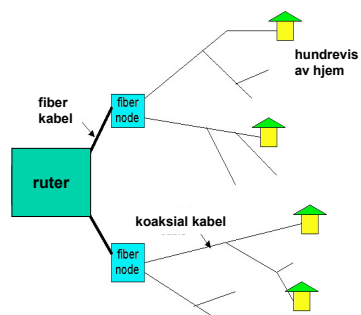
- **Oppringt via modem**
  - Opp til 56Kbps direkte aksess til ruterens (i det minste i teorien)
- **ISDN:** integrated services digital network: 128Kbps ren digital forbindelse til ruterens
- **ADSL:** asymmetric digital subscriber line
  - Opp til 1 Mbps hjem-til-ruter
  - Opp til 8 Mbps ruter-til-hjem
  - ADSL bruk: ???



Introduksjon 23

## Hjemmenettverk: kabelmodem/bredbånd Ett eksempel

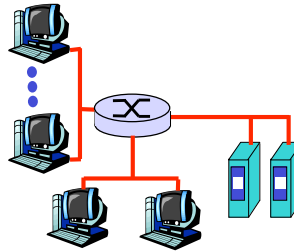
- **HFC: hybrid fiber coax**
  - Asymmetrisk: opp til 10Mbps nedstrøms, 1 Mbps oppstrøms
- **nettverk** av kabel og fiber kobler hjemmene til ISP ruter
  - Delt tilgang til ruter mellom flere hjem
  - problemer: metning, dimensjonering



Introduksjon 24

## Institusjonelle aksessnett (LAN)

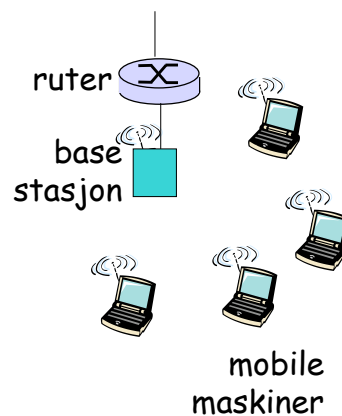
- bedrift/universitet **local area network** (LAN) forbinder endesystemene til resten av nettet
- **Ethernet:**
  - Delt eller dedikert kabel kobler endesystemer og ruter
  - 10 Mbs, 100Mbps, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet.
- Mer om LAN senere



Introduksjon 25

## Trådløse aksessnett

- Delt trådløst aksessnett kobler endesystemene til ruter
- **Trådløse LANs:**
  - radio spektrum erstatter kabel
- **Trådløs aksess over lange avstander**
  - GSM for eksempel...



Introduksjon 26

## Fysisk medium

- **Fysisk link:** en utsendt bit propagerer gjennom linken
- **Lukkede media:**
  - Signaler propagerer i håndfaste media (kobber, fiber)
- **Åpne media:**
  - Signaler propagerer fritt, f. eks. radio.

### Twisted Pair (TP)

- To isolerte kobbertråder
  - Kategori 3: tradisjonelle telefonkabler, 10 Mbps ethernet
  - Kategori 5 TP: 100Mbps ethernet



Introduksjon 27

## Fysisk medium: coax, fiber

### **Coaxial-kabel:**

- wire (signalbærer) inni en wire (skjerm)
  - baseband: enkelt kanal på en kabel
  - broadband: multiple kanaler på en kabel
- bidireksjonal



### **Fiber-optisk kabel:**

- Glassfiber som fører lyspulser
- Høyhastighets-overføring:
  - 100Mbps Ethernet
  - Høyhastighets punkt til punkt transmisjon
  - Lav feilrate

Introduksjon 28

## Fysiske media: radio

- Signal i elektromagnetisk spektrum
- Ingen fysisk "kabel"
- bidireksjonal
- Effekter av propagerings-omgivelsen:
  - Refleksjon
  - Obstruksjon av fremmede objekter
  - interferens

