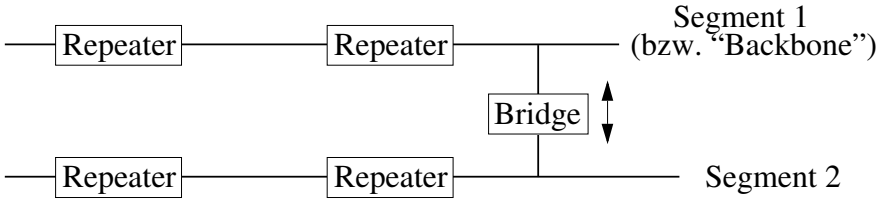
Repeater: Gateway auf Schicht 1

- Aufgabe: Signalverstärkung und -aufbereitung
- Typischerweise verwendet zur Überwindung von Längenrestriktionen (z.B. bei Ethernet)
- Sieht keine Daten, sondern nur Bits
- Ist nicht zur Strukturierung oder Lasttrennung von Netzen einsetzbar
  - bei Ethernet bilden zwei durch Repeater verbundene Teile eine einzige “Kollisionsdomaine”
- Verbundene Teilnetze müssen ab Schicht 2 aufwärts identisch sein
- Spielt keine Rolle, welche Netz-Software auf den darüberliegenden Schichten verwendet wird

Brücke: Gateway auf Schicht 2

- Kopplung von zwei Subnetzen auf Ebene 2

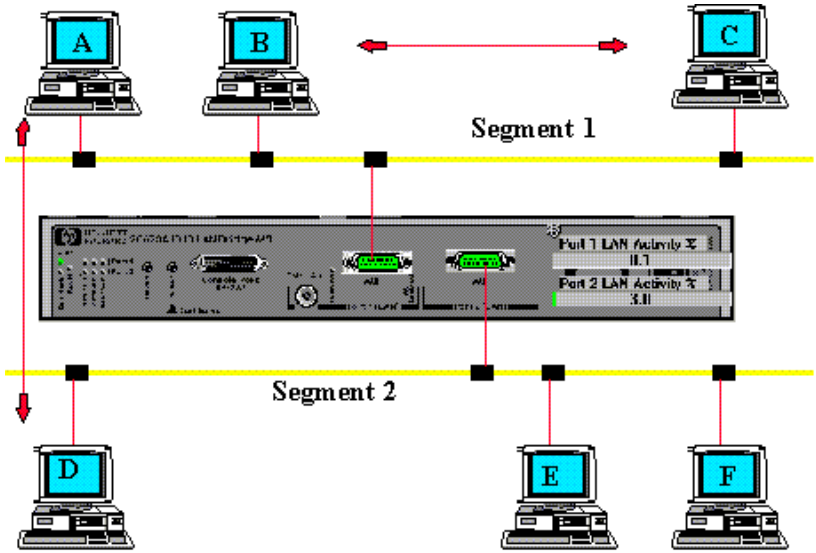


- Checksumme von Paketen wird geprüft
  - im Unterschied zu Repeatern!
  - fehlerhafte Ebene-2-Pakete werden nicht transportiert
- Lasttrennung: Pakete werden nicht transportiert, falls Empfänger auf der gleichen “Seite” wie Sender liegt
  - Broadcastpakete werden immer weitergeleitet
  - *Selbstlernalgorithmus* (“backward learning”):
    - dynamischer Aufbau einer Adresstabelle (typw. Hash-Verfahren)
    - durchleiten, wenn Empfänger (noch) unbekannt
    - Absenderadresse eines Paketes “verrät” Lage des Senders
    - Nachteil: Adressüberprüfung verzögert Datenpakete einige µs oder ms
    - um Topologieänderungen berücksichtigen zu können (z.B.: Station wandert vom einen Subnetz in das andere): Aging-Mechanismus: Eintrag wird nach einigen Minuten “vergessen”

Brücken (2)

- “MAC-level bridge”: verbindet nur Subnetze mit gleichem Medienzugangsprotokoll (typw. Ethernet)

- Einige Brücken können Datenpakete *filtern*
  - String-matching bzgl. bestimmter Adressen, Protokoll-Typen etc.
  - je nach Bedingung Paket durchlassen oder zurückhalten
  - i.a. Bedingungen positiv und negativ definierbar und mit “und” bzw. “oder” kombinierbar
  - Verwendung ggf. zum Zweck der Datensicherheit oder Lastaufteilung
  - Vorsicht: Performance-Verlust bei vielen / aufwendigen Filtern!

