Selektives Empfangen

≠ alternatives!

- Bedingung an den *Inhalt* (bzw. Typ, Format,...) der zu empfangenden Nachricht
- Dadurch werden gewisse ("unpassende") Nachrichten einfach ausgeblendet
- Bedingung wird oft vom aktuellen Zustand des Empfängers abhängen
- Implementierung:
  - Eingangspuffer wird nach passender Nachricht durchsucht, *oder:*
  - Sender und Empfänger "verhandeln"

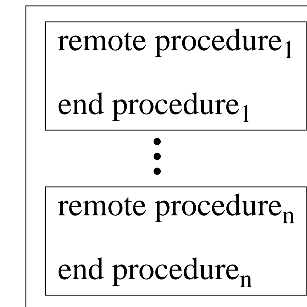
- Vorteil bei der Anwendung:

  Empfänger muss nicht mehr alles akzeptieren und zwischenspeichern, sondern bekommt nur das, was ihn momentan interessiert

Implizites Empfangen

- Keine receive, select...-Anweisung, sondern Spezifikation von Routinen, die bei Vorliegen einer Nachricht ausgeführt ("angesprungen") werden
- z.B. RPC:

bzw. asynchrone Variante oder "Remote Method Invocation" bei objektorientierten Systemen



- Analog auch für den "Empfang" einer Nachricht *ohne Antwortverpflichtung* denkbar

Gelegentlich ist allerdings ein explizites Empfangen ("receive") wesentlich bequemer als ein implizites Empfangen!

- *Semantik*:
  - Interne Parallelität?
    - Mehr als eine gleichzeitig aktive Prozedur, Operation, thread... ("Routine") im Empfänger?
    - Vielleicht sogar mehrere Instanzen der gleichen Routine?
  - Atomare Routinen?
    - Wird eine aktive Routine ggf. unterbrochen, um eine andere aktivierte auszuführen?

Sprachdesign: Modularisierung

- Einheiten der

  - Strukturierung
    - bezüglich Softwaretechnologieaspekten (information hiding, Schnittstellen, getrennte Übersetzung...)

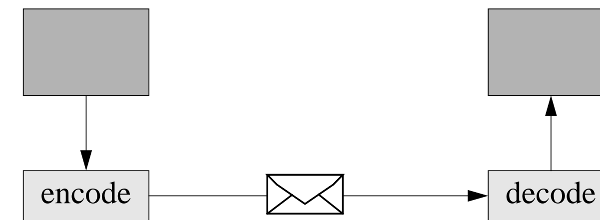
  - Verteilung
    - gemeinsamer Namensraum
    - Cluster “lokaler” und zusammengehöriger Objekte
    - nur als ganze Einheit auf Rechner plazierbar

  - Parallelität
    - mehrere Module arbeiten nebenläufig (“gleichzeitig”)
    - z.B. thread, Prozess,...

- Getrennte oder einheitliche Sprachmittel dafür?
  - Gesichtspunkte wie Zweckmässigkeit, Anwendungsbereich, Effizienz, Sicherheit, Einfachheit...
- Hierarchien, Schachtelungen von Modulen?
- Granularität; interne Parallelität?
- Dynamik <--> Statik ?
  - Ports, Kanäle, Mailboxen... dynamisch erzeugbar?
  - Dynamik ist flexibler, aber aufwendiger in der Realisierung und problematischer in der Benutzung (Benennung, “dangling references”)

Kommunizierbare Datentypen?

- Werte von “klassischen” einfachen Datentypen
  - int, character, string, floating point,...
- Kompatibilität in heterogenen Systemen?
  - Grösse von int
  - Format von floating point
  - höherwertiges Bit links oder rechts
  - ...



- Vereinbarung einer *Standardrepräsentation* (z.B. XDR)
- marshalling (encode / decode) kostet Zeit

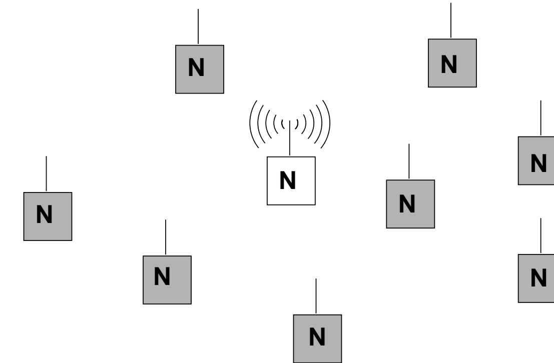
- Was ist mit *komplexen Datentypen* wie
  - Records, Strukturen
  - Objekte, ADT
  - Referenzen, Zeiger
  - Zeigergeflechte

  }
  - sollen Adressen über Rechner- / Adressraumgrenzen erlaubt sein?
  - sollen Referenzen symbolisch, relativ... interpretiert werden? Ist das stets möglich?
  - wie wird Typkompatibilität sichergestellt?
- Ggf. “Linearisieren” und ggf. Strukturbeschreibung mitschicken (u.U. sprachunabhängig, z.B. mit ASN.1)
- Sind (Namen von) Ports, Prozessen... eigene Datentypen, deren Werte versendet werden können?

