

UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

IN1020 - Introduksjon til datateknologi

Forelesning – 04.09.2025

Din hjemmeruter - Nettverkslagene spiller sammen

Håkon Kvale Stensland



simula

tfj

Plan for ”nettverksdelen” av IN1020

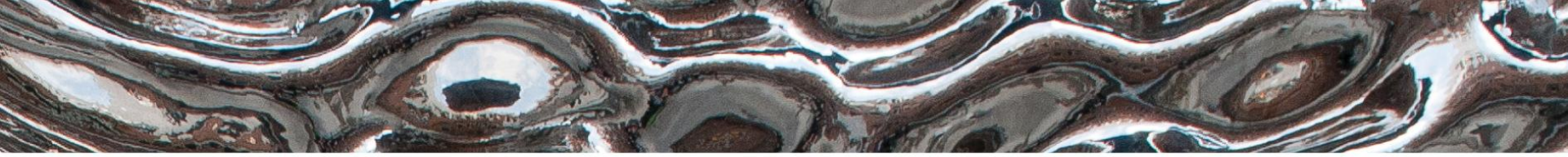
- 28. august – Datanett 101 – Introduksjon
- 3. september – Lagdeling i datakommunikasjon
- **4. september – Hvordan fungerer en hjemmeruter?**
- 10. september – Kryptografi: Nøkkelen til digital samhandling
- 11. september – Tjenester i Internett
- 17. september - Introduksjon til operativsystemer

Join at menti.com | use code 7410 4038

Lagene spiller sammen

- *Repetisjon: Lag 4 – 2 i TCP/IP-modellen fra i går…*
- Dere har lært om lagene, men hvordan virker dette i praksis?
  Utgangspunkt i Ethernet / IP / TCP / Applikasjonslag
- Trafikkpolitiet i Internett (TCP og Congestion Control)

Join at menti.com | use code 7410 4038



UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Lagene i TCP/IP-modellen

Join at menti.com | use code 7410 4038



simula

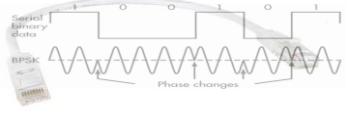
tfj

Repetisjon:

Lagene i Internett (TCP/IP-modellen)

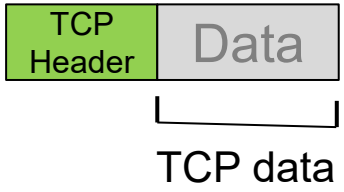




Applikasjonslag	**http://www.uio.no**		Applikasjonslag
Transportlag	**192.168.1.5:80**		Transportlag
Nettverkslag	**192.168.1.5**	Nettverkslag	Nettverkslag
Linklag	**A1:B2:C3:D4:E5:F6**	Linklag	Linklag
Fysiske lag		Fysiske lag	Fysiske lag







Lag 4 - Transportlaget

- **TCP:** Tilkoblingsorientert, Pålitelig, flytkontroll og metningskontroll
- **UDP:** Tilkoblingsløs og «best-effort»

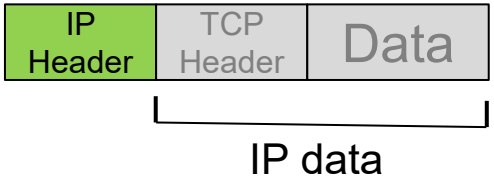
- Bruker «port» som en unik identifikator.
  - Representeres med et 16-bit heltall

TCP Segment Header Format

Bit #	0 – 7	8 – 15	16 – 23	24 – 31
0	Source Port		Destination Port	
32	Sequence Number			
64	Acknowledgment Number			
96	Data Offset	Res	Flags	Window Size
128	Header and Data Checksum		Urgent Pointer	
160…	Options			

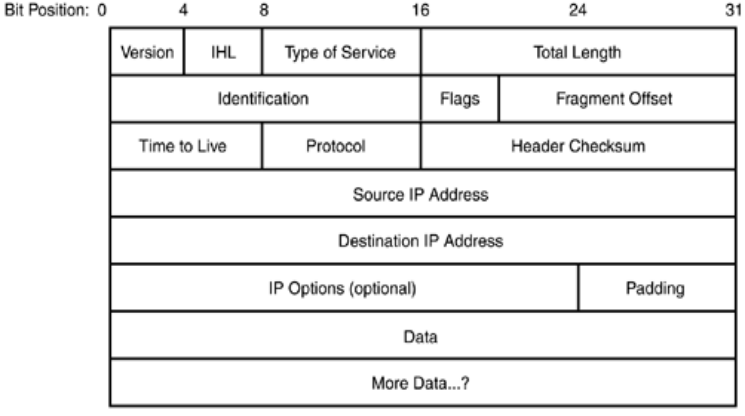
UDP Datagram Header Format

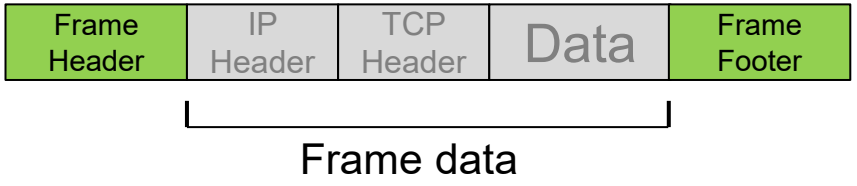
Bit #	0 – 7	8 – 15	16 – 23	24 – 31
0	Source Port		Destination Port	
32	Length		Header and Data Checksum	



Lag 3 - Nettverkslaget

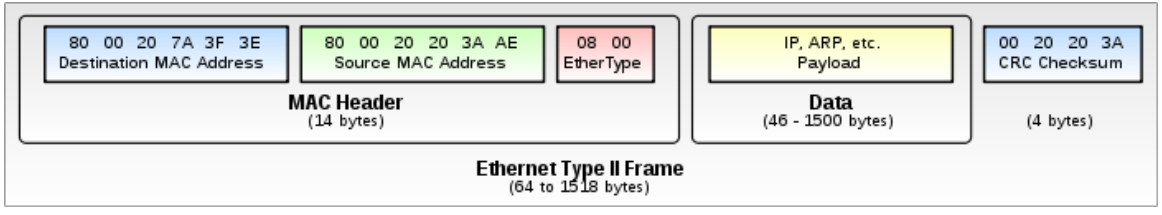
- **Kobler sammen systemene ende-til-ende**
- **Ruting**
  - Statisk, definert under tilkobling eller dynamisk
- **Internet Protocol (IPv4):**
  - Bruker 32-bit adresse, (4.3×10^9).
  - Representeres med fire 8-bit heltall: 192.168.1.101

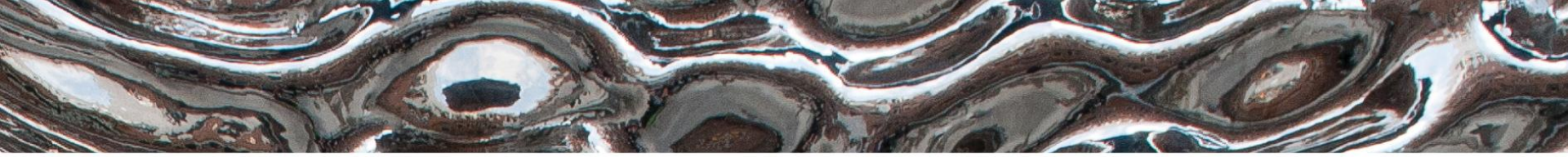




Lag 2 - Linklaget

- **Pålitelig overføring mellom to enheter.**
  - Pakker som overføres i linklaget kalles «frames»
  - Feildeteksjon or retting innenfor en «frame»
- En «switch» vil kun jobbe på lag 2
- Bruker en 6-byte adresse (48-bit) som ofte er lagret i nettverkskortet
  - MAC-adresse, brukes både på WiFi og Ethernet.
  - Hver *byte* representeres med en *heksadesimal* verdi: 07:01:02:01:2C:4B





UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Hva er en IP-adresse?

Join at menti.com | use code 7410 4038



simula

tfj

Hva er en IP-adresse

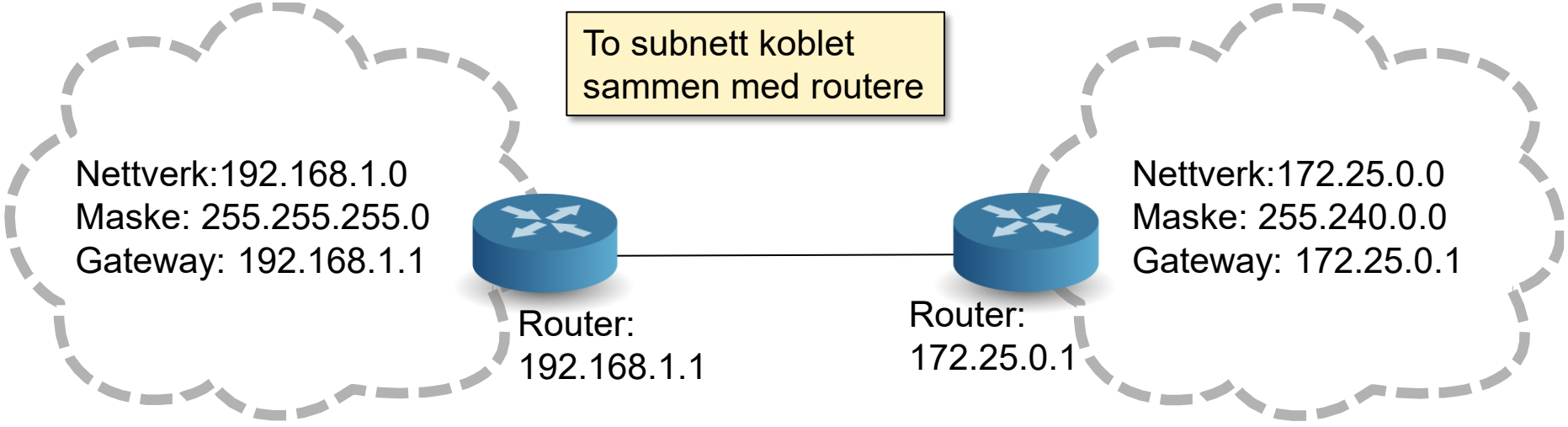
- Hvordan kan man sende til en annen maskin på tvers av mange små nettverk?
- Ved hjelp av adresser som er «unike» på hele Internett
- Postadresse:
  - Kristin Skar, Ole Johan Dahls hus, Gaustadalléen 23B, 0373 Oslo, Norge
- IP-adresse
  - Tilsvarende prinsipp, men skiller bare mellom adresser innenfor og utenfor det lokale nettverket.
  - Er adressen på mitt lokale nett?
    - Ja: Lever pakken rett til mottakeren
    - Nei: Send til router, som får ansvaret for å sende videre på Internett

