Es gibt verschiedene Wellenalgorithmen

- Topologiespezifische, z.B. für
  - Ring
  - Baum
  - allg. Graph

  } hierfür spezialisierte Verfahren u.U. besonders effizient

- Voraussetzungen bzgl. Knotenidentitäten
  - eindeutig oder
  - anonym

- Voraussetzungen bzgl. notwendigem "Wissen", z.B.
  - Nachbaridentitäten
  - Anzahl der Knoten (bzw. obere Schranke)
  - ...

- Voraussetzungen bzgl. Kommunikationssemantik
  - synchron, asynchron, FIFO-Kanäle, bidirektionale Kanäle...?

- Qualitätseigenschaften
  - Sequentiell oder parallel (bzw. "Parallelitätsgrad")
  - Anzahl möglicher Initiatoren (mehr als einer?)
  - Zeitkomplexität
  - Nachrichtenkomplexität (worst/average case)
  - Bitkomplexität (Länge der Nachrichten)
  - Dezentralität (kein Engpass?)
  - Symmetrie (alle lok. Algorithmen identisch?)
  - Fehlertoleranz (Fehlermodell? Grad and Fehlertoleranz?)
  - Einfachheit (--> Verifizierbar, einsichtig...)
  - Praktikabilität, Implementierbarkeit
  - Skalierbarkeit (auch für grosse Systeme geeignet?)
  - ...

Wellenalgorithmen: Zusammenfassung

- Es gibt viele Wellenalgorithmen, wir kennen u.a.:
  - Echo-Algorithmus ("Flooding mit indirektem Acknowledge")
  - Traversierung von Ringen, Gittern, Hypercubes, Sterntopologien,...
  - Paralleles Durchlaufen von (Spann)bäumen
  - Paralleles Polling auf Sternen
  - Tarry-Algorithmus, Depth-first-Traversierungen
  - Verfahren von Awerbuch und Variante von Cidon
  - Phasenalgorithmus
  - Algorithmus von Finn

- Anwendung von Wellenalgorithmen (u.a.):
  - *Broadcast*
  - *Einsammeln* von verteilten Daten ("gather")
  - Konstruktion eines *Spannbaumes*
  - *Phasensynchronisation* von Prozessen
  - *Triggern eines Ereignisses* in jedem Prozess
  - Implementierung von *Schnittlinien* (--> Schnappschuss etc.)
  - *Basisalgorithmus* für andere Verfahren (Deadlock, Terminierung,...)
  - Bestimmung des *glob. Infimums* (z.B.: "ist ein flag gesetzt?")

- Es gibt viele Wellenalgorithmen ==> welcher ist der beste?
  - Es gibt sicherlich keinen "allgemein besten" - je nach Voraussetzungen wird man nur eine Teilmenge davon in Betracht ziehen können, ferner gibt es sehr unterschiedliche Qualitätskriterien (vgl. frühere Aufzählung)!
  - *Aufgabe*: Diesbezüglicher Vergleich aller Wellenalgorithmen!

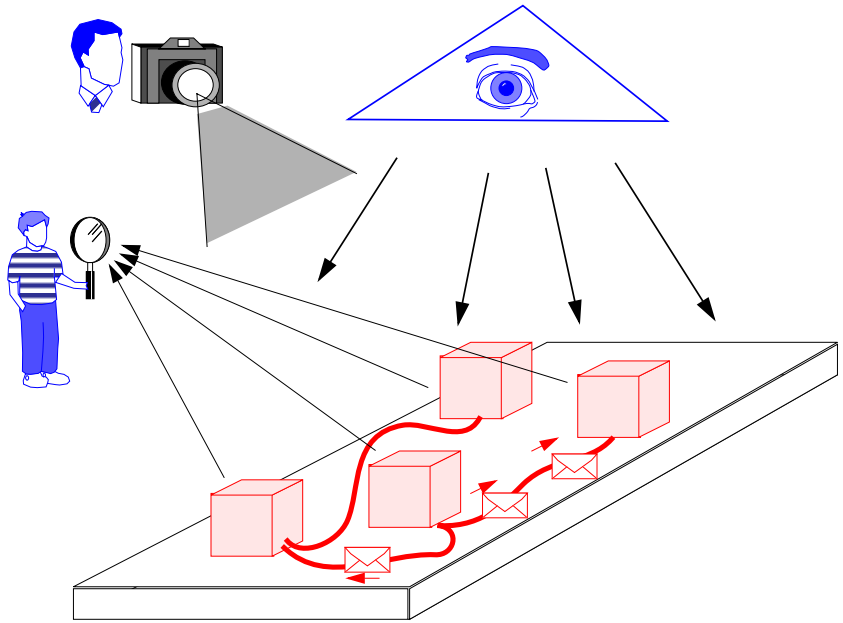
Übungen (5)

Man *vergleiche* die in der Vorlesung und den Übungen betrachteten *Wellenalgorithmen*. Dazu gehören insbesondere der Echo-Algorithmus, der Phasenalgorithmus, Finns Algorithmus, Depth-first-Traversierung (bzw. Verfahren von Tarry), Awerbuchs Verfahren, Variante von Cidon, sowie Verfahren für Graphen mit bekanntem spannendem Baum, bekanntem Hamilton'schen Zyklus und Verfahren auf Sterntopologien (bzw. auch vollständigen Graphen) mit dem Initiator als Sternmittelpunkt.