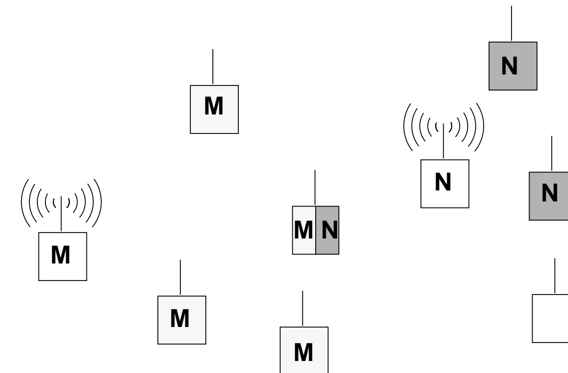
“first class objects”

Gruppen-kommunikation

Gruppenkommunikation



Broadcast: Senden an die *Gesamtheit* aller Teilnehmer

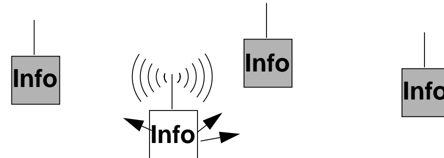


Multicast: Senden an eine *Untergruppe* aller Teilnehmer

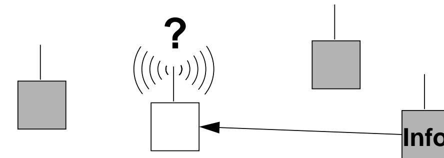
- entspricht Broadcast bezogen auf die Gruppe
- verschiedene Gruppen können sich ggf. überlappen
- jede Gruppen hat eine Multicastadresse

Anwendungen von Gruppenkommunikation

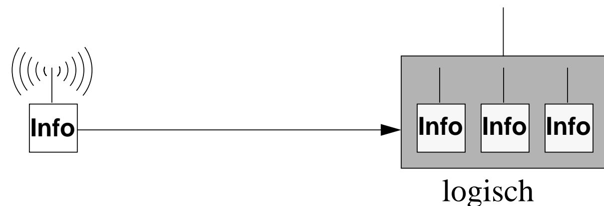
- *Informieren*
  - z.B. Newsdienste, Konferenzsysteme etc.

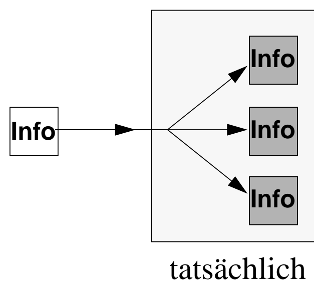


- *Suchen*
  - z.B. Lokation von Objekten und Diensten



- *"Logischer Unicast"* an replizierte Komponenten

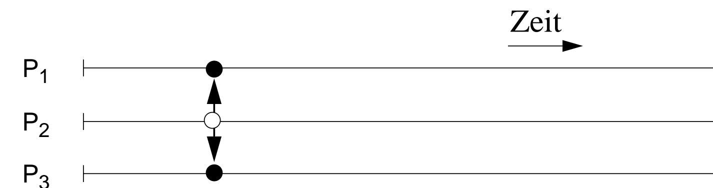




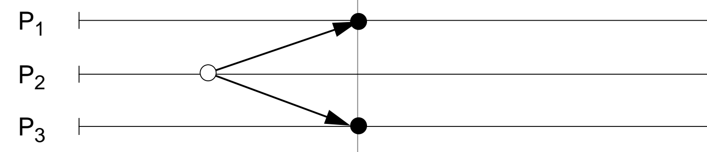
Typische Anwendungsklasse von Replikation: Fehlertoleranz

Gruppenkommunikation - idealisierte Semantik

- Modellhaftes Vorbild: Speicherbasierte Kommunikation in zentralistischen Systemen
  - augenblicklicher Empfang
  - vollständige Zuverlässigkeit



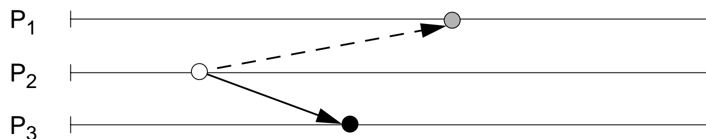
- Nachrichtenbasierte Kommunikation: Idealisierte Sicht
  - (verzögerter) gleichzeitiger Empfang
  - vollständige Zuverlässigkeit



Gruppenkommunikation - tatsächliche Situation

- Medium (Netz) ist oft nicht multicastfähig
  - LANs teilweise (z.B. klassisches Ethernet), jedoch i.a. nur innerhalb eines einzigen Segments
  - multicastfähiges Netz ist effizient (Hardwareunterstützung), typischerweise jedoch nicht verlässlich (keine Empfangsgarantie)
  - bei Punkt-zu-Punkt-Netzen: "Simulation" von Multicast durch ein Protokoll (z.B. Multicast-Server, der an alle einzeln weiterverteilt)