### Typer av radiolinker:

- mikrobølger
- LAN
  - 2Mbps, 11Mbps, 56Mbps
- wide-area
  - GSM, 9,8 Kbps
  - GPRS 56 til 114 Kbps
  - UMTS 384 Kbps til 14Mbps
  - WiMAX opp til 70 Mbps, avhengig av avstand
- satellitt
  - 270 Msec ende-til-ende forsinkelse (gitt av lyshastigheten)

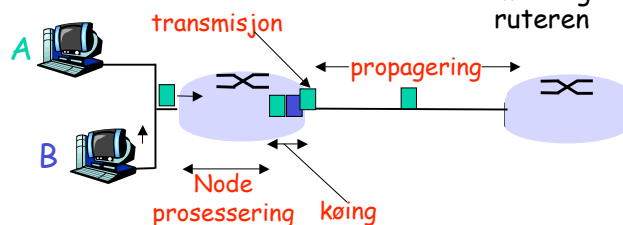
Introduksjon 29

## Forsinkelse i pakkesvitsjede nettverk

Pakker opplever **forsinkelse** på veien fra sender til mottaker

- **fire** kilder til forsinkelse i hvert hopp.

- Node prosessering:
  - Sjekke bit-feil
  - Bestemme output-link
- Køing
  - Venting på tilgang til output-link
  - Avhenger av metningsnivået til ruter



Introduksjon 30

## Forsinkelse i pakke-svitsjede nettverk

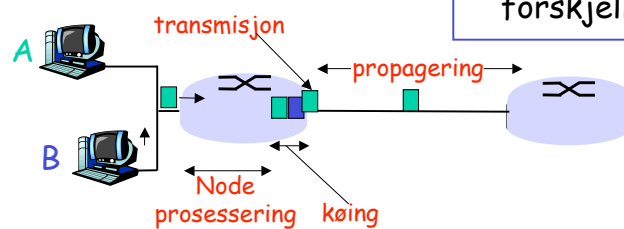
### Transmisjonsforsinkelse:

- R=link båndbredde (bps)
- L=pakkelengde (bits)
- Tidskrav for å sende pakke inn på linken =  $L/R$

### Propageringsforsinkelse:

- d = lengden til fysisk link
- s = propageringshastighet i mediet ( $\sim 2 \times 10^8$  m/sek)
- Propageringsforsinkelse =  $d/s$

**Merk:** s og R er svært forskjellige størrelser!



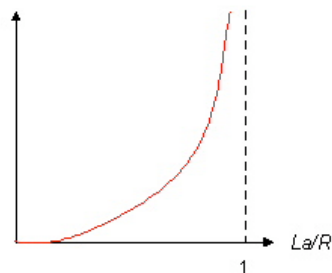
Introduksjon 31

## Mer om køforsinkelse

- R=link båndbredde (bps)
- L=pakkelengde (bits)
- a=gj.snittlig pakke-ankomstrate

trafikkintensitet =  $La/R$

Gjennomsnittlig køforsinkelse



- $La/R \sim 0$ : gj.snittlig køforsinkelse er liten
- $La/R \rightarrow 1$ : køforsinkelsen vokser
- $La/R > 1$ : det kommer mer data som skal inn på linken enn linkens kapasitet  $\rightarrow$  linken går i metning (gj. Snittlig forsinkelse uendelig!)

Introduksjon 32



## Protokoll-lag

### Nettverk er komplekse!

- Mange deler:
  - Endemaskiner
  - Rutere
  - Linker av forskjellig type
  - applikasjoner
  - protokoller
  - hardware, software

### Spørsmål:

Er det mulig å *organisere* strukturen til et nettverk?

Eller i det minste vår diskusjon av nettverk?