Die zu untersuchenden *Kriterien* sollen u.a. sein:
-- Nachrichtenkomplexität (worst case, average case),
-- Zeitkomplexität (worst case, average case),
-- Bitkomplexität,
-- Anwendbarkeit auf gerichtete / ungerichtete Graphen,
-- Anwendbarkeit, falls Nachrichten sich überholen können,
-- Anwendbarkeit bei anonymen Graphen,
-- Berechnung von nicht-idempotenten (assoziative, kommutativen) Operationen,
-- Kenntnis von Parametern wie Durchmesser, Nachbaridentitäten etc.

Die wichtigsten Angaben ordne man zweckmässigerweise in *Tabellenform* an. Man *diskutiere* die relativen Vor- und Nachteile. Gibt es einen besten oder schlechtesten Wellenalgorithmus? Aussagen zu den Kriterien sollten *begründet* werden, sofern sie nicht offensichtlich sind oder in der Vorlesung bewiesen wurden.

Globale Zustände, Beobachtungen, Prädikate



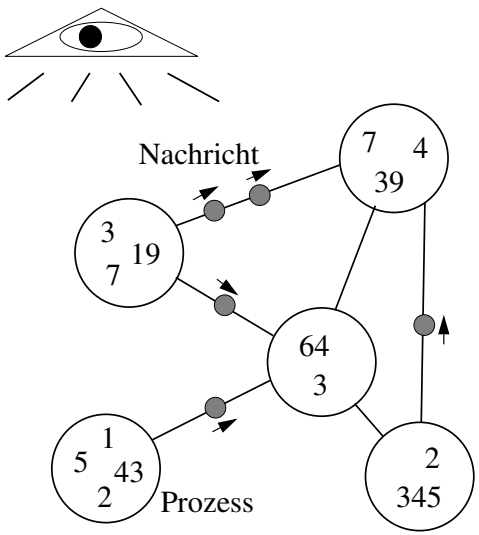
Kausal-konsistente globale Zustände

Webster:

State = a set of circumstances or attributes characterizing a person or thing <u>at a given time</u>

Gibt es "globale Zeit" in einem vert. System?

Globaler Zustand (zu einem Zeitpunkt):
Alle lokalen *Prozesszustände* +
alle *Nachrichten*, die "unterwegs" sind