- Nachrichtenkommunikation ist nicht "ideal"
  - indeterministische Zeitverzögerung --> Empfang zu unterschiedlichen Zeiten
  - nur bedingte Zuverlässigkeit der Übermittlung



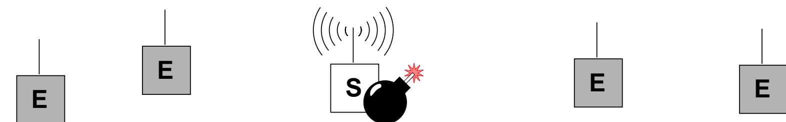
- Ziel von Broadcast / Multicast-Protokollen:
  - möglichst gute Approximation einer speicherbasierten Kommunikation
  - möglichst hohe Verlässlichkeit und Effizienz

- Beachte: Verlust von Nachrichten und sonstige Fehler sind bei Broadcast ein viel wichtigeres Problem als beim "Unicast"! (Wieso?)
- Hauptproblem bei der Realsierung von Broadcast: Zuverlässigkeit und garantierte Empfangsreihenfolge

Senderausfall beim Broadcast

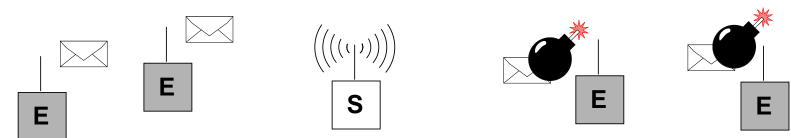
a) Sender fällt aus: *kein* Empfänger erhält Nachricht

- „günstiger" Fall: *Einigkeit* unter den Überlebenden!



b) Sender fällt *während* des Sendens aus: nur *einige* Empfänger erhalten u.U. die Nachricht

- wenn Broadcast durch Senden vieler Einzelnachrichten realisiert ist
- "ungünstiger" Fall: *Uneinigkeit*



- mögliche Abhilfe: Empfänger leiten die Nachricht untereinander weiter (Denkübung: Müssen die Empfänger dazu wissen, ob ein Sender abgestürzt ist? Wenn ja: wie? Wenn nein: schadet eine falsche Verdächtigung nicht?)
- Uneinigkeit der Empfänger kann die Ursache für sehr ärgerliche Folgeprobleme sein! (Da wäre es manchmal besser, *kein* Prozess hätte die Nachricht empfangen!)

Zuverlässigkeitsstrategie “Best effort” bei Broadcasts

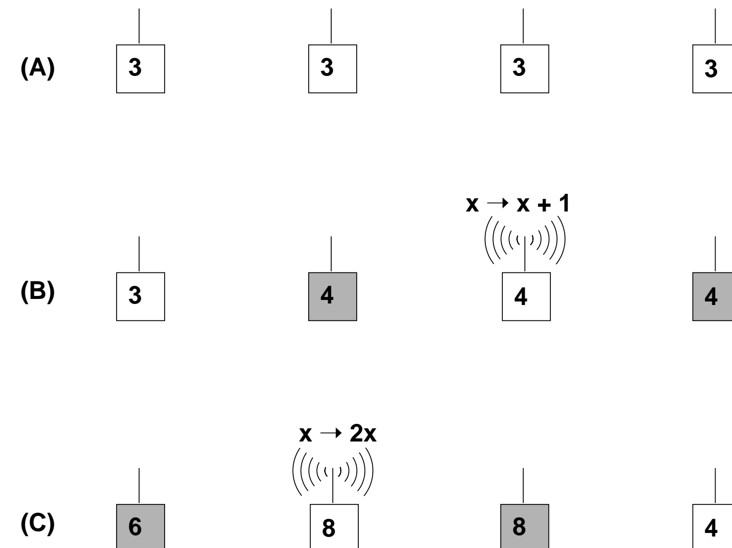
- Fehlermodell: Verlust von Nachrichten (und ggf. temporärer Crash von Prozessen)
  - Nachrichten können aus unterschiedlichen Gründen verloren gehen (z.B. Netzüberlastung, Empfänger hört gerade nicht zu...)
- Euphemistische Bezeichnung, da keine extra Anstrengung
  - typischerweise einfache Realisierung ohne Acknowledgements etc.
- Keinerlei Garantien
  - unbestimmt, wieviele / welche Empfänger eine Broadcastnachricht im Fehlerfall tatsächlich empfangen
  - unbestimmte Empfangsreihenfolge