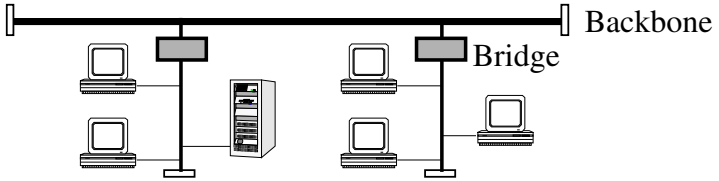


- Mächtige Bridges müssen verwaltet werden
  - z.B. Setzen von Filtermasken (--> Management-Protokoll)

Brücken (3)

- Brücken müssen genügend (= ?) Pufferspeicher haben, insbesondere wenn Subnetze verschieden schnell sind
  - abfangen von Lastspitzen
  - auch bei gleichartigen Netzen (z.B. Ethernet) notwendig, wenn Zielnetz stärker belastet ist
  - bei Pufferüberlauf muss Paket vernichtet werden (auf dieser Ebene existiert kein Protokoll zur Wiederholung von Paketen!)
  - selbst wenn ein Protokoll einer höheren Schicht den Verlust erkennt und behandelt: Sehr ineffizient, da dort i.a. grosse timeout-Werte und i.a. mehrere Pakete dieser Ebene wiederholt werden!

- Typischer Einsatz: Ankoppelung an ein Backbonenetz

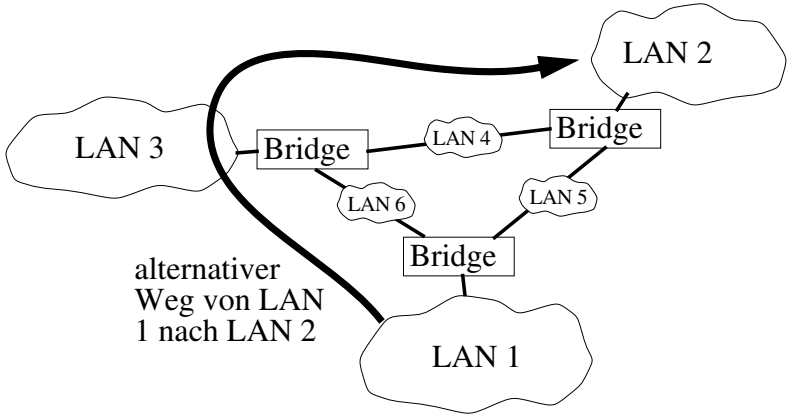


- Leistungsfähigkeit von Brücken
  - transit delay (angegeben ist meist minimaler Wert; tatsächlicher Wert hängt u.a. von den gewählten Filtern, der Stationenzahl etc. ab)
  - frames / s (berechnet i.a. für minimale Paketlängen!)
  - Byte / s (berechnet i.a. für maximale Paketlängen!)

  } sieht jeweils “besser” aus...

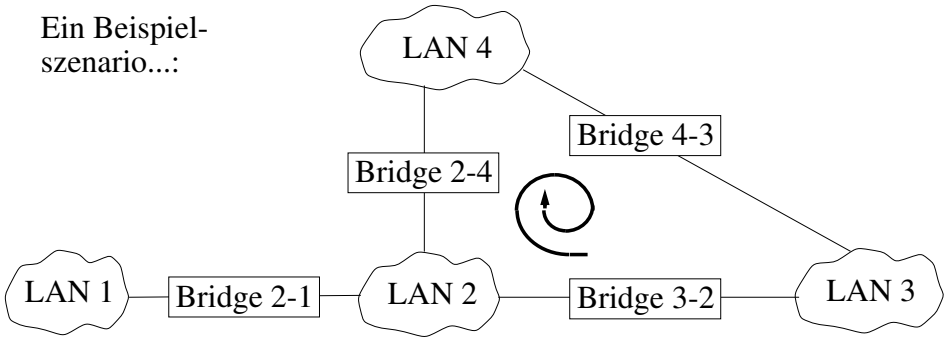
Brücken und Switches

- Switches sind i.w. “Multiport-Bridges”
  - sternförmige bzw. baumförmige Topologien
  - falls Zieladresse unbekannt oder Broadcast-Adresse: Datenpaket an *alle* anderen Ports weiterleiten (“auffächern”)
  - stärkere Vermaschung von LANs (Redundanz, Lastausgleich) möglich:



Das Schleifenproblem bei Brücken

Ein Beispiel-
szenario...:



- Rechner aus LAN 3 sendet an Rechner aus LAN 1:
  - --> Bridge 3-2 leitet Paket an LAN 2 weiter
    (Bridge 3-2 weiss, dass Zielrechner “jenseits” liegt)
  - --> Bridge 2-1 *und* Bridge 2-4 leiten das Paket weiter
    (Bridge 2-4 weiss noch nicht, in welchem LAN der Zielrechner liegt)
  - --> Datenpaket kommt so nach LAN 4
  - --> Bridge 4-3 leitet aus gleichem Grund Datenpaket weiter
  - --> Datenpaket ist wieder in LAN 3
  - --> ...und wird von Bridge 3-2 erneut auf die Reise geschickt...

  (2 Schleifen --> ggf. explosionsartige Vermehrung von Paketen!)

- Lösungen für das Problem?