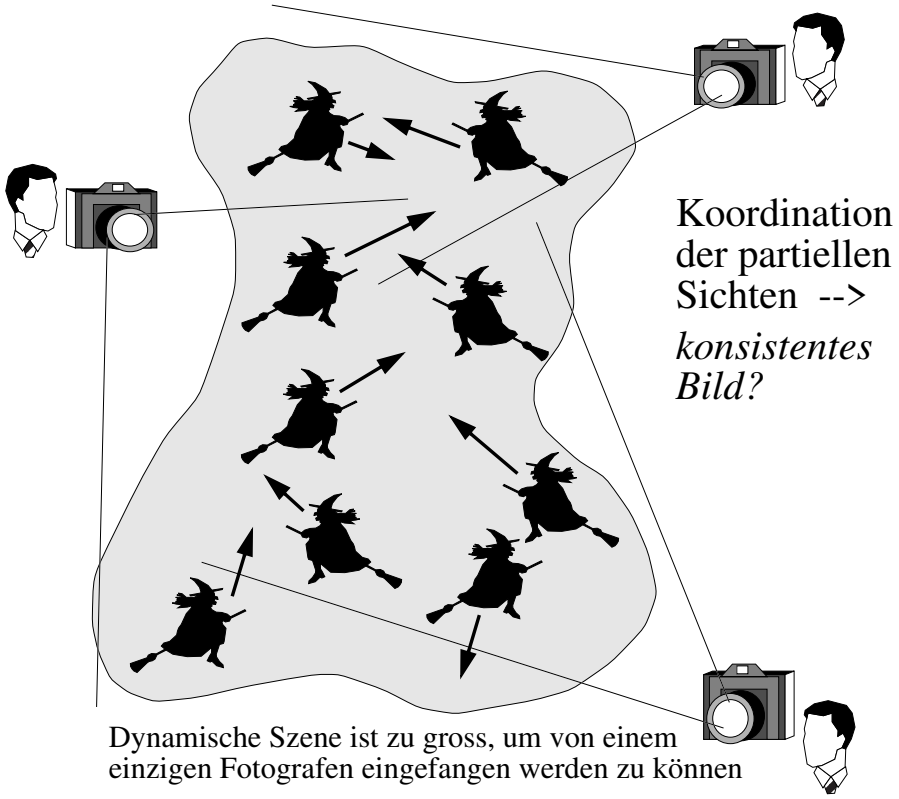
Schnappschuss

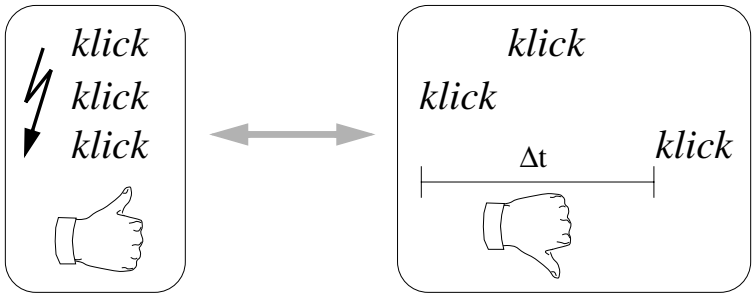
Problem:

Prozesszustände sind nur einzeln ("nacheinander") erfahrbar -->
Konsistenz?

als ob alles gleichzeitig wahrgenommen wird

Synchronisierte lokale Schnappschüsse?





Das Schnappschussproblem

Problem: "Momentaner" *Schnappschuss* des globalen Zustands, ohne das System anzuhalten

Realität:

- *Volkszählung*: Stichzeitpunkt (geht hier nicht)
- *Inventur*: Einfrieren (unpraktisch)

Anwendungen:

- konsistenter Aufsetzpunkt für vert. Datenbanken
- wie hoch ist die momentane Last?
- Testen verteilter Systeme (gilt eine globale Eigenschaft?).
- Deadlock: Existiert eine zykl. Wartebedingung?
- ist die verteilte Berechnung terminiert?
- ist ein bestimmtes Objekt "Garbage"?
- ...

} *Prädikate* über glob. Zuständen

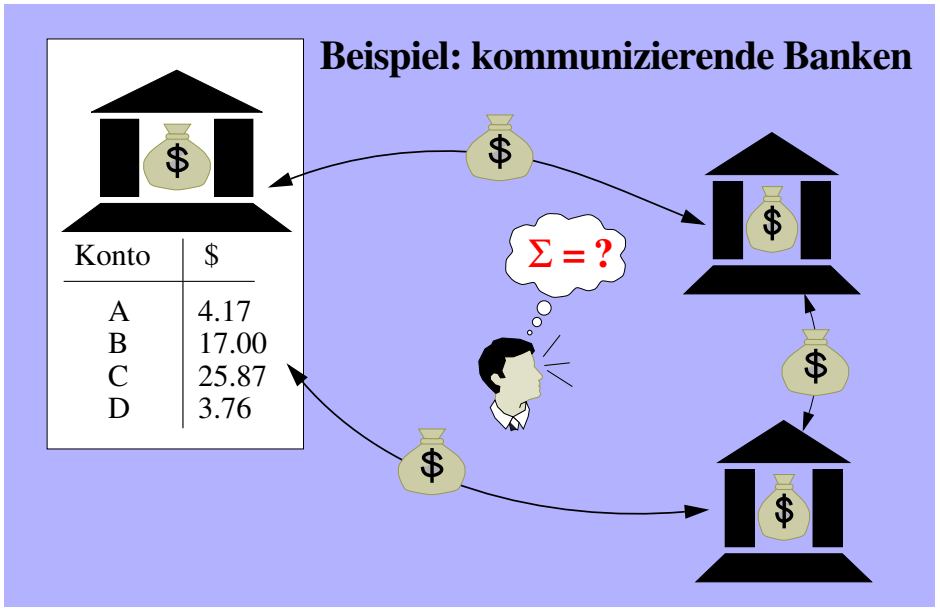
Schwierigkeiten:

- unmöglich, alle Prozesse gleichzeitig zu erwischen
- unbestimmte Nachrichtenlaufzeiten
- Nachrichten, die unterwegs sind, sieht man nicht
- ermittelter Zustand ist i.a. veraltet
- ... u.U. nie "wirklich" so gewesen
- ... u.U. inkonsistent

zumindest dies ausschliessen!