Introduksjon 33

## Hvorfor lagdeling?

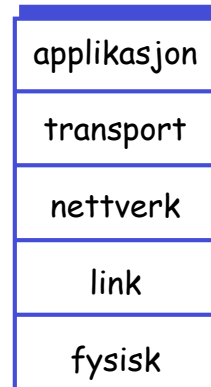
### Håndtering av komplekse systemer:

- Eksplisitt struktur tillater identifikasjon av de enkelte delene, og relasjonen mellom dem.
  - lagdelt **referansemodell**
- Modularisering forenkler design, vedlikehold og oppdatering av et system
  - Endringer i implementasjonen i ett lag behøver ikke påvirke de andre lagene
- ...men er det da noe å lure på?

Introduksjon 34

## Internett - protokollstakken

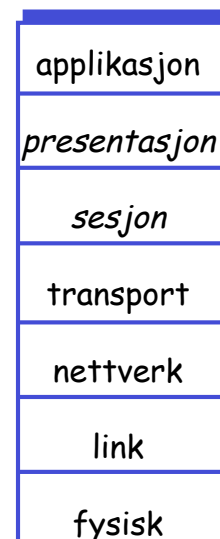
- **applikasjon:** støtter nettverksapplikasjoner
  - ftp, smtp, http
- **transport:** dataoverføring maskin til maskin
  - tcp, udp
- **nettverk:** ruting av datagrammer fra kilde til destinasjon
  - ip, ruting protokoller
- **link:** dataoverføring mellom to "naboer" i Nettverket
  - ppp, ethernet
- **fysisk:** bits "på kabelen"



Introduksjon 35

## OSI -modellen

- En standard for lagdeling av kommunikasjonsprotokoller
- To lag i tillegg til de fem benyttet i internettet
  - **Presentasjonslaget:** oversetter mellom forskjellige formater, slik at systemer som kjører på forskjellige plattformer kan kommunisere
  - **Sesjonslaget:** håndterer oppkobling, kontroll og nedtagning av en kommunikasjons sesjon.

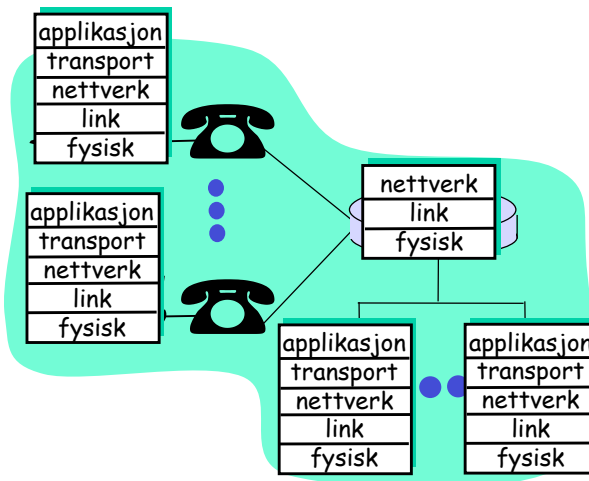


Introduksjon 36

## Lagdeling: logisk kommunikasjon

Hvert lag:

- distribuert
- "enheter" implementerer funksjonalitet til hvert lag i hver node
- Enheter utfører handlinger, og utveksler meldinger med enheter av samme lag