Kann z.B. beim Software-update über Satellit zu einem ziemlichen Chaos führen

- Allerdings effizient (im Erfolgsfall)
- Geeignet für die Verbreitung unkritischer Informationen
  - z.B. Lastdaten oder unverbindliche “Tips“ und “Empfehlungen“
  - Information, die ggf. Einfluss auf die Effizienz haben, nicht aber die Korrektheit betreffen
- Ggf. als Grundlage zur Realisierung höherer Protokolle
  - oft basierend auf multicastfähigen Netzen
  - günstig bei zuverlässigen physische Kommunikationsmedien (wenn Fehlerfall sehr selten --> aufwendiges Recovery auf höherer Ebene tolerierbar)

k-Zuverlässigkeit

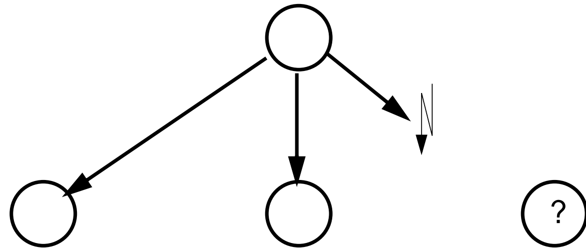
- Mindestens k Teilnehmer haben die Nachricht empfangen
  - grössere Werte von k sind “teurer”
  - Denkübungen: Wie realisiert man einen k-zuverlässigen Multicast? Ist ein “100%ig zuverlässiger” Broadcast überhaupt möglich? Wo lässt sich dies (für welches k?) sinnvoll verwenden?
- Problem der Fehlerakkumulation:
  - der Zustand (repräsentiert durch eine Variable x) sei repliziert
  - Zustandssynchronisation werde durch “function shipping” mittels 2-zuverlässigem Multicast realisiert



- Ergebnis nach einiger Zeit: Alle Replikate sind verschieden!
- in einem solchen Fall hilft also k-Zuverlässigkeit nicht viel

“Reliable Broadcast”

- Ziel: Unter gewissen Fehlermodellen einen “möglichst zuverlässigen” Broadcast-Dienst realisieren



- Quittung (“positives Acknowledgement”: ACK) für jede Einzelnachricht ist teuer
  - im Verlustfall einzeln nachliefern oder (falls broadcastfähiges Medium vorhanden) einen zweiten Broadcast-Versuch? (--> Duplikaterkennung!)

- Skizze einer anderen Idee (“negatives Ack.”: NACK):
  - alle broadcasts werden vom Sender aufsteigend numeriert
  - Empfänger stellt beim *nächsten* Empfang u.U. eine Lücke fest
  - für fehlende Nachrichten wird ein “negatives ack” (NACK) gesendet
  - Sender muss daher Kopien von Nachrichten (wie lange?) aufbewahren
  - “Nullnachrichten” sind u.U. sinnvoll (--> schnelles Erkennen von Lücken)
  - Kombination von ACK / NACK mag sinnvoll sein

- Dies hilft aber nicht, wenn der Sender mittendrin crasht!

Reliable-Broadcast-Algorithmus

- Zweck: Jeder nicht gecrashte und zumindest indirekt erreichbare Prozess soll die Broadcast-Nachricht erhalten
  - Voraussetzung: zusammenhängendes “gut” vermaschtes Punkt-zu-Punkt-Netz
  - Fehlermodell: Knoten und Verbindungen mit Fail-Stop-Charakteristik

Sender *s*: Realisierung von **broadcast(*N*)**

– **send(*N*, *s*, *sequ_num*)** an alle Nachbarn (inclusive an *s* selber);

– sequ_num ++

Empfänger *r*: Realisierung des Nachrichtenempfangs

– **receive(*N*, *s*, *sequ_num*);**
wenn *r* noch kein **deliver(*N*)** für *sequ_num* ausgeführt hat, dann:
  wenn $r \neq s$ dann **send(*N*, *s*, *sequ_num*)** an alle Nachbarn von *r* ;
  Nachricht an die Anwendungsebene ausliefern (“deliver(N)”) ;

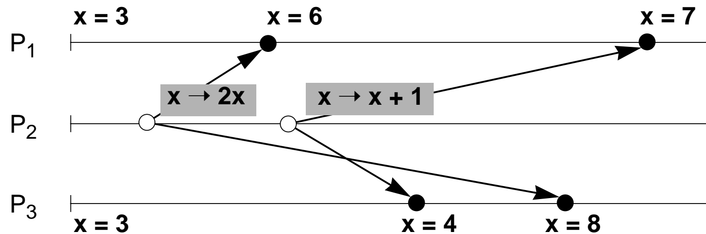
- Prinzip: “Fluten” des Netzes
  - vgl. dazu Vorlesung “Verteilte Algorithmen”

- Beachte: receive ≠ deliver
  - unterscheide Anwendungsebene und Transportebene

- Fragen:
  - müssen die Kommunikationskanäle bidirektional sein?
  - wie effizient ist das Verfahren (Anzahl der Einzelnachrichten)?
  - Optimierungen? Varianten?
  - wie fehlertolerant? (wieviel darf kaputt sein / verloren gehen...?)
  - kann man das gleiche auch ganz anders erreichen?