→ *Schnappschussalgorithmus*

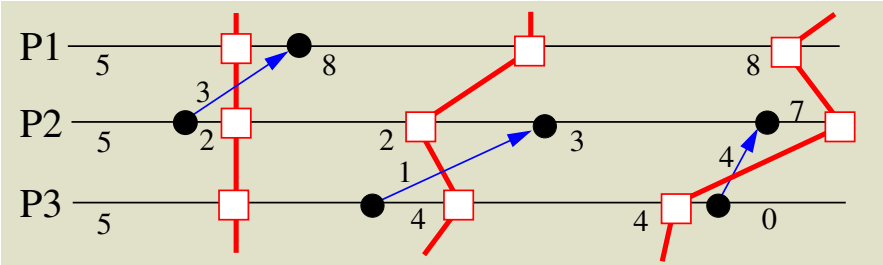
Beispiel: Kommunizierende Banken



- Modellierung:
  - ständige Transfers zwischen den Konten bzw. Banken
  - lokale atomare Aktionen: alle Geldkonten *einer* Bank können "gleichzeitig" (also atomar und damit "lokal konsistent") untersucht werden
- Wieviel Geld ist in Umlauf?
  - konstante Geldmenge, oder
  - monotone Inflation (--> untere Schranke für momentane Geldmenge)
- Erschwerte Bedingungen:
  - niemand hat eine globale Sicht
  - gemeinsame Zeit?

(In)konsistente Schnitte

Beispiel: Wieviel Geld ist in Umlauf?



idealer (senkrechter) Schnitt --> 15

konsistenter Schnitt --> 15

inkonsistenter Schnitt --> 19 (+4 ?)

Unerreichbar

Äquivalent zu senkrechtem Schnitt (lässt sich problemlos "geradebiegen")

Lässt sich nicht "geradebiegen"

manches doppelt (bzw. gar nicht) gezählt

"Gummiband-transformation"

--> verändert Metrik
--> erhält Topologie

Wie wir noch einsehen werden:

Kausaltreues Beobachten <==> konsistente Schnitte
- wie erreicht man das?

Schnappschussalgorithmen: Zweck

auch wenn der Zustand nur möglich gewesen *wäre*, aber gar nicht *wirklich* auftrat!

aber was heisst schon "wirklich"?

- Liefern *konsistenten*, *möglichen*, *vergangenen* Zustand

  - *konsistenter Zustand* = globaler Zustand entlang einer konsistenten Schnittlinie (keine Nachricht "aus der Zukunft")

  - nur über konsistenten Zuständen können *globale Prädikate* sinnvoll bestimmt werden (da diese "äquivalent" zu Zuständen entlang senkrechter Schnittlinien sind); in diesem Sinne sind solche Algorithmen wichtig!

  - ein Prädikat heisst *stabil* (oder monoton), wenn es nie wieder aufhört zu gelten, nachdem es gilt (also in allen zukünftigen Zuständen gilt); z.B. Terminierung, Garbage, Deadlock...

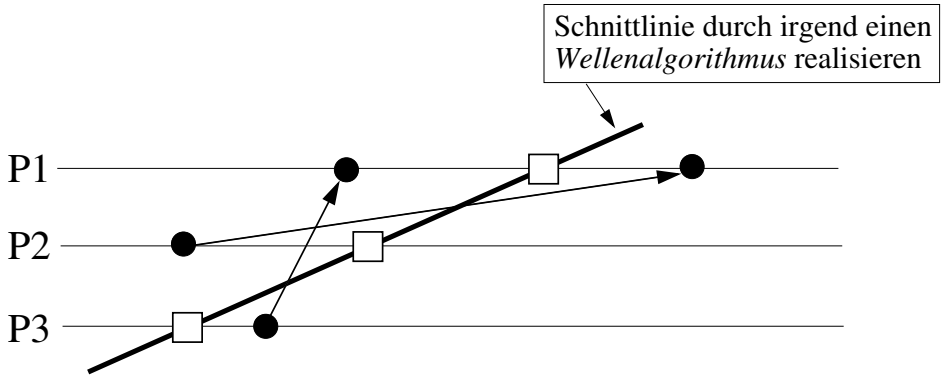
- Falls Prädikat stabil: "entdecken" dieses Prädikat (==> "stable property detection algorithm")

  - bei stabilen Prädikaten ist "möglich... vergangen" sogar brauchbar! (es gilt dann <u>jetzt</u> <u>sicherlich</u>)

  - aber wenn die betrachtete Eigenschaft nicht stabil ist, was dann?

  - wer garantiert eigentlich, dass eine Eigenschaft (wirklich) stabil ist?

Ein Schnappschussalgorithmus



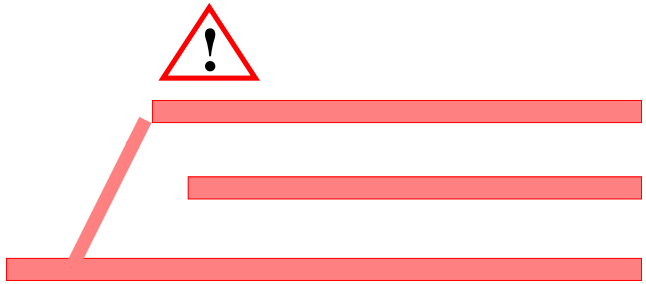
Prozesse, Nachrichten: *schwarz* oder *rot*

Schnappschussaugenblick: schwarz --> rot
(dann: lokalen Zustand dem Initiator melden)