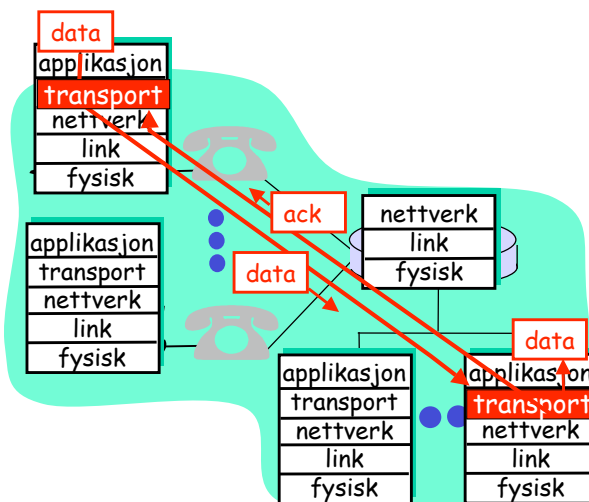


Introduksjon 37

## Lagdeling: logisk kommunikasjon

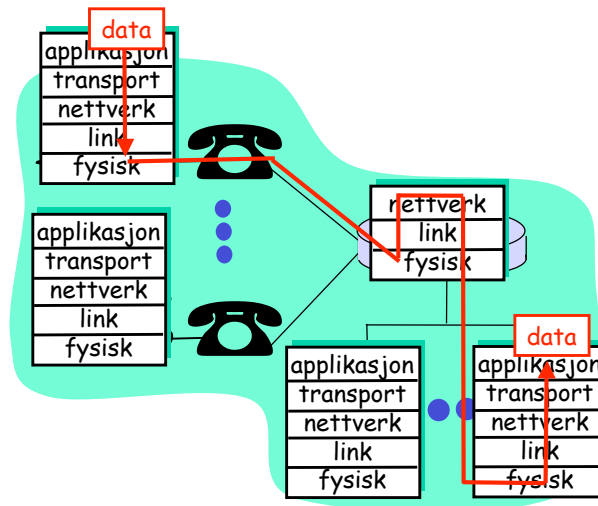
### F. Eks transport

- Mottar data fra applikasjon
- Legger til adresse, pålitelighetssjekk, informasjon for å danne "datagram"
- Sender datagrammet til transportlaget i mottakernoden
- Venter på "ack" fra transportlaget i mottakernoden
- Analogi: postkontor



Introduksjon 38

## Lagdeling: fysisk kommunikasjon

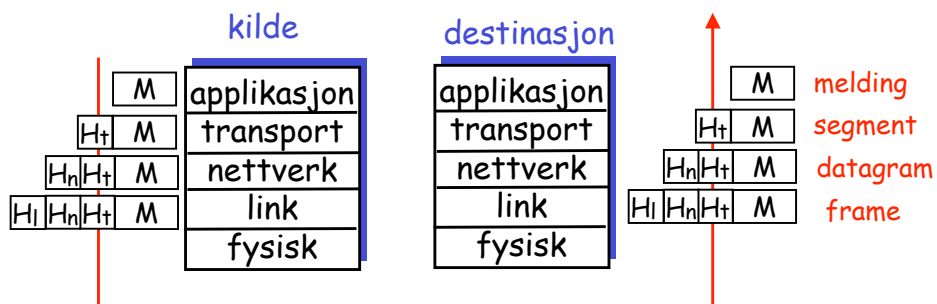


Introduksjon 39

## Protokoll-lag og data

Hvert lag tar data fra laget over

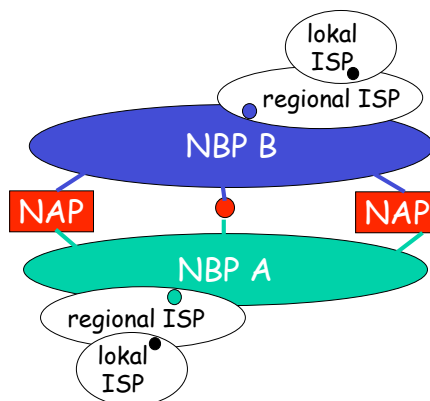
- Legger til header-informasjon for å danne en ny dataenhet (melding, segment, frame, pakke ...)
- Sender denne nye dataenheten til laget under