Empfangsreihenfolge

- Wie ist die Empfangsreihenfolge von Nachrichten?
  - problematisch wegen der i.a. ungleichen Übermittlungszeiten
  - Bsp.: Update einer replizierten Variablen mittels "function shipping":

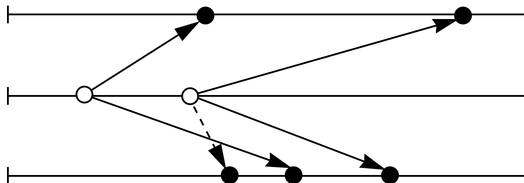


- Es sind verschiedene "Ordnungsgrade" denkbar
  - z.B. ungeordnet, FIFO, kausal geordnet, total geordnet

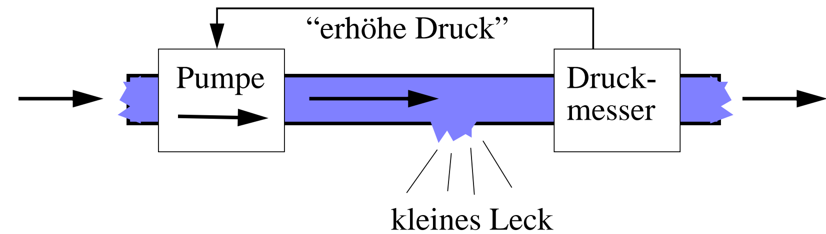
- *FIFO-Ordnung:*

  Alle Multicast-Nachrichten *eines* Senders an eine Gruppe kommen bei allen Mitgliedern der Gruppe in FIFO-Reihenfolge an

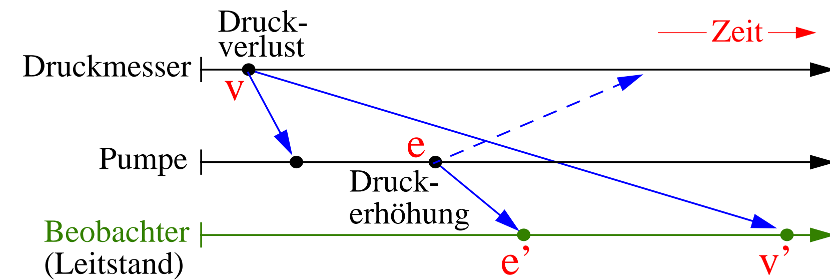
  - Denkübung: wie dies in einem Multicast-Protokoll garantieren?



Probleme mit FIFO-Broadcasts



- *Annahme*: Steuerelemente kommunizieren über FIFO-Broadcasts:



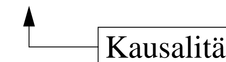
- "Irgendwie" kommt beim Beobachter die Reihenfolge durcheinander!

==> *Falsche Schlussfolgerung des Beobachters:*

"Aufgrund einer unbegreiflichen Pumpenaktivität wurde ein Leck erzeugt, wodurch schliesslich der Druck absank."

Man sieht also:

- FIFO-Reihenfolge reicht oft nicht aus, um Semantik zu wahren
- eine Nachricht *verursacht* oft das Senden einer anderen

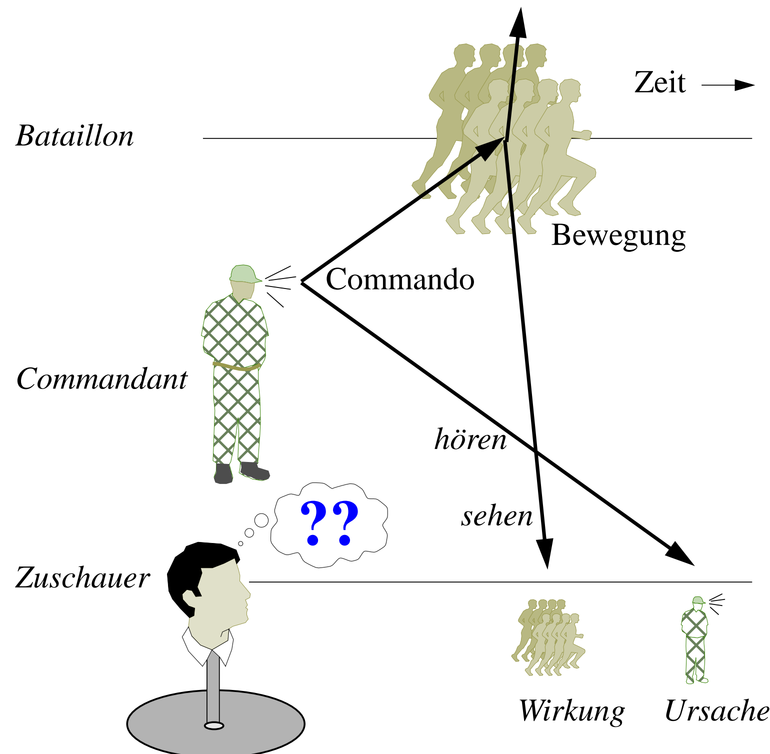


Das “Broadcastproblem” ist nicht neu

- Licht- und Schallwellen werden in natürlicher Weise per Broadcast verteilt
- Wann handelt es sich dabei um FIFO-Broadcasts?
- Wie ist es mit dem Kausalitätserhalt?