Lokalnettverk (LAN) og subnett

- Internett er et sammenkobling av mindre, separate nettverk.
- Koblet sammen med switch og/eller HUB (lag 2)
  - Switch: filtrerer og videresender.
  - HUB: Videresender det som kommer inn på alle porter



- For å sende en pakke til en maskin utenfor ditt lokale nettverk må den sendes til en router som vet hvor den skal videresendes.

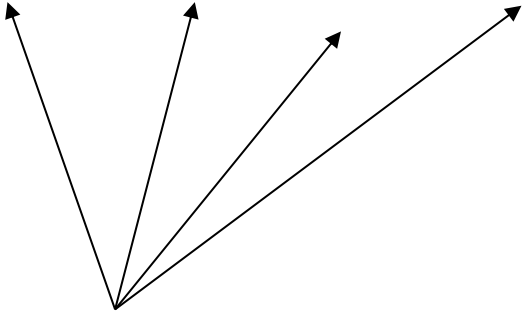


IP-adresser (IPv4)

IP-adresse

192.168.1.5

11000000.10101000.00000001.00000101

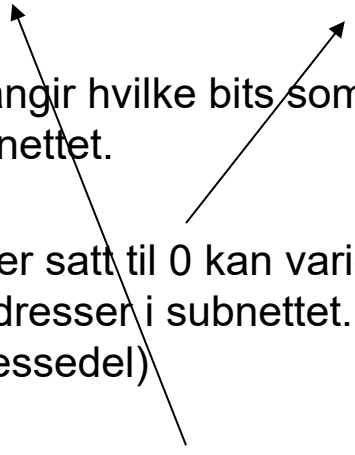


Oktetter:
Består av 8 bits hver. Maks verdi for hver oktett er 255

Nettverksmaske

255.255.0.0

11111111.11111111.00000000.00000000



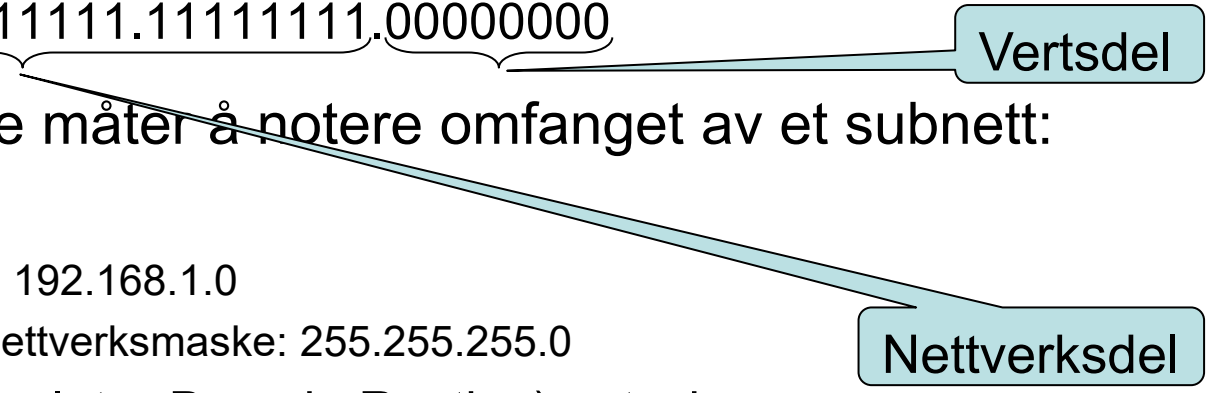
Masken angir hvilke bits som definerer dette subnettet.

Bits som er satt til 0 kan varieres for å angi IP-adresser i subnettet. (vertsadressedel)

Bits som er satt til 1 angir delen av IP-adressen som definerer hvilket nettverk vertene tilhører.

CIDR- og punktnotasjon av subnett

- Nettverksmasken består alltid av en sammenhengende serie "***1***" deretter en sammenhengende serie "***0***"
  - Eks: 255.255.255.0
  - 11111111.11111111.11111111.00000000
- Det er to vanlige måter å notere omfanget av et subnett:
  - Punktnotasjon:
    - For eksempel: 192.168.1.0
    - Må da oppgi nettverksmaske: 255.255.255.0
  - CIDR (Classless Inter-Domain Routing) notasjon:
    - 192.168.1.0/24
    - Vanlig punktnotasjon først.
    - Tallet etter skråstreken angir hvor mange bits nettverksmasken består av



Regne ut subnettet fra en IP + nettverksmaske

En maskin i nettet har IP 192.168.1.5 = `11000000.10101000.00000001.00000101`

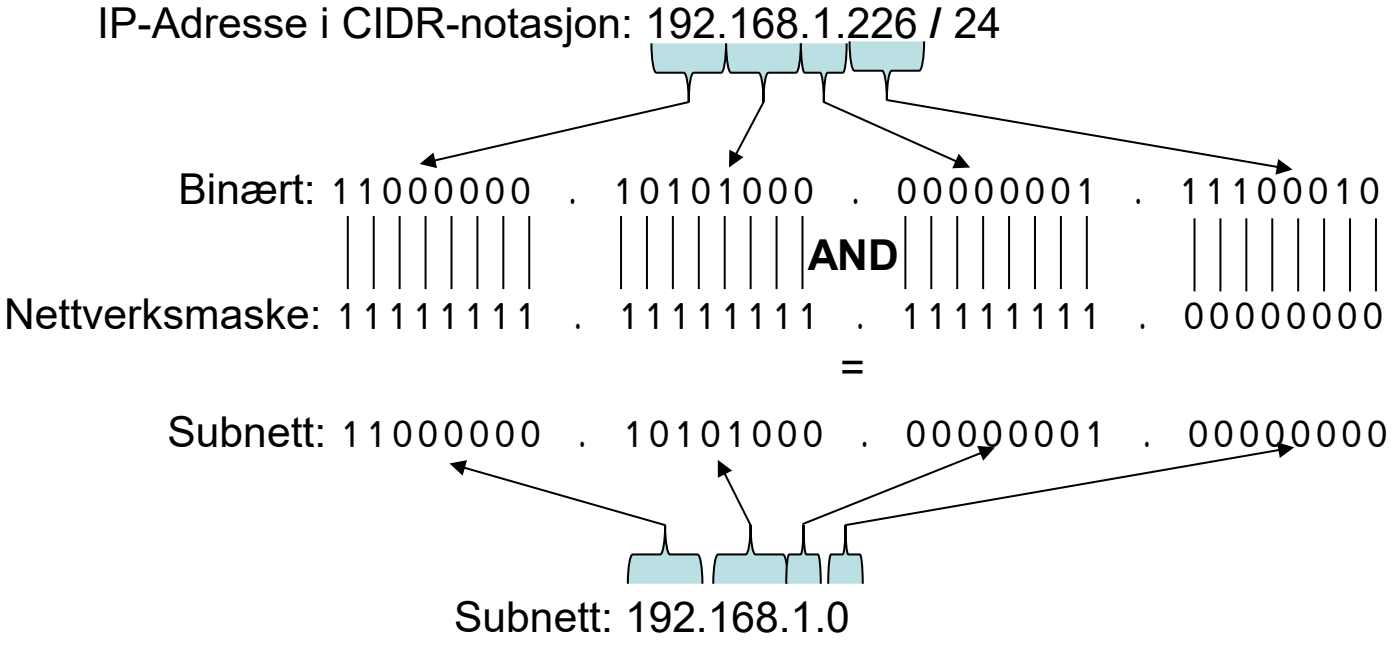
Nettverksmasken er 255.255.255.0 = `11111111.11111111.11111111.00000000`

For å finne subnettadressen til maskinen må du gjøre en bitvis ***AND**-operasjon* mellom IP-adressen og nettverksmasken.

11000000.10101000.00000001.00000000 = **192.168.1.0**

Dette er den første IP-adressen i subnettet og brukes til å identifisere subnettet.