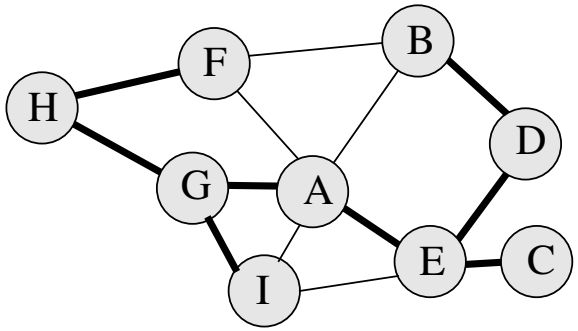
Schleifenproblem: Lösungen?

- Erkennen von Zyklen mit einer eindeutigen “Kontroll-Nachricht”, die eine Bridge aussendet und (nach “einiger” Zeit) wieder empfängt
  - aber kann sich diese nicht selbst in anderen Schleifen vervielfältigen?
- Alterung von Datenpaketen (Hop-Zähler)
  - aber wann ist es “zu alt”?
- Datenpakete haben eine eindeutige Kennung und Bridge merkt sich alle “jemals” erhaltenen
  - aber: Platzbedarf in den Brücken!
- Datenpakete merken sich alle besuchten Bridges
  - aber: Platzbedarf in den Paketen!

- Lösung in der Praxis (IEEE 802.1D): Spannbaum!
  - Aber: Einige Verbindungen bleiben dann ungenutzt, die eigentlich einen Teil der Netzlast abnehmen könnten

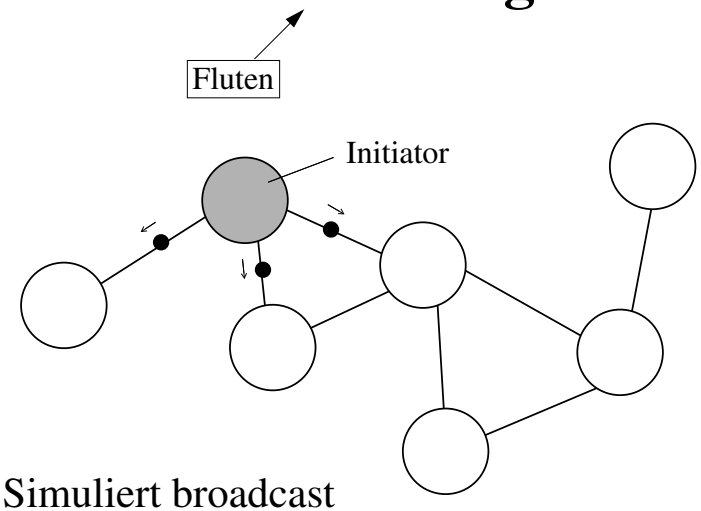
IEEE 802.1D: Spanning Tree Protocol

- Bestimmung eines *Spannbaumes* mit *Wurzel* (dann gibt es zwischen je zwei Knoten einen einzigen Weg!)
  - Berücksichtigung von Leitungskosten
  - Bestimmung der Wurzel durch Prioritäten beeinflussbar
  - Automatische Reinitialisierung bei Fehlern (timeout-gesteuert)



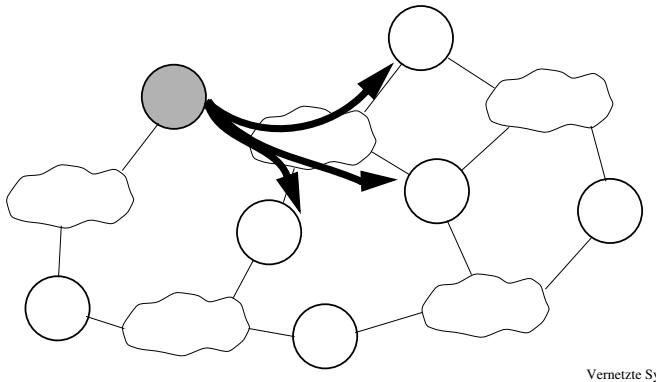
- Die Idee des Verfahrens (“HELLO-Protokoll”) basiert auf einem verteilten *Routing-Algorithmus*
- Wir beschreiben zunächst diesen Routing-Algorithmus, der nach dem Prinzipien des *Flutens* und der verteilten Approximation arbeitet

Das Flooding-Prinzip



- Simuliert broadcast
- Voraussetzung: zusammenhängende Topologie
- Prinzip: jeder erzählt *neues* Gerücht allen anderen Freunden
- Kein Routing etc. notwendig

- Prinzip funktioniert auch noch, wenn die Nachrichten über ein *broadcastfähiges Teilnetz* an mehrere Knoten "gleichzeitig" verteilt werden:



Flooding: Bemerkungen

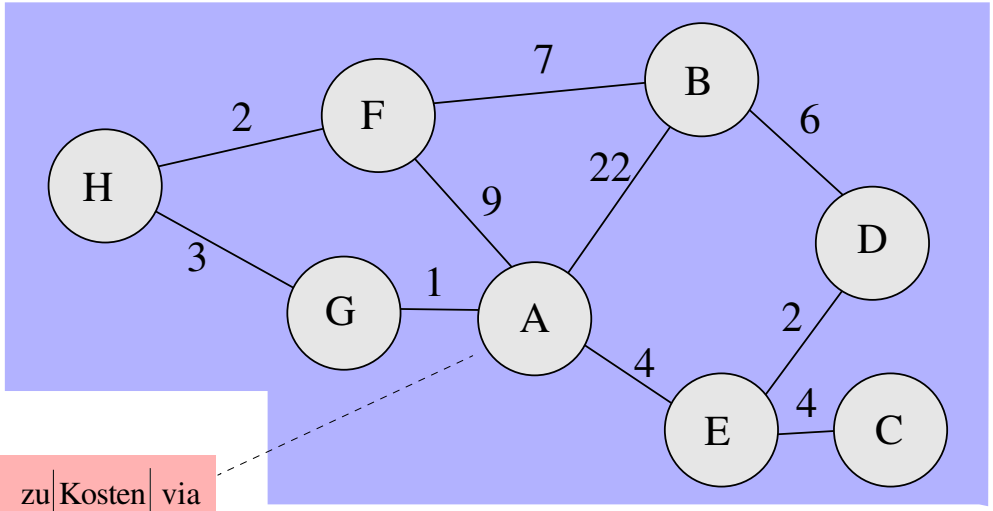
- Begriff "flooding" wird oft auch in einem etwas allgemeineren Sinne für ein naives Routing-Prinzip gebraucht:
  - ein so verbreitetes Datenpaket erreicht "garantiert" den Empfänger, wenn es überhaupt einen Weg dorthin gibt
  - oft: ein empfangenes Datenpaket "öfters" oder "immer wieder" an alle Nachbarn weiterleiten
  - Strategie ist ggf. sinnvoll, wenn hohe Robustheit (Fehlertoleranz) gefordert wird (z.B. militärische Anwendungen)
  - oft auch eine Information so lange wiederholt verbreiten, bis eine neuere Information vorliegt, dann nur noch diese wiederholt verbreiten...
- Typischerweise existiert dann ein Alterungsmechanismus (hop counter, time to live) in den Datenpaketen
  - hop counter mit einem sinnvollen Wert initialisieren (≥ max. Pfadlänge)
  - bei jedem Passieren eines Knotens dekrementieren
  - Datenpaket vernichten, wenn hop counter = 0
- Alternativ: Lebensdauer in Zeiteinheiten
  - gemeinsame Zeitvorstellung notwendig
- Vorteil von flooding: Keine Topologiekenntnis notwendig (kein explizites Routing)
- Nachteil: Sehr aufwendig!

Dezentrale Berechnung von Routingtabellen für kürzeste Wege

Gegeben: Graph mit bewerteten Kanten (ungerichtet)

Kosten: z.B. $, ms, km,... (oder auch "Weglänge")

"Distance Vector Routing"



zu	Kosten	via
A	0	–
B	22	B
C	∞	?
D	∞	?
E	4	E
F	9	F
G	1	G
H	∞	?

Anfangs-tabelle für Knoten A

- Jeder kennt anfangs die Kosten zu seinen Nachbarn
- "Spontanstart": Sende eigene Tabelle an Nachbarn
- Bei Empfang einer Tabelle über Verbindung mit Kosten g:
  Für alle Zeilen i der Tabelle:
  Falls Nachricht.Kosten[i]+g < Knoten.Kosten[i]:
  ersetze Zeile (Kosten := Kosten+g; via := Absender)
- Falls sich Tabelle verändert hat:
  Neue Tabelle an Nachbarn senden (Ausnahme: Sender)
- Wie Terminierung feststellen? (Ist das notwendig?)