Wenn ein Zuschauer von der Ferne das Exercieren eines Bataillons verfolgt, so sieht er übereinstimmende Bewegungen desselben plötzlich eintreten, *ehe* er die Commandostimme oder das Hornsignal hört; aber aus seiner Kenntnis der *Causalzusammenhänge* weiß er, daß die Bewegungen die *Wirkung* des gehörten Commandos sind, dieses also jenen *objectiv* vorangehen muß, und er wird sich sofort der Täuschung bewußt, die in der Umkehrung der Zeitfolge in seinen Perceptionen liegt.

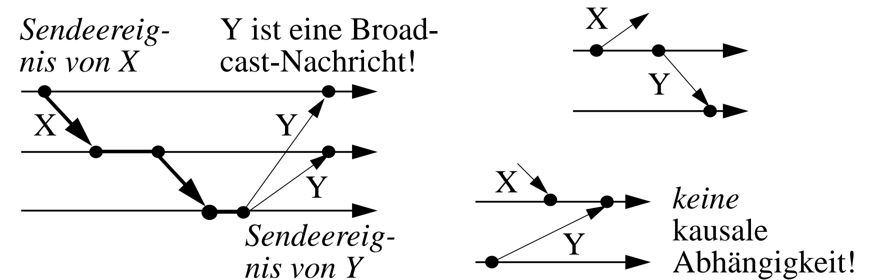
Christoph von Sigwart (1830-1904) *Logik* (1889)



Kausale Broadcasts

Kausale Abhängigkeit zwischen Nachrichten (Def.):

- *Nachricht Y hängt kausal von Nachricht X ab,* wenn es im Raum-Zeit-Diagramm einen von links nach rechts verlaufenden Pfad gibt, der vom Sendeereignis von X zum Sendeereignis von Y führt



Beachte:

- Dies lässt sich bei geeigneter Modellierung auch abstrakter fassen (--> vgl. L. Lamport und auch Vorlesung “Verteilte Algorithmen”)

Wahrung von Kausalität bei der Kommunikation:

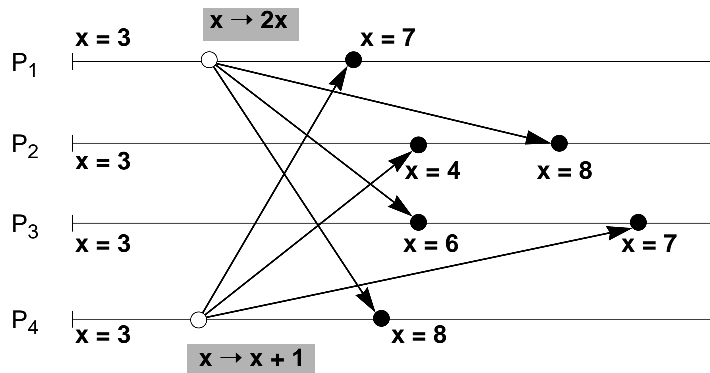
- *Kausale Reihenfolge (Def.):* Wenn eine Nachricht N kausal von einer Nachricht M abhängt, und ein Prozess P die Nachrichten N und M empfängt, dann muss er M vor N empfangen haben

Beachte: “causal order”

- “Kausale Reihenfolge” und “kausale Abhängigkeit” lassen sich insbesondere auch auf *Broadcasts* anwenden
- Kausale Reihenfolge *impliziert FIFO-Reihenfolge:* kausale Reihenfolge ist eine Art “globales FIFO” *(“Dreiecksungleichung”)*
- Das *Erzwingen* der kausalen Reihenfolge ist mittels geeigneter Algorithmen möglich (--> Vorlesung “Verteilte Algorithmen”, z.B. Verallgemeinerung der Sequenzzählermethode für FIFO)

Probleme mit kausalen Broadcasts ?

Beispiel: Aktualisierung einer replizierten Variablen x:



Problem: Statt *überall* 7 *oder* 8 als Ergebnis: Hier "beides"!