Prozess wird rot, wenn a) Aufforderung erhalten,
b) Erhalt einer roten Nachricht

Beh.: Schnappschuss ist *konsistent*.
Bew.: Keine "Nachricht aus der Zukunft"

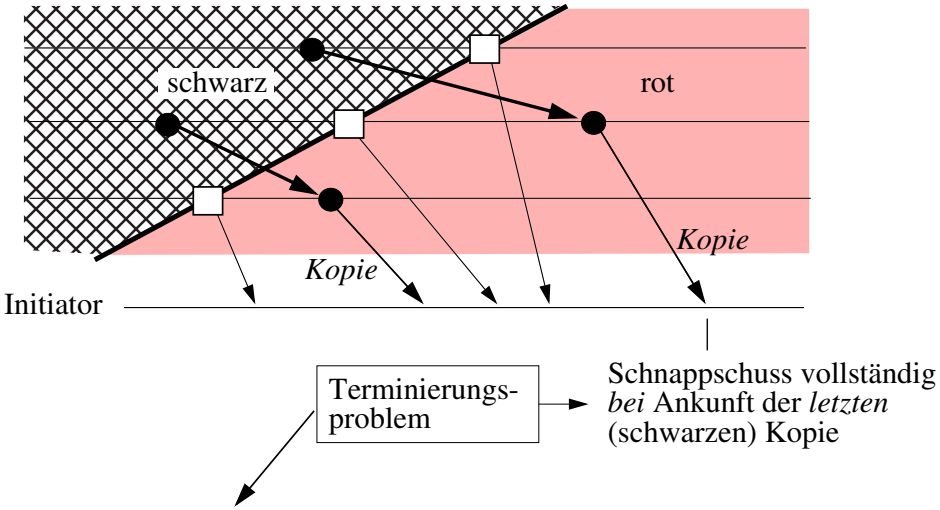
Nachrichten, die *unterwegs* sind?
- Schwarze Nachrichten, die bei rot ankommen
- Sende *Kopie* davon an Initiator
- Problem: Wann letzte Kopie dort eingetroffen?



"morgige Zeitung nicht heute lesen"

Schnappschussalgorithmus: Nachrichten

- In-Transit-Nachrichten?
  - schwarze Nachrichten, die von einem roten Prozess empfangen werden
  - Sende (bei Empfang) eine Kopie davon an den Initiator
  - Problem: Wann hat der Initiator die letzte Kopie erhalten?



- Z.B. "Defizitzähler" als Teil des konsistenten Zustands
  - zähle gesendete und empfangene schwarze Nachrichten
  - globale Differenz = Anzahl zu erwartender schwarzer Kopien
- Wellenalgorithmus als "*Basisalgorithmen*" --> unterschiedliche Schnappschussalgorithmen

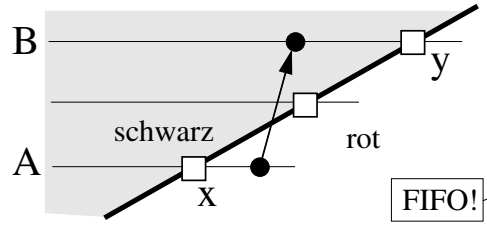
---

- FIFO-Kommunikation keine Voraussetzung
- Letzte In-transit-Nachricht abwarten
  - das kann aber lange dauern; geht es nicht auch schneller? (ja! wie?)
- "Repeated snapshot": Farben vertauschen

Der Chandy/Lamport-Algorithmus

(erster Schnappschussalgorithmus, 1985 veröffentlicht in ACM TOCS 3, 63-75)

- *Idee:* 1) Setzt FIFO-Kanäle voraus ("flushing-Prinzip")
  Marker schieben In-transit-Nachrichten aus den Kanälen heraus
  2) Flooding als zugrundeliegendes Wellenverfahren
- ¬ ∃ Nachricht aus der Zukunft ==> Schnitt ist *konsistent*
  - vgl. auch frühere Ausführungen zu "virtuell gleichzeitiges Markieren"



- bei x wird ein *Marker* von A nach B gesendet (falls A und B benachbart sind)
- Nachricht kann den Marker nicht überholen ==> nach x gesendete Nachricht kommt *nach* y an

---

- *In-transit-Nachrichten* bei FIFO-Kanälen:
  - Nach der letzten schwarzen Nachricht folgt ein Marker
  - Empfang eines Markers informiert den Empfänger, dass nun über diesen Kanal keine schwarzen Nachrichten mehr ankommen

---

- *Vorteil*: Farben müssen nicht (in Nachrichten) mitgeführt werden
- *Nachteile*:
  - bei dichten Netzen grosse Zahl von Kontrollnachrichten
  - FIFO ist notwendig
  - lokale Zustände müssen i.a. zum Initiator gebracht werden (z.B. mittels Echo-Algorithmus statt Flooding)