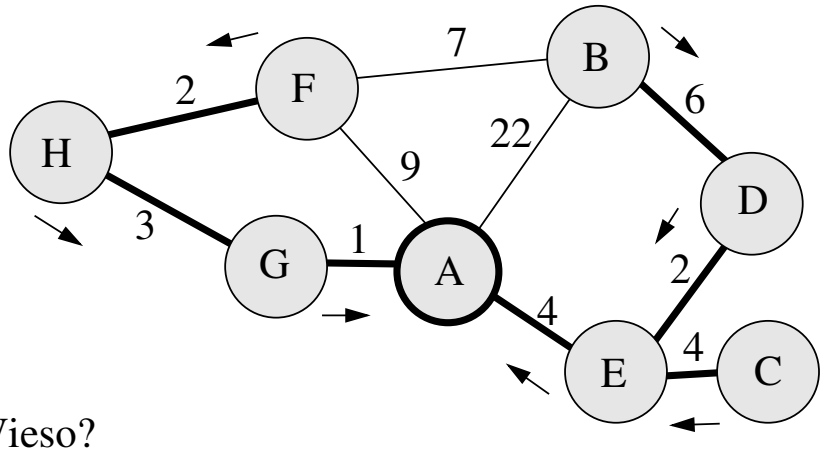
Distance Vector Routing

- Ist eine verteilte Version des Bellman-Ford-Algorithmus
  - ähnlich dem bekannten Dijkstra-Algorithmus für kürzeste Wege
  - " Relaxationsprinzip" (Bellman 1958, Dijkstra 1959, Ford 1962)
- Wurde im ARPANET bis 1979 eingesetzt
  - darauf beruhendes RIP-Verfahren (Routing Information Protocol) wird in Teilbereichen des Internet ("Domains") noch oft verwendet; vgl. RFC 1058 (http://ds0.internic.net/rfc/rfc1058.txt)
- Oft als dynamischer ("adaptiver") Routing-Algorithmus verwendet mit Neuberechnung und Austausch der Tabellen
  - in regelmässigen Zeitabständen (z.B. Austausch alle 30s bei RIP)
  - wenn sich etwas ändert (Kosten einer Verbindung, z.B. Ausfall einer Leitung oder Änderung der Lastsituation)
- Metrik für die Kosten z.B.:
  - Anzahl der hops (z.B. bei RIP, wobei ≥16 als "∞" gilt)
  - gewichtete Anzahl von hops
  - Bandbreite einer Verbindung
  - Verzögerung einer Verbindung (z.B. gemessen mit Testpaketen)
  - Länge der Paketwarteschlange einer Verbindung; ggf. gemittelt über eine längere Zeit
  - ... (z.B. komplexes Kostenmass aus verschiedenen Faktoren)

Spannbaum aus den Routing-Tabellen

Annahme hier: zwischen je 2 Knoten existiert genau ein kürzester Weg (das lässt sich notfalls durch “Tricks” bei den Kantenkosten erreichen)

- Wähle einen Knoten als *Wurzel* (hier z.B. A). Dann bilden die kürzesten Wege zur Wurzel einen Spannbaum



- Wieso?
  - man überlege sich: die zugehörige Kantenmenge ist *zusammenhängend* und besteht (bei n Knoten) aus *n-1 Kanten*

- Jeder Knoten (≠Wurzel) hat *eine* Kante, die zum Nachbarknoten führt, der am nächsten an der Wurzel liegt
  - diese Kante lässt sich direkt aus der lokalen Routingtabelle ermitteln
  - die Routingtabelle muss dann aber “stabil” sein, d.h. der Routingalgorithmus muss terminiert (konvergiert) sein
  - die Menge dieser Kanten bildet die Kanten des Spannbaumes

Das IEEE 802.1D-Protokoll

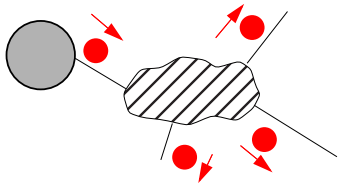
- Das 802.1D-Spannbaumprotokoll lässt sich aus dem Distance Vector Routing-Algorithmus ableiten
  - 802.1D-Protokoll funktioniert in der Praxis ein klein wenig anders, die Unterschiede sind für unsere Zwecke aber unerheblich
  - beachte: es entsteht nicht unbedingt ein (kosten)minimaler Baum!

1) Auf den Knoten (= Brücken) ist eine *Ordnung* festgelegt
   - im Bsp. etwa A > B > C...
   - in der Praxis gegeben durch manuell einstellbare *Prioritäten* (bei gleicher Priorität entscheidet die Hardwareadresse der Bridge)

2) Beim Austausch der Routingtabellen findet *gleichzeitig* eine *Election* mit message-extinction statt:
   - nur der jeweils “höchste” Knoten ist noch Kandidat für die Wurzel
   - bei den Routing-Tabellen interessiert auch nur die Zeile für den Wurzel-Kandidaten; alle anderen Zeilen werden nicht realisiert

3) Die “Entfernungskosten” einer Kante können manuell festgelegt werden
   - defaultmässig durch die Kapazität der Leitung bestimmt

4) Eine Kontrollnachricht einer Brücke wird per multicast an alle Brücken des einen LANs verteilt
   - ein Knoten muss seine Information sowieso an alle Nachbarn senden
   - die Brücken besitzen dazu eine eigene *Gruppenadresse*



multicastfähiges LAN (z.B. Ethernet)

IEEE 802.1D-Protokoll (2)

5) Ende des Algorithmus wird über einen Timer erkannt

- hoffentlich ist bei Ablauf des Timers bereits “Stagnation” eingetreten!
- im Bsp. würde dann D wissen, dass die Wurzel A über den Port zu Knoten E ”billigst” erreichbar ist und würde die Kante zu B stilllegen

6) Die Wurzel ist die einzige Brücke (root bridge), die nicht durch höherwertige Nachrichten stillgelegt wurde

- sie sendet weiterhin im Abstand von ca. 1 - 4 Sekunden ihre Kontrollnachrichten (“HELLO-Pakete” bzw. “Bridge Protocol Data Units” = BPDUs) aus, die über den Spannbaum an alle anderen Brücken verteilt werden

7) Wenn eine andere Brücke längere Zeit keine solche Nachricht erhalten hat, beginnt sie selbst wieder...