Konkrete Ursache des Problems:

- Broadcasts werden nicht überall "gleichzeitig" empfangen
- dies führt lokal zu verschiedenen Empfangsreihenfolgen

Abstrakte Ursache:

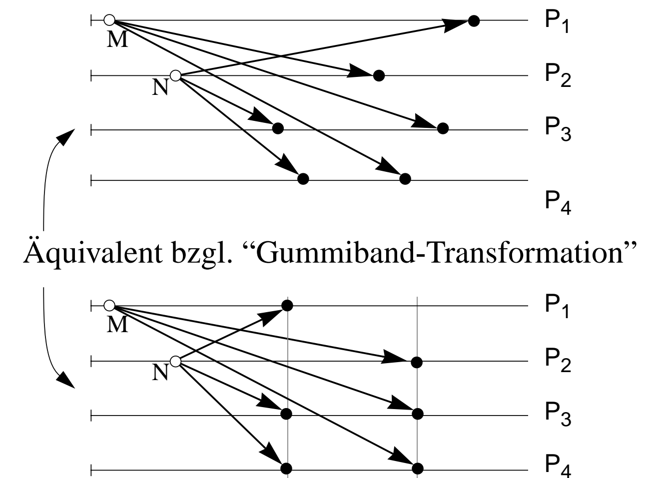
- die Nachrichtenübermittlung erfolgt (erkennbar!) *nicht atomar*

Also:

- auch kausale Broadcasts haben keine "perfekte" Semantik (d.h. Illusion einer speicherbasierten Kommunikation)

Atomarer bzw. "totaler" Broadcast

- Übereinstimmung bzgl. der Empfangsreihenfolge: *Totale Ordnung:* Wenn zwei Prozesse P_1 und P_2 beide die Nachrichten M und N empfangen, dann empfängt P_1 M vor N genau dann, wenn P_2 die Nachricht M vor N empfängt
- Beachte: Das Senden wird *nicht* als Empfang der Nachricht beim Sender selbst gewertet!
- Beachte: "Atomar" heisst hier *nicht* "alles oder nichts" (wie etwa beim Transaktionsbegriff von Datenbanken!)

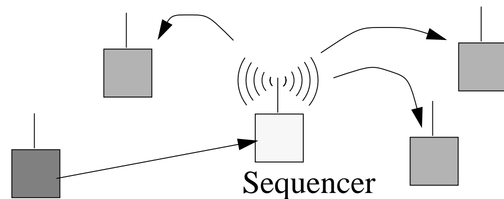


Anschaulich:

- Nachrichten eines Broadcasts werden "überall gleichzeitig" empfangen

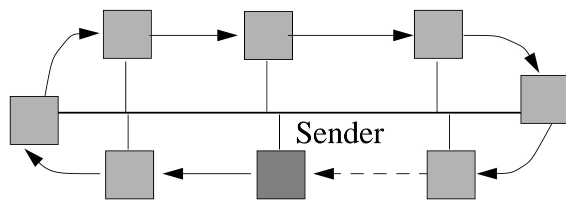
Realisierung von atomarem Broadcast

- Zentraler „Sequencer", der Reihenfolge festlegt
  - ist allerdings ein potentieller Engpass!



- Unicast vom Sender zum Sequencer
- Multicast vom Sequencer an alle
- Sequencer wartet jew. auf alle Acknowledgements (oder genügt FIFO-Broadcast?)

- Token, das auf einem (logischen) Ring kreist



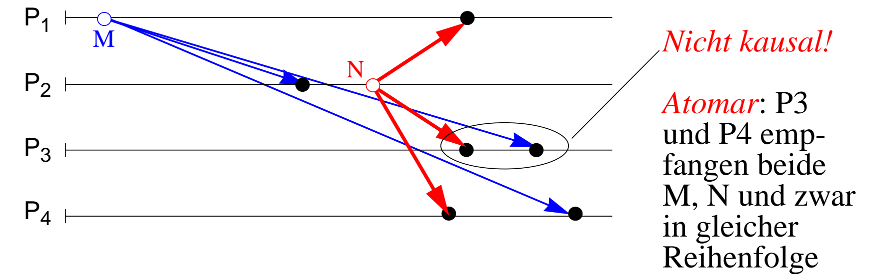
- Token = Senderecht (Token weitergeben!)
- Broadcast selbst könnte z.B. über ein zugrundeliegendes broadcastfähiges Medium erfolgen

  - Token führt eine Sequenznummer (inkrementiert beim Senden), dadurch sind alle Broadcasts global numeriert
  - Empfänger wissen, dass Nachrichten entsprechend der (in den Nachrichten mitgeführten Nummer) ausgeliefert werden müssen
  - bei Lücken in den Nummern: dem Token einen Wiederholungswunsch mitgeben (Sender erhält damit implizit ein Acknowledgement)
  - Tokenverlust (z.B. durch Prozessor-Crash) durch Timeouts feststellen (Vorsicht: Token dabei nicht versehentlich verdoppeln!)
  - einen gecrashten Prozessor (der z.B. das Token nicht entgegennimmt) aus dem logischen Ring entfernen
  - Variante (z.B. bei zu vielen Teilnehmern): Token auf Anforderung direkt zusenden (broadcast: "Token bitte zu mir"), dabei aber Fairness beachten (vgl. analoge Prinzipien bei Algorithmen für den wechselseitigen Ausschluss in Netzen --> Vorlesung "Verteilte Algorithmen")

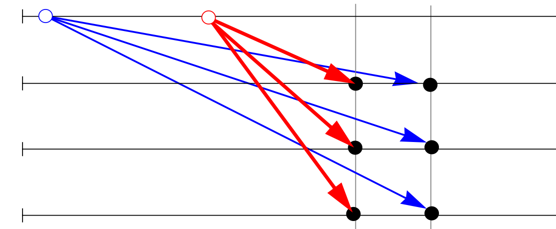
- Geht es auch ohne zentrale Elemente (Sequencer, Token)?