Der Chandy/Lamport-Algorithmus (2)

- Globaler Zustand besteht aus den *Prozesszuständen* und allen *Kanalzuständen*

- Im Unterschied zum nicht-FIFO-Fall sind Kanalzustände *Folgen* von Nachrichten, keine Mengen

  Channel State = sequence of messages sent along the channel before the sender's state is recorded, excluding the sequence of messages received along the channel before the receiver's state is recorded

Marker-Sending Rule for a Process p. For each channel *c*, incident on, and directed away from *p*:

p sends one marker along *c* after *p* records its state and before *p* sends further messages along *c*

Marker-Receiving Rule for a Process q. On receiving a marker along channel *c*:

if *q* has not recorded its state **then**
  q records its state;
  q records the state of *c* as the empty sequence
else
  q records the state of *c* as the sequence of messages received along *c* after *q*'s state was recorded and before *q* received the marker along *c*

- Wie verhält sich ein Initiator? Kann der Algorithmus "spontan" von mehreren Prozessen unabhängig voneinander initiiert werden?

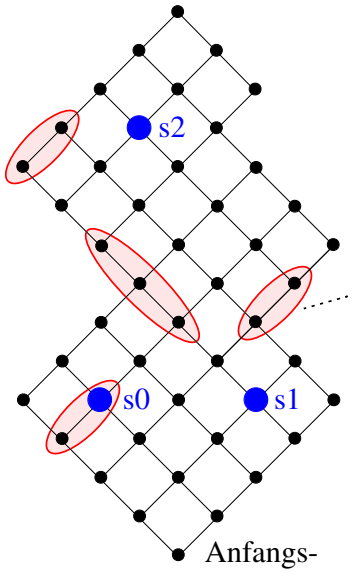
- Wieso ist im ersten Fall der Kanalzustand die leere Folge? Hat jeder so gewonnene globale Zustand einige leere Kanäle?

Türken einen Tag unter "Hausarrest" gestellt

ANKARA (dpa). Mehr als 50 Millionen Einwohner der Türkei standen gestern unter "Hausarrest". Weil die Wählerlisten für ein am 6. September anstehendes Referendum überprüft werden sollten, durfte die Bevölkerung den ganzen Tag die Wohnungen nicht verlassen. In der Volksbefragung soll über Fortdauer oder Aufhebung des seit 1980 bestehenden politischen Betätigungs-Verbots für die früheren Ministerpräsidenten Ecevit und Demirel entschieden werden. Während landesweit zehntausende von Helfern unterwegs waren, um in dem wie ausgestorben wirkenden Land die Eintragungen in die Wählerlisten in den Wohnungen der Wähler zu kontrollieren, attackierten die beiden Oppositionspolitiker die umständliche Methode der Zählung.

Eigenschaften verteilter Berechnungen mit Schnappschüssen "entdecken"?

- Ein wiederholt angewendeter Schnappschussalgorithmus könnte zuerst s1, dann s2 liefern (s2 ist "später" als s1)
  - dazwischen sind Lücken!



Menge der konsistenten Zustände der Berechnung, geordnet entsprechend der "später-Relation" (entspricht der Präfixbeziehung)

Eigenschaft sei in diesen Bereichen gültig (wird jedoch von s1 oder s2 nicht "entdeckt", allenfalls von s0)

Anfangs-zustand

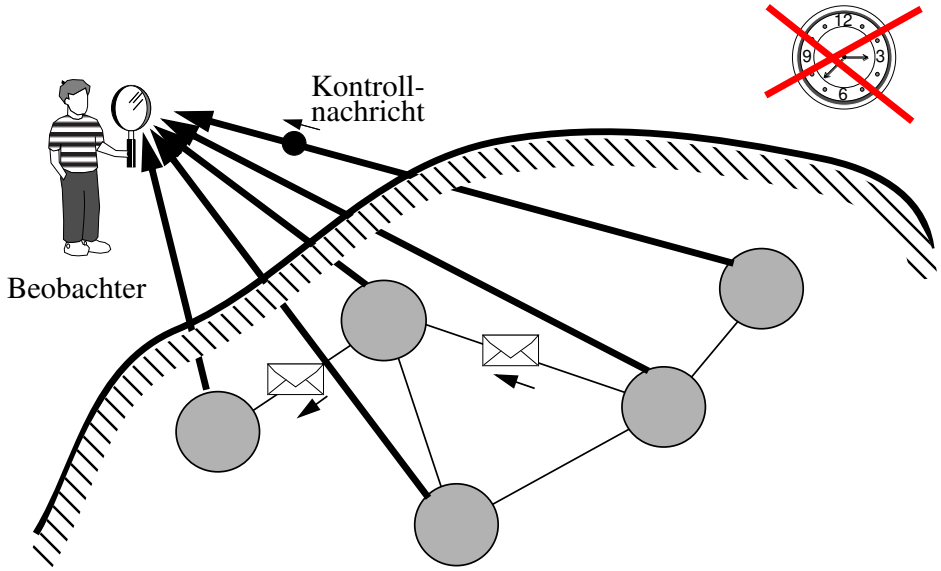
wenn dies in einem Zustand gilt, *dann* auch in allen späteren

- Sinnvoll, wenn die Eigenschaft stabil ist - aber ansonsten?
  - beachte: wir wissen nicht, ob "in Wirklichkeit" s0 oder s1 eintrat!