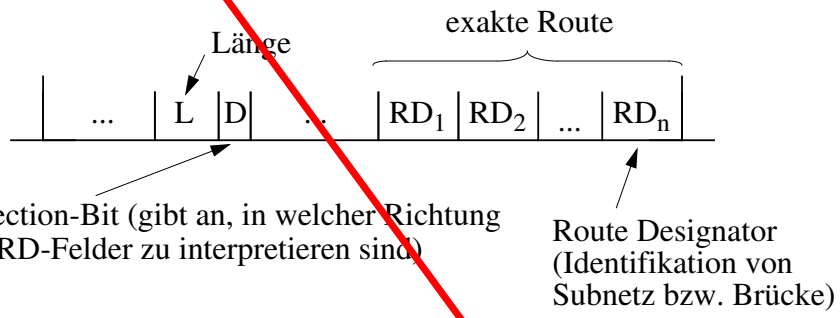
- ggf. wird daraufhin ein etwas anderer Spannbaum ermittelt
- ggf. wird auch eine neue Wurzel gewählt (wenn die alte ausfiel)

8) Bei einer solchen Rekonfiguration werden alle Ports der Brücken gesperrt und Adresseinträge gelöscht

- vermeidet so inkonsistente Zwischenzustände (abgehängte Teilnetze, Schleifen...)

Source-Routing-Brücken

- Alternative zum Spannbaum-Prinzip; verwendet vor allem bei gekoppelten Netzen aus Token-Ringen
- Nicht die Brücken halten die Information über Routen, sondern der jeweilige Absender eines Datenpakets
- Datenpakete enthalten dazu ein *Routing-Indicator-Feld*:



- Bridge sucht jeweils das nächste RD-Feld neben ihrem eigenen und leitet Paket entsprechend weiter
- Der Absender eines Paketes muss daher die RD-Felder vollständig füllen
- Wie lernt ein Sender die Route zum Empfänger?

Folge von Subnetzen und Brücken

Route-Discovery

- Falls einem Sender die Route zum Empfänger noch unbekannt ist, tut er folgendes:
  - Senden eines speziellen Testpakets (“discovery frame”)
  - dies wird von allen Brücken in alle anderen Richtungen weiterverteilt
  - dabei werden sukzessive die RD-Felder mit der durchlaufenen Route gefüllt
  - Zyklen werden erkannt: ein Testpaket wird nur weitergereicht, wenn die nächste Etappe noch nicht in einem RD-Feld steht
- Der Empfänger sendet jedes so erhaltene Paket zurück
  - und zwar auf der gleichen Route (Direction-Bit ändern!)
- Falls es verschiedene Wege zwischen Sender und Empfänger gibt, erhält der Sender mehrere Testpakete zurück
  - wieviele Pakete zurückkommen sollen, weiss der Sender i.a. nicht
  - Sender kann sich eine Route auswählen (z.B. erste Antwort mit weniger als x hops; kürzeste Route innerhalb eines Zeitintervalls...)
  - potentielles Problem: Explosion der Zahl der Testpakete ! (Abhilfe: Vorgabe eines Spannbaums, den Testpakete ausschliesslich nutzen)

- Vergleich Source-Routing <--> Spannbaum-Verfahren:
  - Source-Routing kann ggf. redundante Verbindungen und parallele Pfade nutzen (z.B. zur Lastverteilung)
  - Brücken für Source-Routing haben weniger Arbeit
  - dafür muss der Sender das Routing übernehmen (Adresstabellen führen)
  - Source-Routing kann sehr hohe Zahl von Testpaketen verursachen
  - Spannbaum-Verfahren aus Sicht der Stationen transparenter

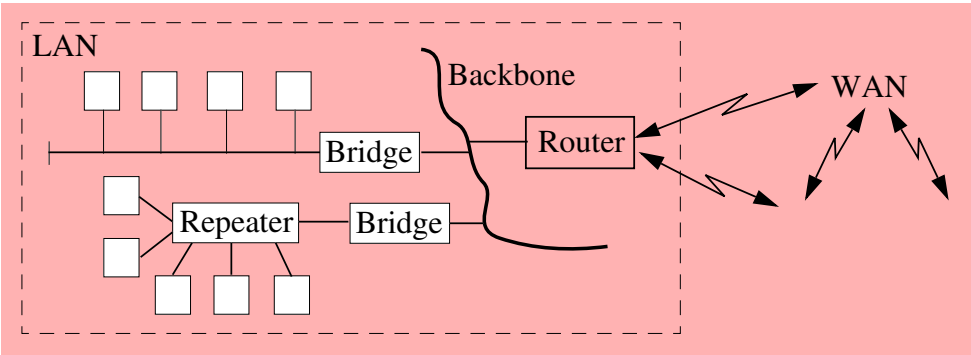
Internetworking

- Es gibt viele verschiedene Netze (LAN, MAN, WAN,...)
- Es gibt verschiedene Protokollstandards
  - verschiedene Protokolle auf allen Ebenen...
  - z.B. TCP/IP, SNA, IPX, Appletalk...
- Es gibt verschiedene Techniken mit unterschiedlichen Eigenschaften (Funk, Glasfaser, Satelliten...)
- Es gibt unterschiedliche Bedürfnisse, Marktsegmente...