Wie "gut" ist atomarer Broadcast?

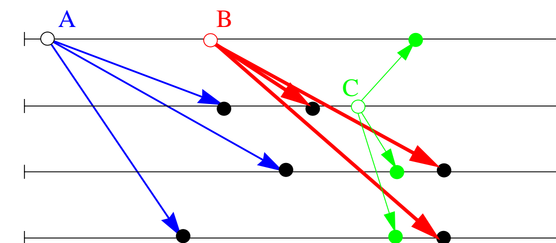
1) Ist atomar auch kausal?



2) Ist atomar wenigstens FIFO?



3) Ist atomar + FIFO vielleicht kausal?



Bem.: 1) ist ebenfalls ein Gegenbeispiel, da M, N FIFO-Broadcast ist!

Kausaler atomarer Broadcast

- Fazit:
  - atomare Übermittlung =/=> kausale Reihenfolge
  - atomare Übermittlung =/=> FIFO-Reihenfolge
  - atomare Übermittlung + FIFO =/=> kausale Reihenfolge
- Vergleich mit speicherbasierter Kommunikation:
  - Kommunikation über gemeinsamen Speicher ist *atomar* (alle „sehen“ das Geschriebene gleichzeitig)
  - Kommunikation über gemeinsamen Speicher *wahrt Kausalität* (die Wirkung tritt unmittelbar mit der Ursache, dem Schreibereignis, ein)
- Vergleichbares Kommunikationsmodell per Nachrichten: *Kausaler atomarer Broadcast*
  - kausaler Broadcast + totale Ordnung
  - man nennt daher kausale, atomare Übermittlung auch *virtuell synchrone Kommunikation*
  - Denkübung: realisieren die beiden Implementierungen “zentraler Sequencer” bzw. “Token auf Ring” die virtuell synchrone Kommunikation?

Stichwort: Virtuelle Synchronität

- Idee: Ereignisse finden zu verschiedenen Real-Zeitpunkten statt, aber zur *gleichen logischen Zeit*
  - in Bezug auf die bis dahin empfangenen Nachrichten
  - vorläufig: „logische Zeit“ = Menge aller vergangenen Ereignisse

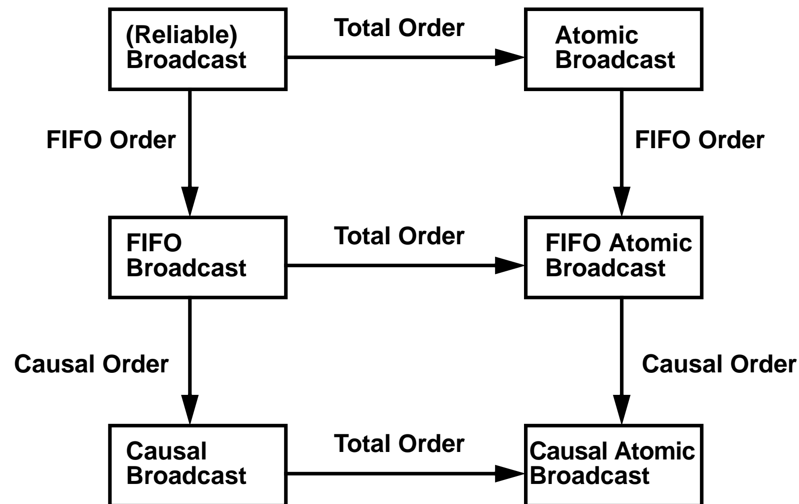
aber in welchem Sinne?

- *Innerhalb* des Systems ist synchron und virtuell synchron *nicht unterscheidbar*
  - identische totale Ordnung aller Ereignisse
  - identische Kausalbeziehungen
- Folge: Nur mit Hilfe einer globalen Uhr könnte ein externer Beobachter den Unterschied feststellen

---

Den Begriff “logische Zeit” müssen wir aber irgendwann noch genauer fassen! (Mehr dazu dann wieder in der Vorlesung “Verteilte Algorithmen”)

Broadcast - schematische Übersicht



- Warum nicht ein einziger Broadcast, der alles kann?
  "Stärkere Semantik" hat auch Nachteile:
  - Performance-Einbussen
  - Verringerung der potentiellen Parallelität
  - aufwendiger zu implementieren

- Bekannte "Strategie":
  - man begnügt sich daher, falls es der Anwendungsfall gestattet, oft mit einer billigeren aber weniger perfekten Lösung
  - Motto: so billig wie möglich, so „perfekt" wie nötig
  - man sollte aber die Schwächen einer Billiglösung kennen!