Eksempel: Subnettadresse fra IP / Nettverksmaske



Join at menti.com | use code 7410 4038

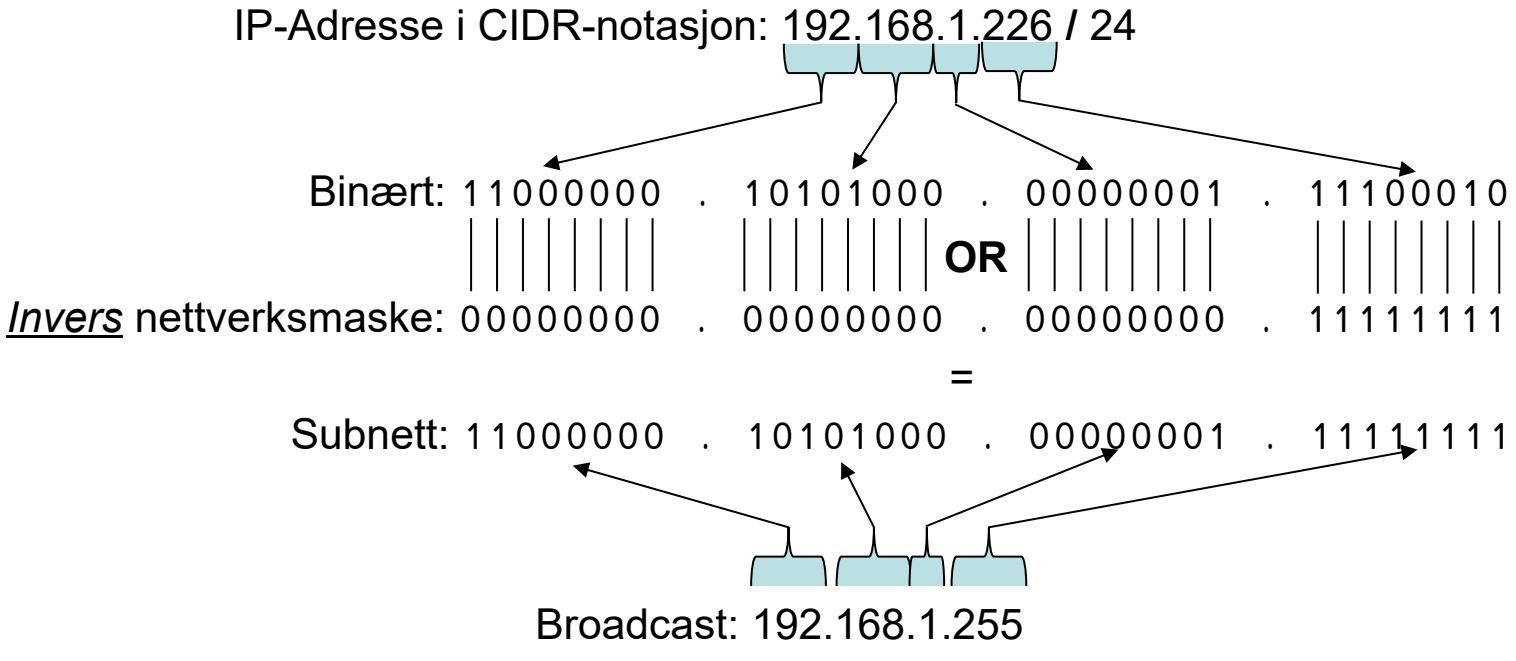
Kringkasting (send til alle)



- En melding som sendes ut på en spesiell adresse.
- Leveres til alle enheter som er koblet på samme LAN (nettverk):
  - Linklaget (MAC): FF:FF:FF:FF:FF:FF
  - IP/Internett: 255.255.255.255

  - For en maskin på et subnett, finner du kringkastingsadressen ved å gjøre en bitvis ***OR**-operasjon* mellom maskinens IP-adresse og bit komplement (*bitvis invers*) av nettverksmasken.
    - Eks: IP-adresse192.168.1.5 nettverksmaske: 255.255.255.0
    - (192.168.1.5) OR (0.0.0.255) = 192.168.1.255

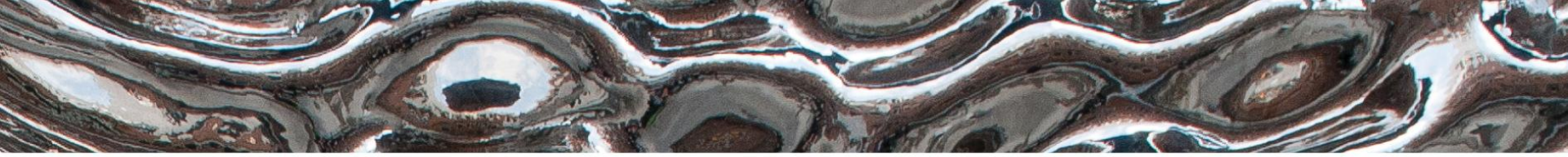
Eksempel: Kringkastingsadresse fra IP / Nettverksmaske



Join at menti.com | use code 7410 4038

Anatomien til et LAN – et typisk oppsett

- LAN ID (CIDR): 192.168.0.0/24
- Kringkastingsadresse: 192.168.0.255
- Tilgjengelige adresser: 192.168.0.1-192.168-0.254
  - 254 adresser
  - ... men 1 av disse settes typisk av til router om du skal koble LAN til Internett
    - f.eks. 192.168.0.1
  - Router fungerer ofte også som DHCP-tjener og DNS-cache i hjemmenettverk



UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

DHCP – Utdeling av IP-adresser

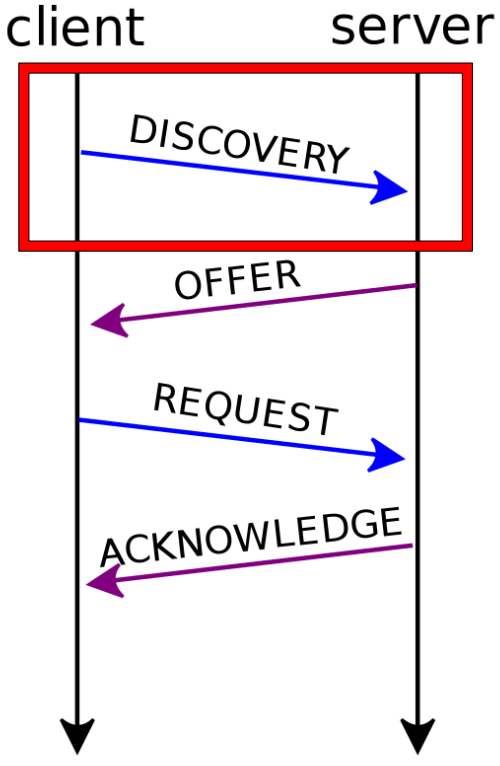
Join at menti.com | use code 7410 4038



simula



DHCP - Automatisk utdeling av IP-adresser





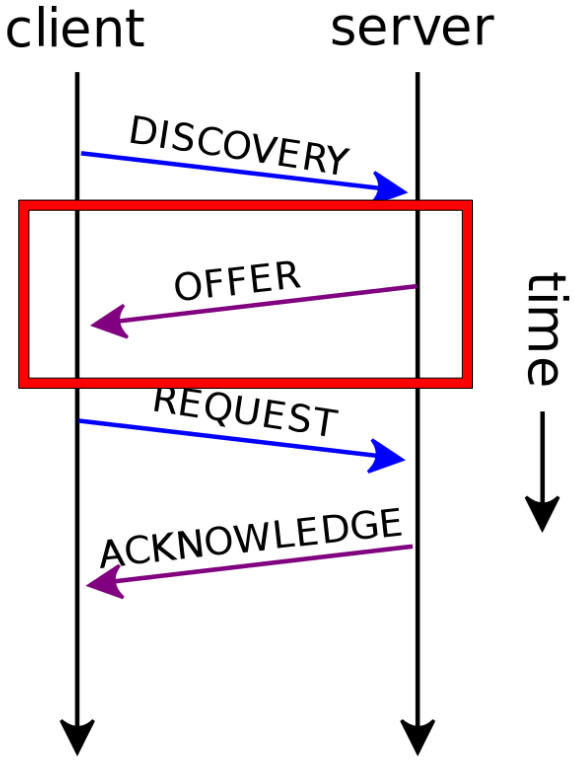
Subnett: 192.168.1.0/24

Ny maskin: Til alle (192.168.1.255): finnes det en maskin med myndighet til å dele ut IP-adresser på dette subnettet?



Hjemmeruter som kjører en DHCP-tjener

DHCP - Automatisk utdeling av IP-adresser





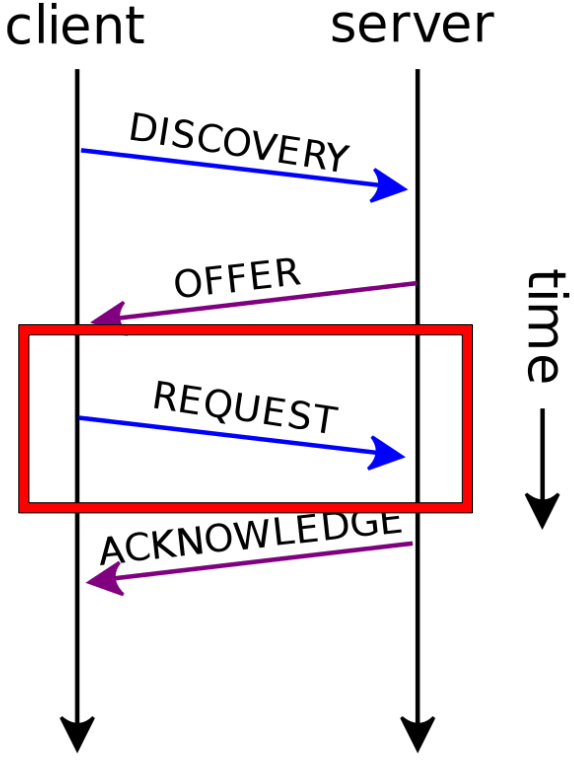
Subnett: 192.168.1.0/24

DHCP-tjener: Til alle (192.168.1.255): 192.168.1.5 er tilgjengelig. Her har du også en liste over andre viktige adresser som gateway og DNS-tjener.