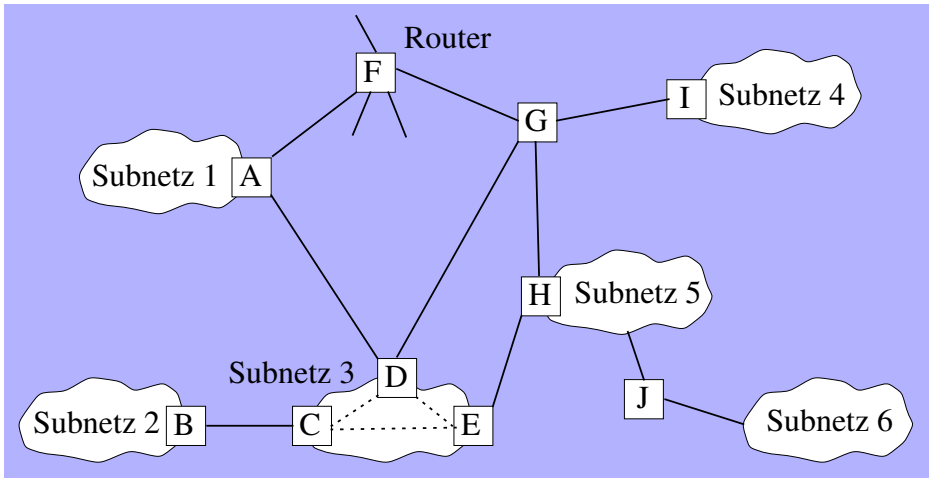
- Dennoch sollen verschiedene Netze miteinander verbunden werden und “so gut es geht” eine Einheit bilden
  - hinsichtlich interessanter Dienste (z.B. E-mail, Dateitransfer...)
  - Menge gekoppelter Netze bilden dann ein “internet” ← !
- Koppelung auf unterschiedlichen Ebenen möglich, z.B.:
  - Router (Ebene 3)
  - Transport Gateway (Ebene 4)
  - Application Gateway (Ebene 7)
- Problem: Netze sind unterschiedlich
  - z.B. bzgl. Adressierungskonventionen, Paketgrössen, Flusssteuerung...
  - dadurch Probleme mit der *Transparenz*
- Mit IP (“Internet Protocol”) soll eine Koppelung von Rechnern verschiedener Netze erreicht werden

Router

- Koppelung von Netzen auf Ebene 3
  - Verbindet ggf. unterschiedliche Ebene 2 - Protokolle
- Wesentliche Aufgabe: Routing
  - Wegewahl über grössere Distanzen und mehrere “hops”
  - hierfür Kooperation verschiedener Router notwendig! --> Protokoll
- Kein “Plug and Play”
  - Router müssen konfiguriert werden
  - sind oft echte, “spezialisierte” Rechner
- Pakete werden nur weitergereicht, wenn Zieladresse dem Router im Prinzip bekannt ist (--> Routingtabelle)
- Broadcasts aus LANs werden nicht weitergereicht
- Typische Anwendung: Kopplung von LAN und WAN (d.h. z.B. Intranet und Internet)



Internetworking mit Routern



- Subnetz kann z.B. ein ganzes Campusnetz oder ein Intranet oder nur einfaches LAN sein
  - ggf. auch ein virtuelles Netz aller Kunden eines Providers
- Router können unterschiedlich eingesetzt werden
  - Koppeln zweier LANs auf Ebene 3 (z.B. J)
  - reine Infrastrukturknoten zur Wegewahl bzw. Übergangspunkt zwischen verschiedenen Providern (z.B. F, G)
- Oft hierarchisches Routing (meist aber nur 2-stufig)
  - Interior Gateway Protocol (Wegesuche innerhalb eines Subnetzes)
  - Exterior Gateway Protocol (Wegesuche zwischen den Subnetzen bzw. den durch sie vertretenden Routern)

Was ist das Internet?

Max Kittelmann, 6, Erstklässler, Eilenburg:

Das Internet gibt es in grossen Städten. In Eilenburg, Afrika oder Japan gibt es kein Internet. Es gehört den Leuten aus dem Internet-Cafe.

Helmut Sahlfeld, 69, Land- und Forstwirt, Apelern:

Man kann sich damit Daten von sonstwo kommen lassen und die halbe Börse abrufen. Wenn man genug zu tun hat, so wie ich, ist einem so ein Internet mehr als egal.

Marga Bruhns, 78, Seniorenbeauftragte, Emden:

Ich höre oft den Satz "Das steht im Internet" und verstehe ihn nicht. Das hat nicht jeder Fernseher, nicht? Man kann damit Nachrichten verschicken, es ist vielleicht so was wie ein Fax.

Zitate aus "Spiegel Spezial" Nr. 3 / 99

- Internet-Technologie
  - globales Addressierungsschema ("IP-Adresse")
  - TCP/IP-Protokolle + Routing-Verfahren + Hilfsdienste
  - Anwendungsprotokolle: E-mail, ftp, news, telnet, http,...

Internet-Geschichte: Überblick

- Das Internet ist eine unerwartete Erfolgsgeschichte der (US-amerikanischen) Informatik
  - Mythos: es sei eine Erfindung der Militärs (wurde von DARPA gefördert)

- 70er Jahre: *Pionierzeit*

  das Internet ist also 30 Jahre alt und verkraftete den Technologiewandel

  - 1969: Erstes "Internet" aus 4 Knoten: University of California at Los Angeles (UCLA), Stanford Research Institute (SRI), University of California at Santa Barbara (UCSB), University of Utah

- 80er Jahre: *Wissenschaftsnetz*
  - getrieben durch die Informatik
  - erste europäische Universitäten schliessen sich an das Internet an

- 90er Jahre: *Kommerzialisierung und Popularisierung*
  - 1991 erster Commercial Internet Exchange ("CIX")
  - 1997 Streit der deutschen kommerziellen Internetprovider mit dem deutschen Wissenschaftsnetz (DFN-Verein) um die Kosten
  - 1998 Überall in der Werbung finden sich WWW-Adressen

Geschichte des Internet

Katie Hafner, Matthew Lyon:
Die Geschichte des Internet

351 Seiten, EUR 25.05
ISBN: 932588592
dpunkt-Verlag, 2000

http://www.dpunkt.de/arpa-kadabra/

Der amerikanische Bestseller “Where Wizards Stay up Late - The Origins of the Internet” ist erstmalig 1997 unter dem Titel “ARPA Kadabra - Die Geschichte des Internet” beim dpunkt.verlag erschienen.

ARPA Kadabra erzählt die Geschichte des Internet, die Geschichte einer der faszinierendsten technischen Entwicklungen unserer Zeit. Aber auch die Geschichte einer kleinen Gruppe junger Wissenschaftler und Ingenieure, die vor 25 Jahren...

ARPA Kadabra

Der Mythos:

“Ende der 60er Jahre entwickelte das U.S. Verteidigungsministerium ein Computernetzwerk namens ARPAnet, welches am 1.9.1969 an der University of California, Los Angeles (UCLA) in Betrieb genommen wurde. Es sollte auch bei einem Ausfall von Teilen des Netzwerkes durch einen nuklearen Angriff weiter funktionieren und so die akademische und militärische Forschung sicherstellen.”

Die Wahrheit:

Wie Katie Hafner und Matthew Lyon in ihrem Buch “ARPA Kadabra - Die Geschichte des Internet” darlegen, hatte das ARPAnet in Wirklichkeit nichts mit der Unterstützung eines nuklearen Krieges zu tun. Im Gegenteil ging es den Wissenschaftlern darum, die Computer von verschiedenen wissenschaftlichen Instituten des Landes zu verbinden, um gemeinsam Ressourcen nutzen zu können.

Tatsächlich begann die ganze Entwicklung damit, dass Bob Taylor, ein Mitarbeiter der Defence Department’s Advanced Research Projects Agency (ARPA), sich über ein technisches Problem in seiner Abteilung ärgerte: Es waren drei verschiedene Computer-Terminals notwendig, um die ARPA mit drei Computersystemen von Universitäten zu verbinden. Taylors Ziel war es, einen Weg zu finden, um die drei unterschiedlichen Systeme zu vernetzen.

Computernetzwerke existierten zu dieser Zeit - in den 60er Jahren - noch nicht, ausser in den Köpfen einer Handvoll Wissenschaftler.
...

Ein landesweites Netzwerk, genannt ARPAnet, wurde ab jetzt ständig weiterentwickelt. Dabei machten die Entwickler - eher zufällig - eine Reihe von nützlichen Entdeckungen wie zum Beispiel E-Mail, das wichtigste Kommunikationsmedium seit Erfindung des Telefons. Das ARPAnet schloss sich am Ende mit anderen Netzwerken zusammen, um zum heutigen Internet zu werden.

Der Internet-Visionär

- Bereits 1968 veröffentlicht J. C. R. Licklider etwas, das aus heutiger Sicht als ein “Internet-Manifest” bezeichnet werden kann
  - interne Memos zur Thematik verfasste er bereits ab 1962
- Licklider war Direktor des “InformationProcessing Techniques Office”, einer Abteilung der ARPA (Advanced Research Projects Agency) des Pentagon
  - Nachdruck z.B. bei http://www.memex.org/licklider.pdf
  - hier einige kurze Zitate daraus:

J. C. R. Licklider
The Computer as a Communication Device
Science and Technology, April 1968

There has to be some way of facilitating communicantion among people witout bringing them together in one place...

The difficulty is that the common carriers do not provide the kind of service one would like to have---a service that would let one have ad lib access to a channel for short intervals and not be charged when one is not using the channel...
...move forward the development of interactive communities of geographically separated people is to set up an experimental network of multiaccess computers....

Each secretarys typewriter, each data-gathering instrument, conceivably each dictation microphone, will feed into the network...

When people do their informational work ... through the network, ... the impact...will be very great - both on the individual and on society.