- Wir hätten gerne eine lückenlose "Folge" konsistenter Schnappschüsse als eine "*Beobachtung*" der Berechnung
- Allerdings sind Berechnungen nur *halbgeordnete* Mengen (konsistenter) Zustände (also keine Folgen)!

Beobachten verteilter Berechnungen

wie früher schon erwähnt...:

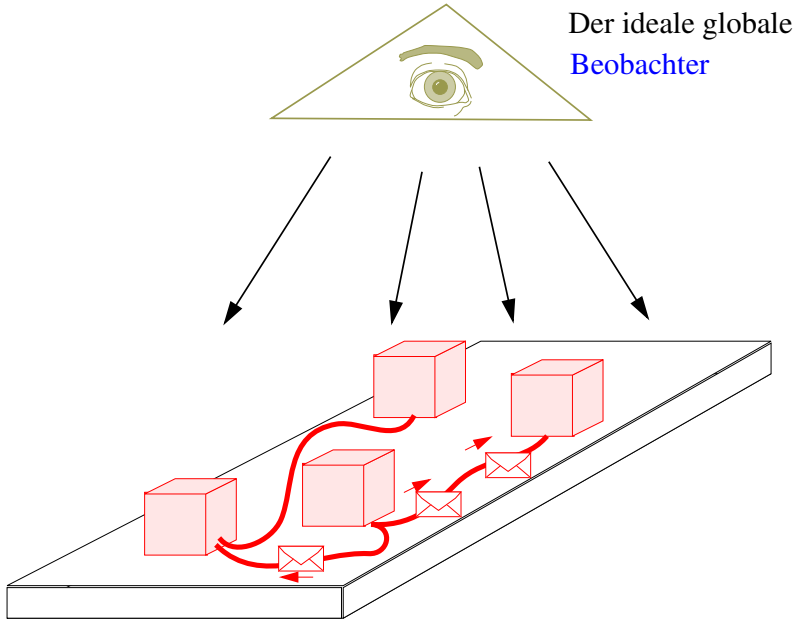


Beobachten geht nur über das Empfangen von "Kontrollnachrichten" (mit unbestimmter Laufzeit)

"Axiom": Mehrere Prozesse können "niemals" gleichzeitig beobachtet werden

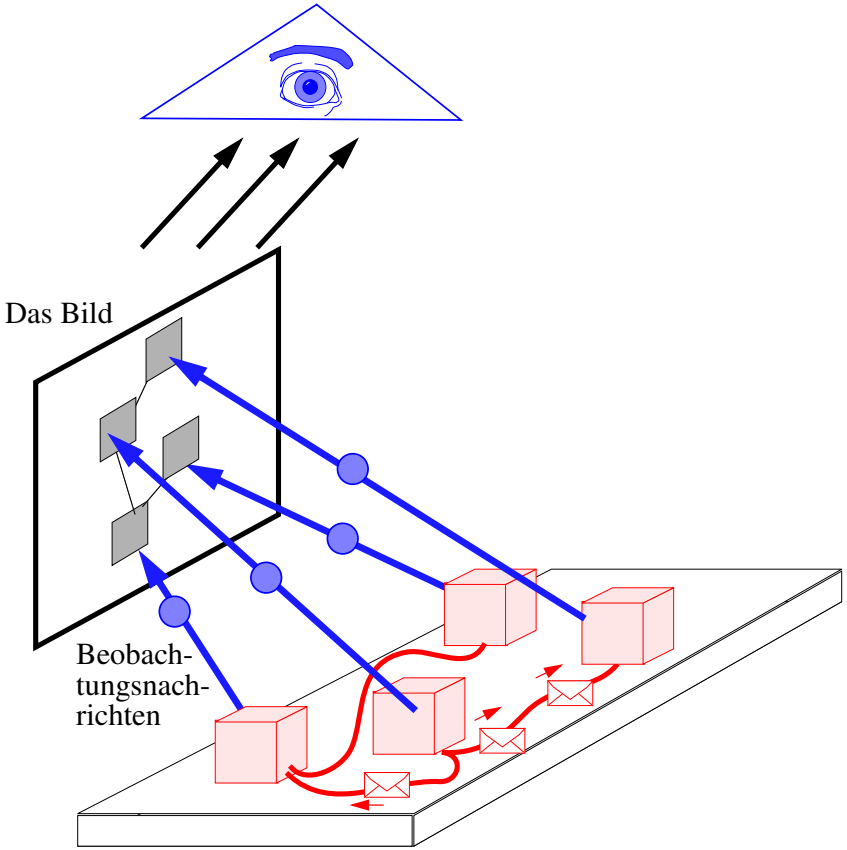
"Korollar": Aussagen über den globalen Zustand sind schwierig