Hjemmeruter som kjører en DHCP-tjener

DHCP - Automatisk utdeling av IP-adresser





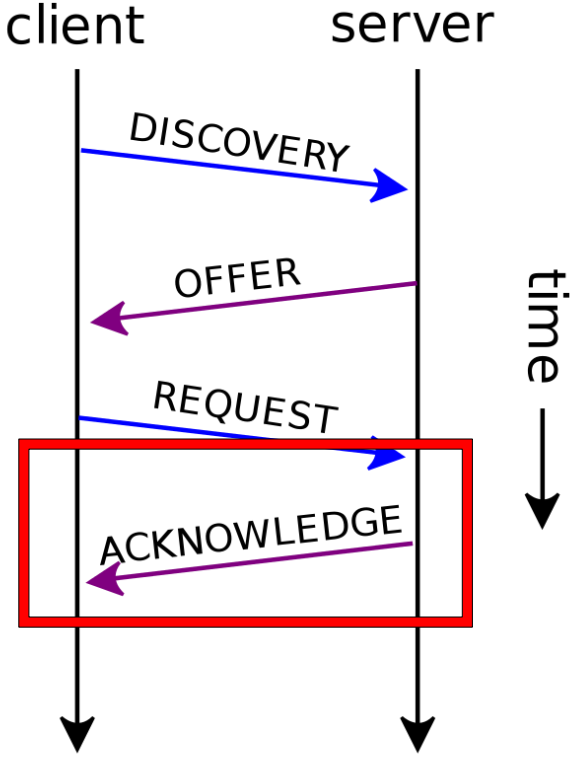
Subnett: 192.168.1.0/24

Ny maskin: Til alle (192.168.1.255): Ja takk!



Hjemmeruter som kjører en DHCP-tjener

DHCP - Automatisk utdeling av IP-adresser



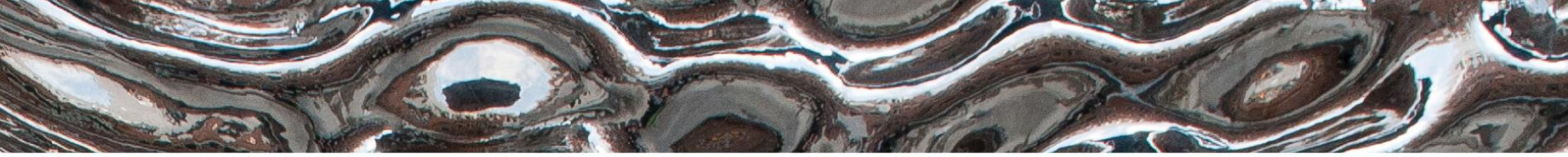


Subnett: 192.168.1.0/24

DHCP-tjener:
Da har jeg skrevet opp at 192.168.1.5 er i bruk av deg for en periode på 24 timer. Ha en fin dag!



Hjemmeruter som kjører en DHCP-tjener



UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

ARP – Koblingen mellom nettverk- og link-laget

Join at menti.com | use code 7410 4038



simula



ARP – Koblingen mellom nettverk og IP

- Nettverkskortene har en 6 byte lang media access control (MAC)-adresse som brukes til å identifisere maskinen innenfor et kringkastingsdomene (broadcast domain).



- For at IP skal fungere, må avsenderen vite hvilken MAC-adresse pakken skal sendes til.

- Address Resolution Protocol (ARP) kobler IP (Internett) og MAC (Linklaget).

ARP-protokollen

Maskin 1 ønsker å kontakte 192.168.1.100

ARP-forespørsel
Avsender: 11:22:33:44:55:66
Mottager: FF:FF:FF:FF:FF:FF
(kringkasting)
”Hvem har 192.168.1.100?”



Router
IP: 192.168.1.1
MAC: F1:1B:14:12:A1:9F



Maskin 1
IP: 192.168.1.150
MAC: 11:22:33:44:55:66





Laptop 2
IP: 192.168.1.100
MAC: AA:BB:CC:DD:EE:FF



Laptop 1
IP: 192.168.1.200
MAC: A1:B2:C3:D4:E5:F6

ARP-protokollen

IP/Internett

iklaget

Maskin 1 ønsker å kontakte 192.168.1.100



Router
IP: 192.168.1.1
MAC: F1:1B:14:12:A1:9F



Maskin 1
IP: 192.168.1.150
MAC: 11:22:33:44:55:66





Laptop 2
IP: 192.168.1.100
MAC: AA:BB:CC:DD:EE:FF



Laptop 1
IP: 192.168.1.200
MAC: A1:B2:C3:D4:E5:F6

ARP-protokollen

Maskin 1 ønsker å kontakte 192.168.1.100



Router
IP: 192.168.1.1
MAC: F1:1B:14:12:A1:9F



Maskin 1
IP: 192.168.1.150
MAC: 11:22:33:44:55:66





Laptop 2
IP: 192.168.1.100
MAC: AA:BB:CC:DD:EE:FF

ARP-svar
”Det er meg! Min MAC-adresse er AA:BB:CC:DD:EE:FF



Laptop 1
IP: 192.168.1.200
MAC: A1:B2:C3:D4:E5:F6

ARP-protokollen

IP/Internett

iklaget

Maskin 1 ønsker å kontakte 192.168.1.100



Router
IP: 192.168.1.1
MAC: F1:1B:14:12:A1:9F





Maskin 1
IP: 192.168.1.150
MAC: 11:22:33:44:55:66



Laptop 2
IP: 192.168.1.100
MAC: AA:BB:CC:DD:EE:FF



Laptop 1
IP: 192.168.1.200
MAC: A1:B2:C3:D4:E5:F6

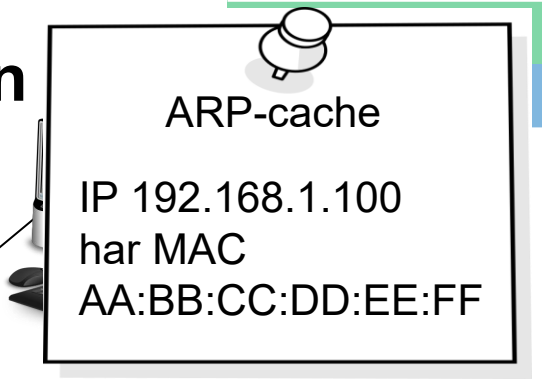
ARP-protokollen

Maskin 1 ønsker å kontakte 192.168.1.100



Router
IP: 192.168.1.1
MAC: F1:1B:14:12:A1:9F





Maskin 1
IP: 192.168.1.150
MAC: 11:22:33:44:55:66



Laptop 2
IP: 192.168.1.100
MAC: AA:BB:CC:DD:EE:FF



Laptop 1
IP: 192.168.1.200
MAC: A1:B2:C3:D4:E5:F6

ARP-tabell på nidur (login.ifi.uio.no)

haakonks@nidur:~

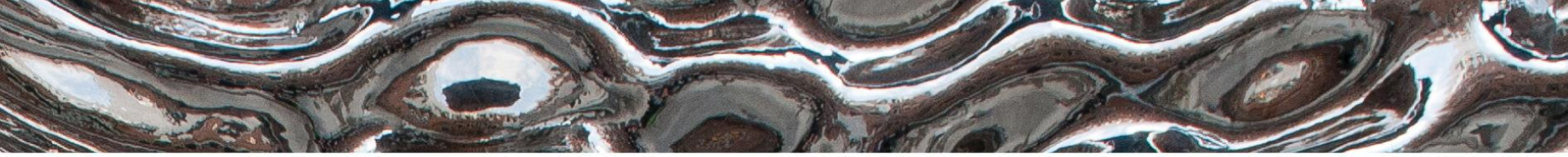
```
[haakonks@nidur ~]$ arp -ne
Address                  HWtype  HWaddress           Flags Mask            Iface
129.240.65.2             ether   d0:94:66:47:c7:47   C                     ens192
129.240.65.87            ether   78:2b:cb:4c:6e:cd   C                     ens192
129.240.65.38            ether   00:50:56:a9:88:ec   C                     ens192
129.240.65.12            ether   00:50:56:80:0a:83   C                     ens192
129.240.65.65            ether   00:50:56:a9:ec:3c   C                     ens192
129.240.65.62            ether   00:50:56:80:35:4b   C                     ens192
129.240.65.59            ether   00:50:56:80:f2:fe   C                     ens192
129.240.65.20            ether   00:50:56:a9:51:98   C                     ens192
129.240.65.1             ether   00:00:0c:9f:f0:03   C                     ens192
129.240.65.254           ether   00:de:fb:f0:61:c7   C                     ens192
129.240.65.25            ether   00:25:64:ff:06:a8   C                     ens192
129.240.65.61            ether   00:50:56:80:68:b4   C                     ens192
129.240.65.83            ether   b8:ac:6f:d2:68:38   C                     ens192
129.240.65.44            ether   00:50:56:80:50:2b   C                     ens192
129.240.65.253           ether   00:de:fb:20:38:5f   C                     ens192
129.240.65.63                    (incomplete)                              ens192
129.240.65.102                   (incomplete)                              ens192
129.240.65.60            ether   00:50:56:80:75:22   C                     ens192
129.240.65.41            ether   bc:30:5b:3a:cb:40   C                     ens192
[haakonks@nidur ~]$
```

For store kringkastingsdomener

- Om kringkastingsdomenet inneholder for mange enheter, kan det by på problemer:
  - ARP går til alle maskiner i kringkastingsdomenet. Om domenet er for stort kan dette stjele kapasitet som burde ha vært brukt til å overføre data.
  - DHCP-forespørsler går også til alle -> samme problem.
- Avanserte switcher kan filtrere ARP og DHCP for å beskytte mot overbelastning fra kringkastet trafikk.