Introduksjon 40

## Internett struktur: nettverk av nettverk

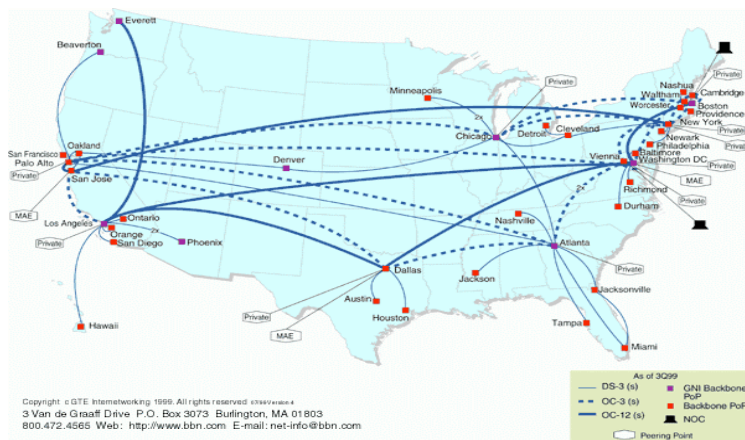
- Mer eller mindre hierarkisk
- Nasjonale/internasjonale "backbone providers" (NBPs)
  - Disse kobles sammen enten privat, eller ved såkalte Network Access Point (NAPs)
- regional ISPer
  - Kobles på NBPs
- lokal ISP, bedrift
  - Kobles på regional ISPs



Introduksjon 41

## Nasjonal Backbone Provider

eksempel BBN/GTE US backbone nettverk



Introduksjon 42

## Internett historien

### *1961-1972: Tidlige Pakke-svitsjede konsepter*

- 1961: Kleinrock - køteori viser at pakkesvitsjing er effektivt
- 1964: Baran - pakkesvitsjing i militære nett.
- 1967: ARPAnet startet Advanced Research Projects Agency
- 1969: første ARPAnet node operasjonell
- 1972:
  - ARPAnet demonstrert offentlig
  - NCP (Network Control Protocol) første maskin-maskin protokoll
  - første e-mail program
  - ARPAnet har 15 noder

Introduksjon 43

## Internett historien

### *1972-1980: Internettverk - nye og proprietære nett*

- 1970: ALOHAnet satellitt nettverk på Hawaii
  - 1973: Metcalfe's doktoravhandling foreslår Ethernet
  - 1974: Cerf and Kahn - arkitektur for å koble sammen flere nettverk
  - Slutten av 70: proprietære arkitekturer: DECnet, SNA, XNA
  - 1979: ARPAnet har 200 noder
- Cerf og Kahn's internettverk-prinsipper:**

  - Minimalisme, autonomi - ingen interne nettverksforandringer nødvendige for å koble nettverk sammen
  - best effort tjenestemodell
  - Tilstandsløse rutere
  - Desentralisert kontroll

**Dette definerer langt på vei dagens internettarkitektur**

Introduksjon 44

## Internett historien

### *1980-1990: nye protokoller - nettet vokser*

- 1983: TCP/IP tas i bruk
- 1982: smtp e-mail protokollen definert
- 1983: DNS definert for oversettelse av navn til IP-adresse
- 1985: ftp protokollen definert
- 1988: TCP metningskontroll
- Nye nasjonale nett: Cset, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100,000 maskiner koblet til nettet.

Introduksjon 45

## Internett historien

### *1990 tallet: kommersialisering, WWW*

- Tidlig på 1990 tallet:  
WWW
  - hypertext [Bush 1945, Nelson 1960's]
  - HTML, http: Berners-Lee
  - 1994: Mosaic, senere Netscape
  - sent 1990-tall: kommersialisering av WWW
- Sent på 1990 tallet:
  - ca. 50 millioner maskiner på Internettet
  - ca. 100 million+ brukere
  - backbone linker kjører på 1 Gbps
- 2000 tallet:
  - Konvergens
  - IP telefoni
  - Streaming media
  - Online spill
  - Eksplosjon i anvendelser

Introduksjon 46

## Oppsummering

### Dekket et stort felt!

- Overblikk over Internettet
- Hva er en protokoll?
- Nettverkskomponenter.
- ytelse: tap, forsinkelse
- Lagdeling og tjenestemodeller
- backbone, NAPer, ISPer
- histore

### Forhåpentligvis har du nå:

- En kontekst og et overblikk over feltet
- Mer dybde og mer detalj kommer senere i kurset