Verteilte Berechnung und Beobachtung



Eine verteilte Berechnung

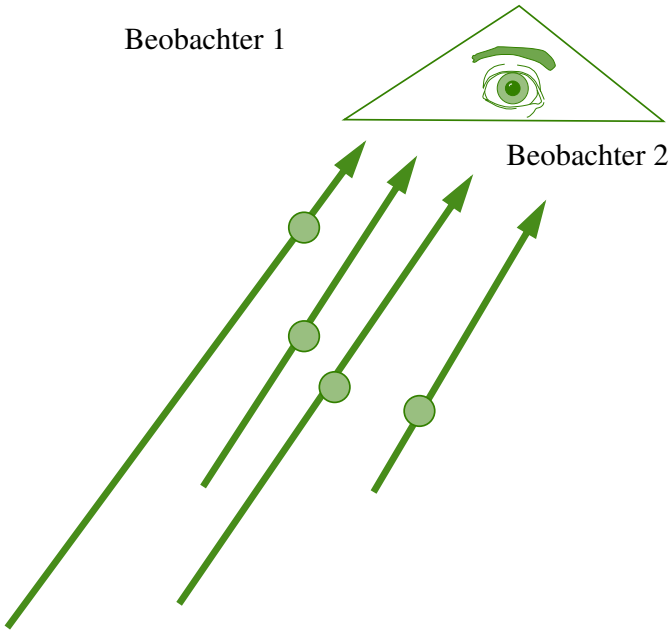
Beobachtungen...



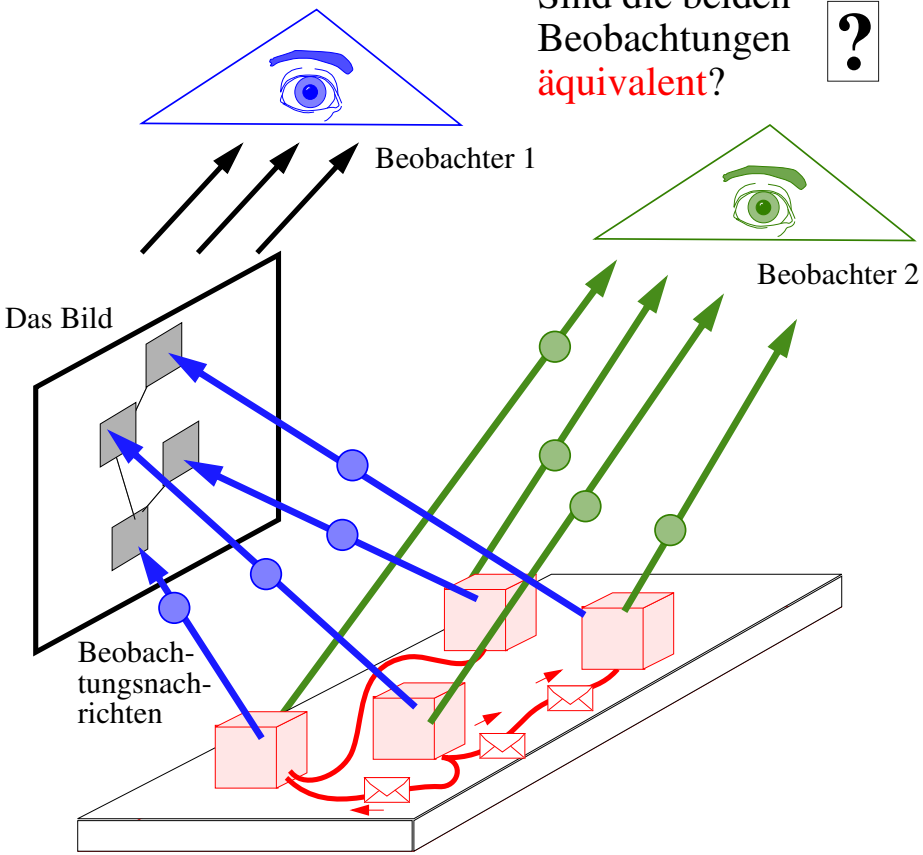
Probleme:

- Zeitverzögerung der Beobachtung
- Konsistenz des Bildes
- Verzerrung des Verhaltens ("Heisenberg'sche Unschärfe")

Sind die beiden Beobachtungen äquivalent? ?



Sind die beiden Beobachtungen äquivalent? ?



Probleme:

- Zeitverzögerung der Beobachtung
- Konsistenz des Bildes
- Verzerrung des Verhaltens ("Heisenberg'sche Unschärfe")