- ARP kan også brukes til å finne duplikat IP-adresser:
  - ”Hvem har IP 0.0.0.0” sendes til MAC FF:FF:FF:FF:FF:FF
  - Svar fra alle: IP kommer flere ganger = feil



UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Porter & NAT

Join at menti.com | use code 7410 4038



simula

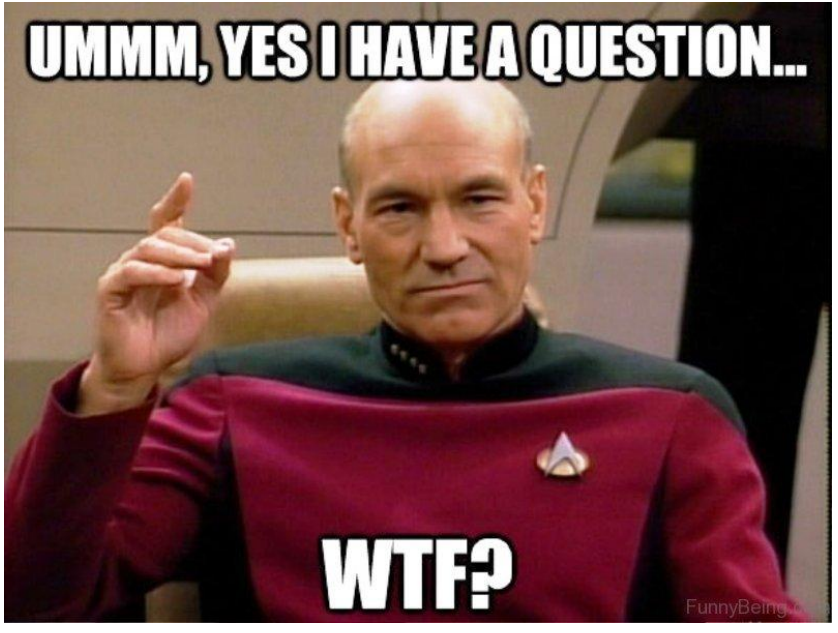


Antall IP-adresser

Maks antall mulige IP-adresser på 32 bit er 2^{32}, eller 4.294.967.296

…men anslag sier at det er over 34.000.000.000 enheter tilkoblet Internett i dag[1]...





NAT – Network Address Translation

1) Kilde: https://doi.org/10.1155/2021/4922697

Én IP-adresse – mange porter



Men du ønsker å kjøre mange tjenester på samme maskin.
Hvordan skiller man tjenestene fra hverandre?

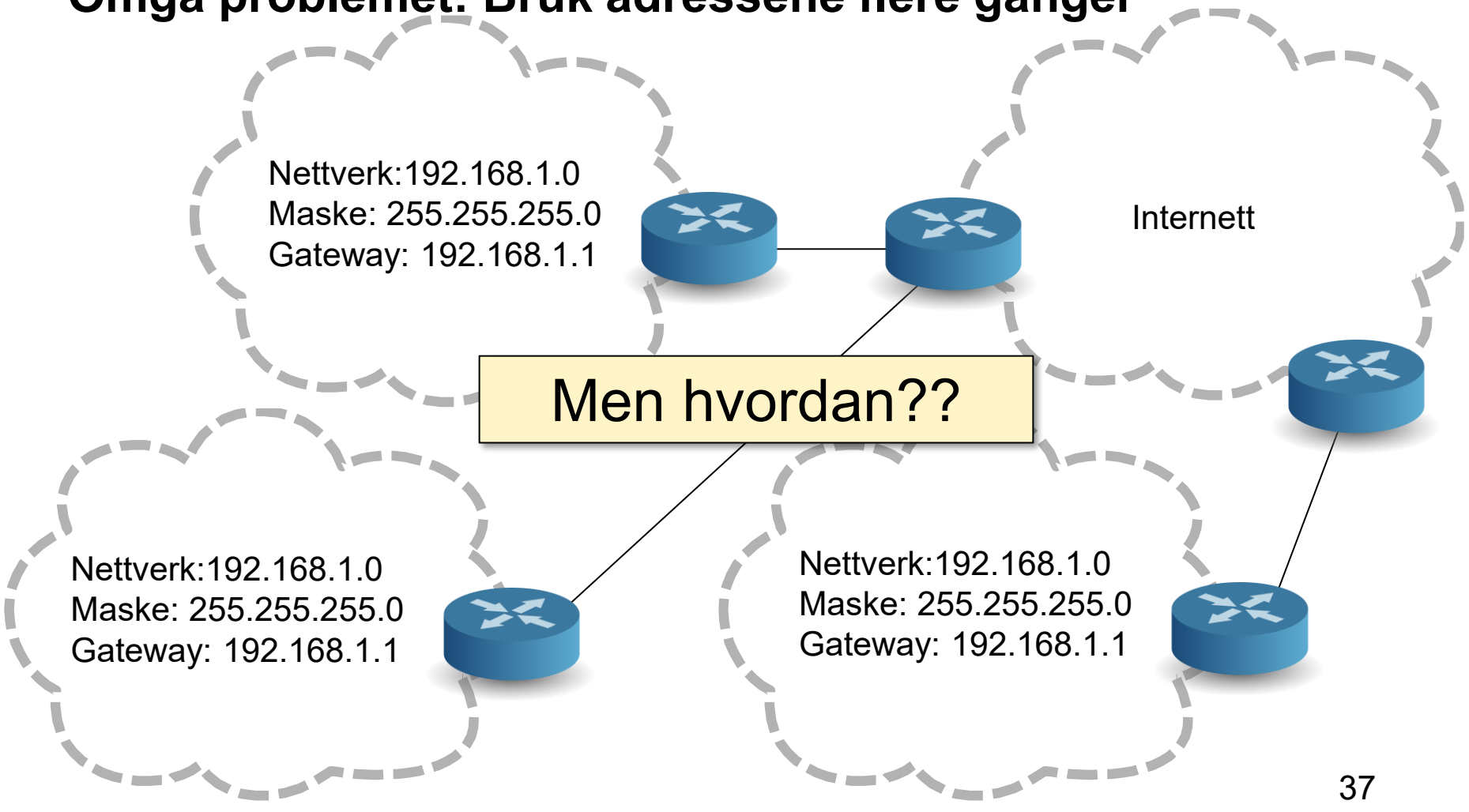
IP: 192.168.1.5

Port	Tjeneste
0	Reservert
1	tcpmux
…	
22	SSH
…	
80	HTTP
…	
1024-49151	Brukerporter
49152-65535	Dynamisk / privat

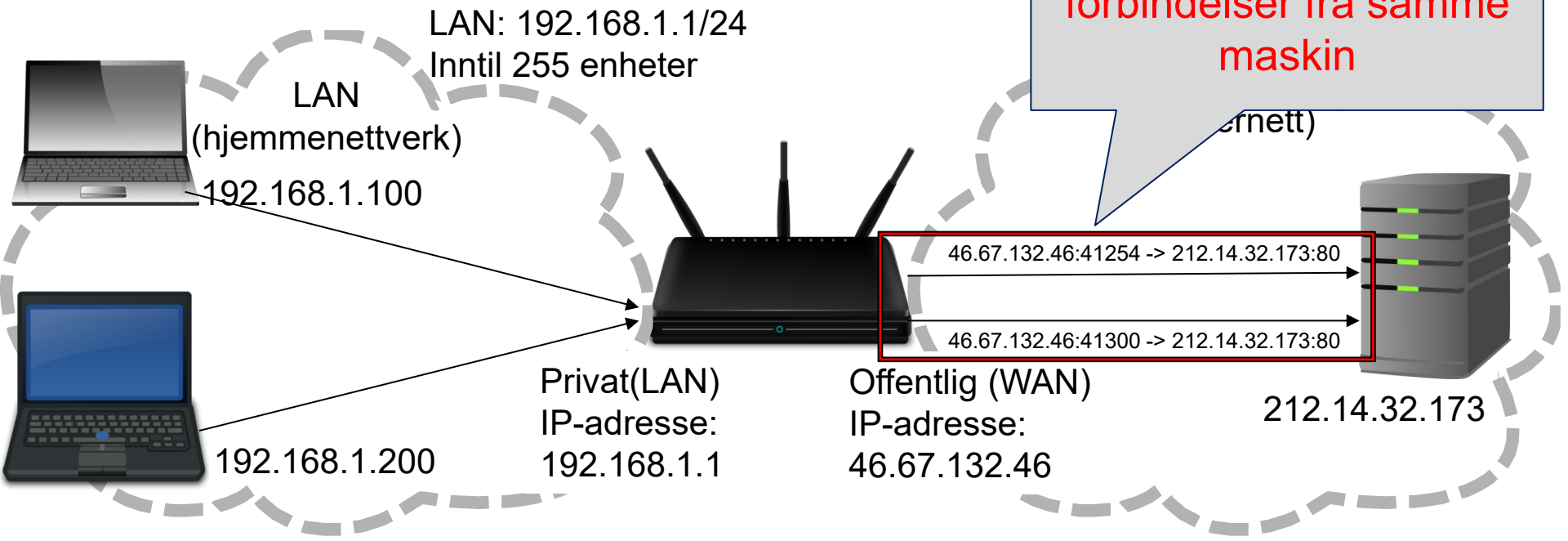
Transportprotokollene (UDP, TCP) implementerer ”porter” som muliggjør totalt 65535 samtidige forbindelser på én IP-adresse

En vanlig måte å notere IP og port på er IP:port (eks.: 192.168.1.5:80)

Omgå problemet: Bruk adressene flere ganger



NAT – Network Address Translation



Kilde IP	Mottaker	Oversatt adresse
192.168.1.100	212.14.32.173:80	46.67.132.46:41254
192.168.1.200	212.14.32.173:80	46.67.132.46:41300

Private IP-adresser

RFC1918 name	IP address range	number of addresses	largest CIDR block (subnet mask)	host id size	mask bits
24-bit block	10.0.0.0 – 10.255.255.255	16,777,216	10.0.0.0/8 (255.0.0.0)	24 bits	8 bits
20-bit block	172.16.0.0 – 172.31.255.255	1,048,576	172.16.0.0/12 (255.240.0.0)	20 bits	12 bits
16-bit block	192.168.0.0 – 192.168.255.255	65,536	192.168.0.0/16 (255.255.0.0)	16 bits	16 bits

- Private IP-adresser er adresser som er reservert for bruk I lukkede nettverk og nettverk med NAT mot Internett
- Disse IPene skal ikke være direkte koblet mot Internett!
- En hjemmeruter er vanligvis satt opp til å gi deg et LAN med et subnett fra en av disse segmentene.

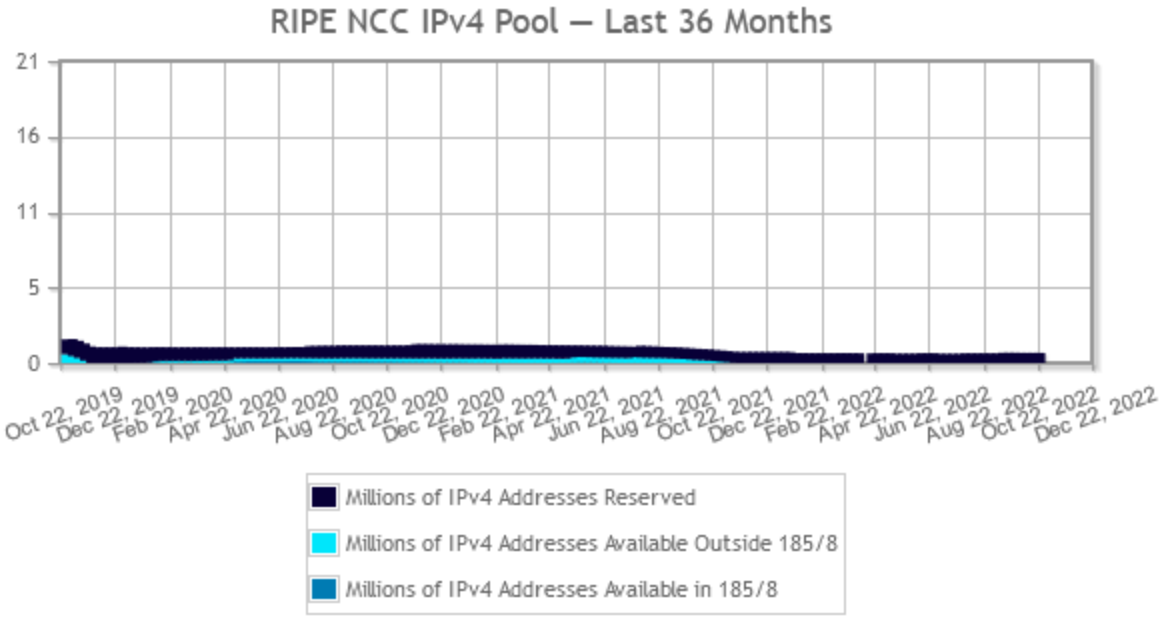
Fra Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Private_network

Ulemper med NAT

- Ekstra kompleksitet i nettverket
- Routeren må bevare tilstanden til forbindelsene
- Nye forbindelser **må** initieres fra innsiden av NAT-nettverket

- Gjør det vanskelig å koble til utenifra
  - Universal Plug and Play (UPnP)
    - Enheter på LAN kan automatisk åpne opp for forbindelser utenifra
  - Videresending av porter
    - f.eks. 46.67.132.46:5000 -> 192.168.1.5:5000
  - demilitarized zone (DMZ): 46.67.132.46:* -> 192.168.1.5:*

IPv4 -> IPv6

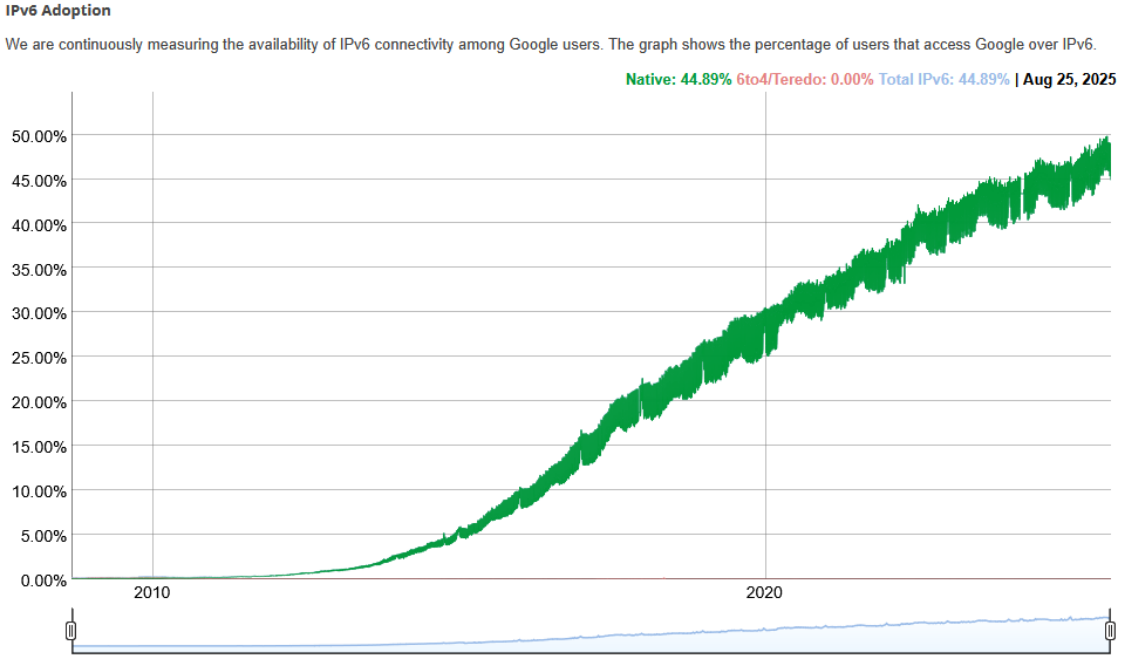


Selv med NAT i bruk på svært mange nettverk, er antall tilgjengelige IPv4-adresser blitt kritisk lavt.

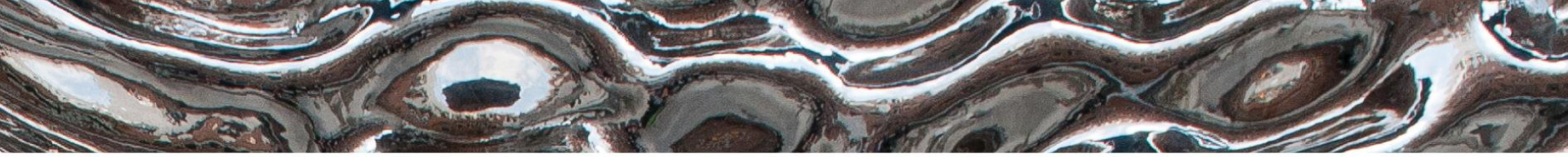
Kilde – ripe.net: https://www.ripe.net/publications/ipv6-info-centre/about-ipv6/ipv4-exhaustion/ipv4-available-pool

IPv6

- Lang prosess med å få i drift siden det må støttes i alle noder fra ende-til-ende
- 128-bits IP-adresse (mot 32-bit i IPv4)
- 2^{128} (eller $3.4 \times 10^{38)}$ mulige adresser



Kilde - google: https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html#tab=ipv6-adoption&tab=ipv6-adoption



UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Ruteren sin oppgave i nettet

Join at menti.com | use code 7410 4038

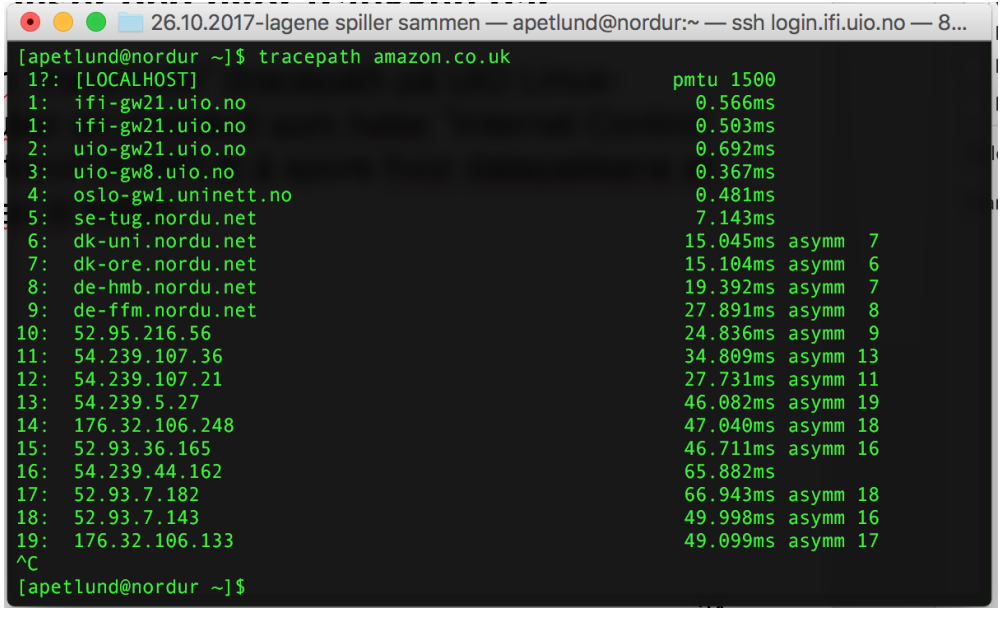
simula

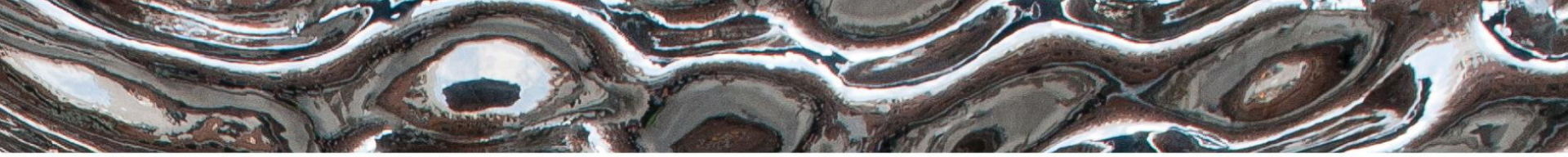
Ruting i Internett (svært kort)

- Målet for ruting: å videresende en datapakke slik at den til slutt når måladressen sin.
- En *Internet Service Provider (ISP)* driver et nettverk og leverer datatransport til andre ISPer og sluttbrukere.
- ISP Peering er når ISPer inngår avtaler om å videresende hverandres trafikk. Økonomiske prinsipper er da med på å bestemme hvor trafikken flyter.
- *Border Gateway Protocol (BGP)* – Rutingprotokoll som brukes mellom ISPer. Store selskaper kan også bruke BGP.
- OSPF – eksempel på rutingalgoritme for mindre nettverk. Bygger et kart over mulige ruter til måladressene. Skalerer ikke for store nettverk.

Traceroute – viser deg hvor trafikken går

- Kommandoen ”traceroute” (tracepath på UiO Linux-maskiner) bruker en protokoll som heter ”Internet Control Message Protocol”(ICMP) til å spore hvor datapakkene er innom på veien til målet.





UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

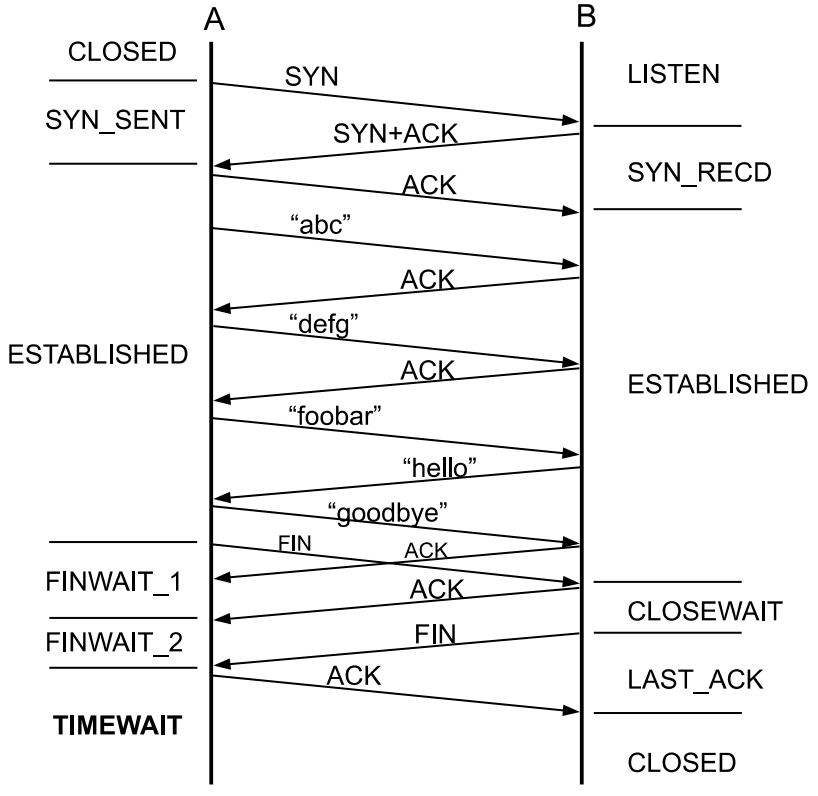
Transportlaget

Join at menti.com | use code 7410 4038

simula

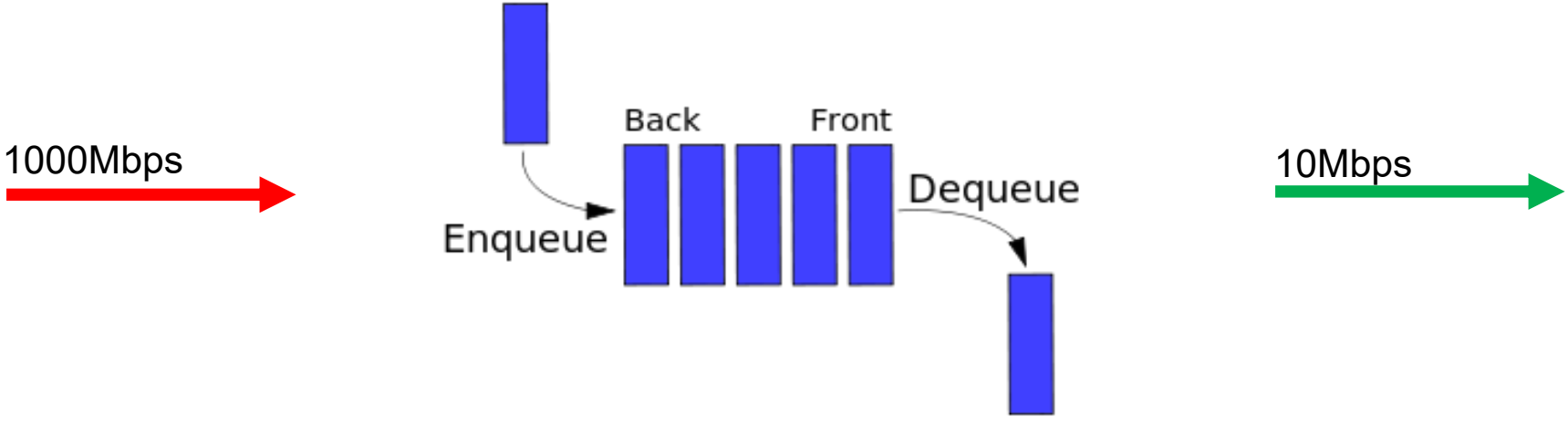
Transmission Control Protocol (TCP)

- Forbindelsesorientert
  - Settes opp ved et 3-veis-håndtrykk
    - SYN-SYN+ACK-ACK (se figur)
- Flytkontroll
  - Ikke sende fortere enn mottageren kan ta imot
- *Metningskontroll*
- Byte-strøm og levering i rekkefølge
- Pålitelighet
  - Implementert ved at bekreftelser på hver pakke sendes tilbake fra mottakeren
- Feilsjekking av nyttelasten (sjekksum)

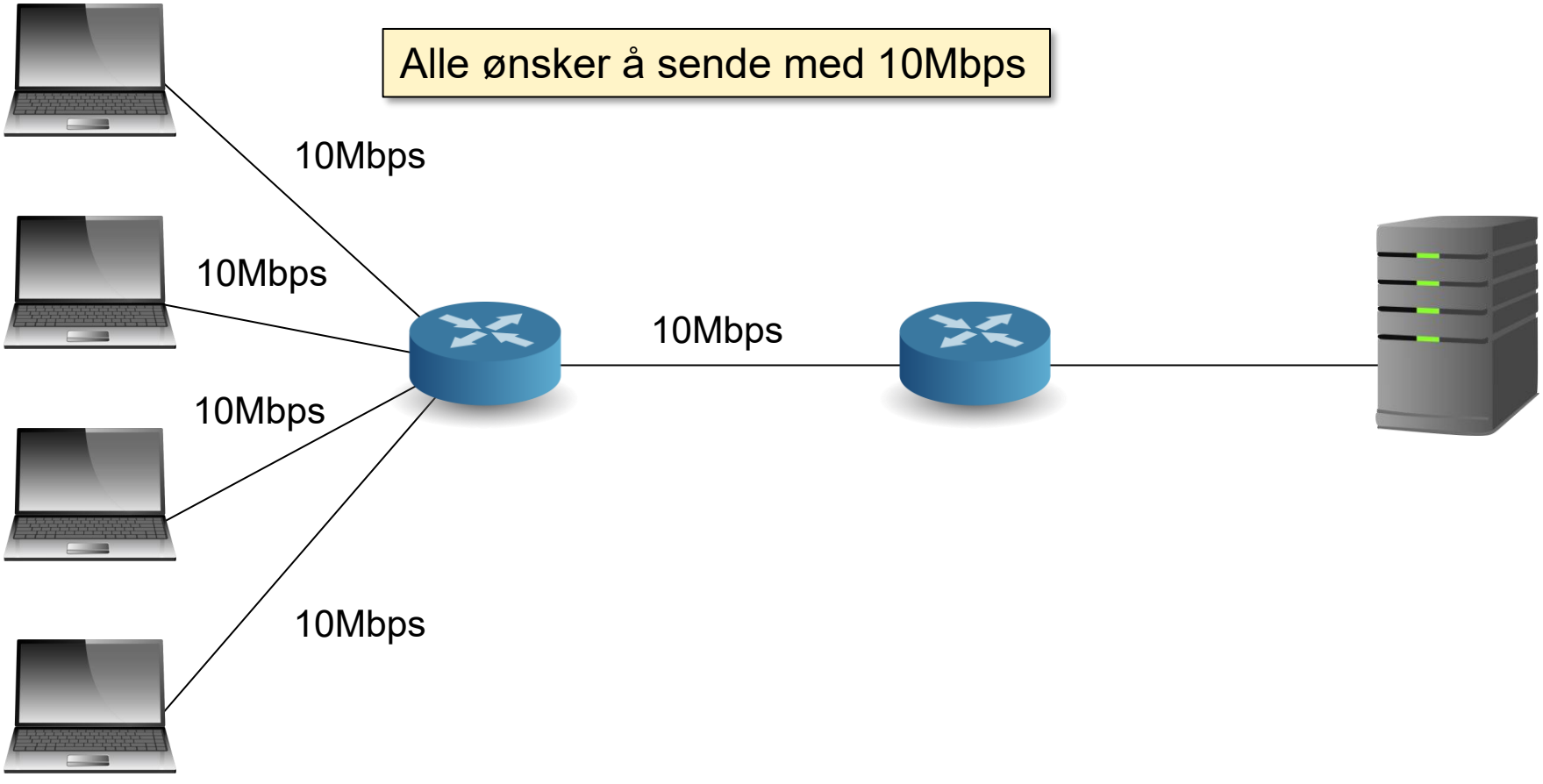


Metningskontroll

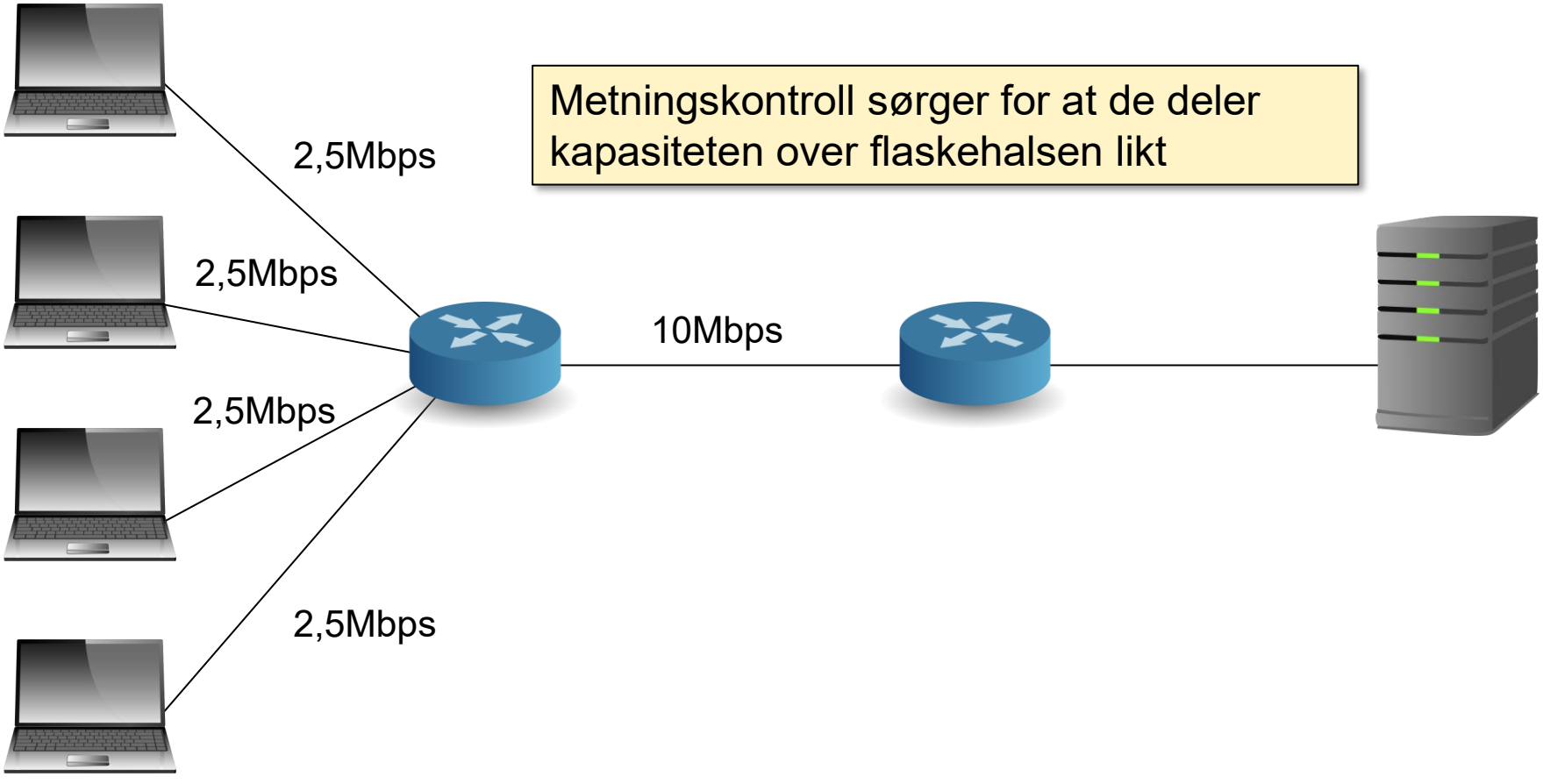
- En ruter er i utgangspunktet bare en FIFO (first-in-first-out) kø.
- Om det blir for mye trafikk over en gitt kø, vil det føre til stopp i trafikken. Dette kalles ”congestion”. Om det er så mye traffikk at det blir full stopp for alle, kalles det “congestion collapse”.
- For å unngå dette bygde man inn mekanismer i TCP for å tilpasse senderaten til nettverksforholdene.



fortsatt metningskontroll…



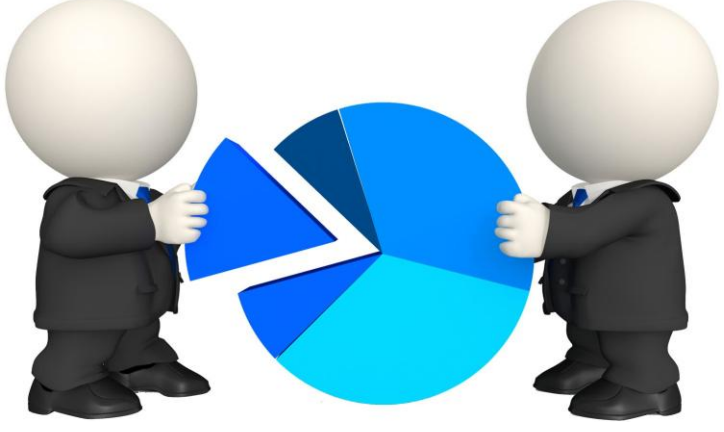
… ennå ikke ferdig med metningskontroll



Metningskontroll sørger for at de deler kapasiteten over flaskehalsen likt

… stadig metningskontroll!

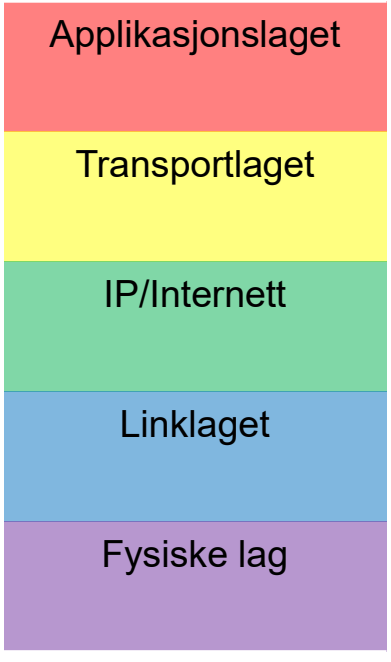
- Ressursene deles teoretisk sett likt mellom **forbindelser**
- For å kapre mer av kapasiteten: åpne flere forbindelser i parallell.
- Ingen god metode for å fordele ressurser i Internett rettferdig pr. maskin eller pr. bruker i dag.



Nyttige nettverksverktøy

Verktøy	
ping	Måler forsinkelsen mellom din maskin og en annen på internett
traceroute	Gir informasjon om hvert hopp en datapakke er innom på vei til målet.
tracepath	Samme som traceroute, men trenger ikke superusertilgang
netstat	Gir informasjon om nettverksforbindelser på din maskin
dig	Gjøre DNS-oppslag og se hva som returneres.
whois	Slå opp hvem som eier/disponerer en IP-adresse
tcpdump / wireshark	Logge pakker som går inn og ut av maskinen, samt utføre analyse

Kryptering / sikkerhet i lagene



Transport Layer Security (TLS) tilbyr kryptering for ende-til-ende applikasjoner – f.eks. nettbank eller butikker. Har tatt over for *Secure Sockets Layer (SSL).*

F.eks. *tcpcrypt* – Utvidelse av TCP. har som mål at alle TCP-forbindelser som settes opp skal være kryptert.

VPN (IPSEC etc.) – kobler to subnett sammen så det fungerer som ett LAN selv om de er fysisk adskilt

WiFi Protected Access (WPA) - Kryptering på trådløse nettverk, krypterer forbindelsen mellom deg og aksesspunkt/ruter.

Kryptering på flere lag gjør det vanskeligere for uvedkomne å lytte til kommunikasjonen.
Adressen (avsender / mottakeren) er vanskelig å kryptere, da routere må vite hvor pakken skal leveres.

Ekstramateriale:

- **Wikipedia (gode artikler på disse temaene):**
  - *Internet Protocol Suite* – med link til de andre komponentene: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite

- **Bøker og artikler:**
  - Tanenbaum, Andrew S. Computer Networks. Prentice Hall PTR
  - James F. Kurose, Keith W. Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach

