2. Modellbildung und Konzepte der ereignisorientierten Simulation

Ziel Modellbildung:

Erarbeitung "geordneter" Vorstellung (+ Darstellung), wie

- ein System **ist**
- ein System **sich verhält**

(sogar: "mathematisch konsistente" Darstellung dessen)

Man mache sich klar:

Sprechen wir über "ein System",
so sprechen wir in Wahrheit immer nur über
"unsere Vorstellung (Idee)
von diesem System"

Ein System "ist", wie es eben ist !
Wir sprechen darüber,
wie unser **Gedankenmodell** des Systems ist

Gedankenmodell	ist	auf Betrachtungszweck bezogen,
(conceptual model)	kann	hinreichend detailliert, hinreichend präzise, … sein (muß es aber nicht)
	kann	falsch sein !

zB "Tisch"	ist blau / reflektiert Licht der Wellenlänge x,
	hat n Beine,
	wiegt y kg

Unbewußte Annahme:

- wenn wir (bei Modellbildung) "realistischer", präziser werden wollen, glauben wir i.allg., dies durch höhere Detaillierung erreichen zu können
- muß nicht zutreffen, kann undurchführbar sein

Trotz dieser (zweckbedingten) "Freiheiten":

System ist Ansammlung von Objekten, **objects, entities**
die (direkt oder indirekt)
miteinander in Beziehung(en) stehen

Objekte besitzen Eigenschaften, **attributes**
die ihr So-Sein beschreiben
Attribute sind Deskriptoren mit spezifischem Wertevorrat,
können wechselseitig abhängig sein ("Relationen"):
- bzgl verschiedener Objekte (System!),
zB Ort
- bzgl desselben Objekts (ist wieder "Sub"-System!),
zB Masse/Gewicht

Wenn (für unseren Betrachtungszweck!)
- alle Objekte und
- alle Attribute aller Objekte

"unveränderlich" (konstant) sind,
heißt System **statisch**: Interessiert uns nicht (mehr)

Wenn (für unseren Betrachtungszweck!)
- Objektmenge "mit der Zeit" variiert und / oder
- Objekte existieren, deren Attribute "mit der Zeit" variieren,

heißt System **dynamisch**: Interessiert uns zentral

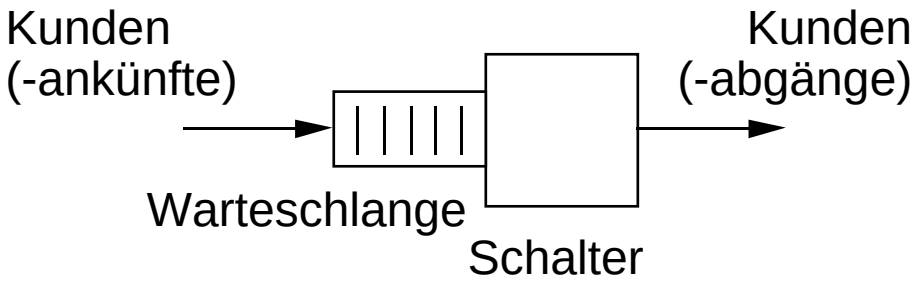
Für dynamische Systeme wird, konkreter, aus
• **Wie ist** System?
→ **Welche** Objekte existieren **wann**?
Wie sind Attributwerte **wann**?
• **Wie verhält sich** System?
→ Nach **welchen Mechanismen** ändern sich
Objektmenge / Attributwerte und
welche Wertefolgen nehmen sie (entsprechend) ein
(zB Beleidigung, Ohrfeige, Gesichtsfarbe)

Auch unter dynamischen Systemen wird uns vorrangig eingeschränkte Klasse beschäftigen:

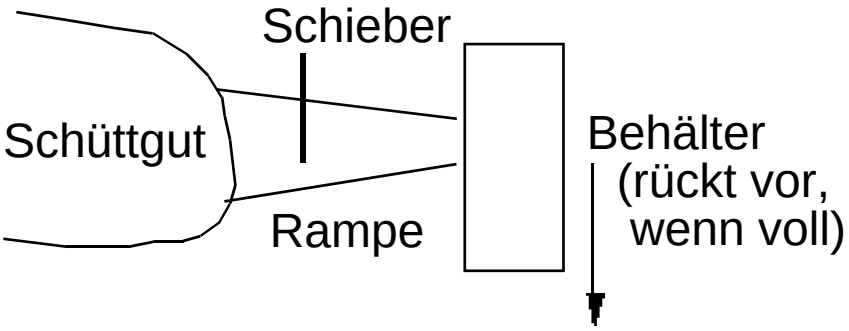
ereignisorientierte (**discrete event**) Systeme

Zur Herausarbeitung Unterschied zwei Beispiele:

a) **Bankschalter**

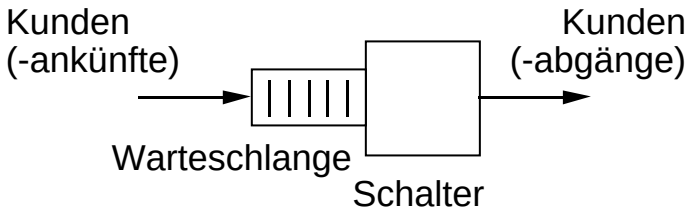


b) **Abfüllvorrichtung**



NB: hinsichtlich formaler Modell-Klassen damit die beiden "wesentlichsten" Familien berührt:
- (zeitbehaftete) Automaten
- (zeitbezogene) Differentialgleichungen

zu a)



- Objekte: Schalter,
  Warteschlange,
  (Menge von) Kunden

- Attribute: belegt / nicht belegt,
  Länge (Zahl wartender Kunden),
  (Menge von) Ankunftszeit, Bedienbedarf

- Attributänderungen:

  Bei Ankunft
  → Schalter
  → Ende Warteschlange

  Bei Abgang
  → nächster rückt vor …
  → leer …

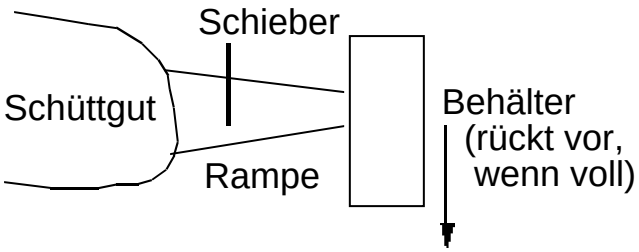
Besonderheit:

Attributwerte ändern sich diskontinuierlich,
zu **Ereignis**-Zeitpunkten

Ereigniszeitpunkte "vorhersehbar",
zB Zeitpunkte:

Abgang = Bedienanfang + Bedienbedarf

zu b)



- Objekte: Behälter,
  Schieber
- Attribute: Menge abgefülltes Gut "a"
  Schieberstellung "b"
- Attributänderungen:

"Abfüllrate"

$$a(t) = \int_{t_A}^{t} f(b)\,dt \quad t_A < t < t_B$$

$a(t_A) = 0$

$a(t_B) =$ "voll"

Definition für t_B

Fallunterscheidungen:

b1) Schieberstellung b konstant, f(b)=const:

t_B aus: $t_B = t_A + t_F$

mit t_F aus: $f(b) \cdot t_F = K$ (= Behälterkapazität)

folglich: Ereigniszeitpunkt "voll" bekannt (vorhersehbar),
und ereignisorientierte Sicht möglich
(trotz "an sich" kontinuierlicher Zustandsänderungen)

b2) Schieberstellung b nicht konstant,
aber festliegende Funktion der Zeit

$$b = g(t - t_A)$$

t_B aus: $t_B = t_A + t_F$
mit t_F aus:

$$K = \int_{t_A}^{t_B = t_A + t_F} f(b)\, dt$$

$$= \int_{t_A}^{t_B} f(\, g(t - t_A)\,)\, dt$$

erneut: Ereigniszeitpunkt "voll" vorhersehbar
und ereignisorientierte Sicht möglich

b3) Schieberstellung b nicht konstant,
durch Füllmenge "geregelt" gemäß

$$b = h(a)$$

Differentialgleichung (-System)

$$\dot{a}(t) = f(\, h(a)\,)$$

falls expliziter Lösung
(und damit expliziter Bestimmung von t_F, t_B)
nicht zugänglich,
dann ereignisorientierte Sicht nicht mehr möglich

$\Rightarrow$ kontinuierliche Attributsänderungen zu beachten,
Behandlung mit "kontinuierlicher" Simulation
(Abtasten der Zeitfunktionen "in kleinen Schritten")

Wir behandeln:

Dynamische Systeme / Modelle,

deren Objekt-Attribute
- sich (über der Zeit) **in diskontinuierlichen Sprüngen** ändern, zumindest diese Sicht zulassen (Vorstellungswelt → Gedankenmodell)
- sich **zu "Ereignis"-Zeitpunkten** ändern

deren Objekt-Menge sich (wenn überhaupt)
- zu "Ereignis"-Zeitpunkten ändert

damit insgesamt: **Ereignisorientierte Systeme / Modelle**

"Menge von Objekten + deren Attributwerte"
(zu festem Zeitpunkt t)
gibt an, wie System zum Zeitpunkt t "ist", seinen **Zustand**

"Änderungen der Objektmenge + der Werte von Attributen"
(zu Zeitpunkten von Ereignissen)
erfaßt **Zustandsänderungen**

Simulation solchen Systems heißt:

- von (gesetztem) Anfangszustand aus
- Ereignis nach Ereignis (in zeitlicher Reihenfolge), insbesondere dabei auftretende Zustandsänderungen "Schritt für Schritt" nachzuvollziehen,
- den somit "imitierten" Verlauf von Zustandsverläufen (Zustandstrajektorien) "geeignet" zu beobachten / zu notieren / zu protokollieren,
- den beobachteten Ablauf zu bewerten / zu beurteilen

Ereignisorientierte Simulation "mittels Programm":

Nachvollziehen der Zustandsänderungen
eines dynamischen Systems ("Objektsystem")
anhand
Exekution Simulationsprogramm (= "Simulator")
ebenfalls dynamischer Vorgang

Schrittweises Imitieren der Objektsystem-Dynamik impliziert
(für jeden Zeitpunkt:)
- Systemzustand kennen
- (nächste) Zustandsveränderung(en) kennen

Zustand exekutierender Simulator (imperative Sicht):
- Werte aller Programmvariablen

Nächste Zustandsveränderungen Simulator:
- Programmzeiger

Somit natürlich und naheliegend:
Abbildung
Zustandsraum Objektsystem → Datenstruktur Simulator
In Simulationsterminologie:
diesbezüglicher Teil Datenstruktur: **statische Struktur**
(Menge von "Zustandsvariablen") des Modells

Abbildungsvorgang sehr einfach (da problemnah):

Gedankenmodell strukturiert in Objekte mit Attributen

Erfassung der Attribut"gruppen" (je Objekt)
durch (Zustands-)Variablen"gruppen" (geeigneten Typs)
ist bereits (minimale) Simulator-Datenstruktur

Soweit "Zustand"
Nun "Zustandsänderungen":

Im Simulator zwangsweise
Wertveränderungen von Zustandsvariablen,
dh per (Menge von) Wertzuweisung(en),
dh per (Exekution von) Simulator-Code

Wann? "Zu Ereigniszeitpunkten" (Modellvorstellung)

Für den Entwurf des Simulators demnach erforderlich:

- Identifkation aller Ereignis-"Typen",
  wo jeder Ereignistyp durch eine spezifische Menge
  von Zustands-(Variablen-)Änderungen ausgezeichnet ist

- Programmierung eines "Stückes Code" (**Ereignisroutine**)
  für jeden Ereignistyp, das bei Exekution
  die (für diesen Ereignistyp) spezifischen
  Zustands-Variablen-Werteveränderungen durchführt
  (Imitation Attributänderungen im Objektsystem, "zeitlos")

- Organisation der (Modell-)zeitgerechten Exekution von
  Ereignisroutinen
  (Imitation Eintreten von Ereignissen im Objektsystem)
  Diskussion aufgeschoben

Insgesamt bis jetzt:

- Abbildung Zustand → (Zustands-)Datenstruktur,
  statische Struktur

- Abbildung Zustandsänderungen → Ereignisroutinen,
  temporale Struktur

Beispiel 2.1: "Bankschalter",
in simulativem Modell zu fassen

Mentales Modell ist "ohne viel Nachdenken" greifbar:

- hinter Bankschalter Angestellter,
  kann diverse Tätigkeiten verrichten

Unmittelbares Bedürfnis nach Präzisierung:

  - genau ein Angestellter,
  - verrichtet eine Tätigkeit nach der anderen
    jeweils vollständig,
  - geht nicht weg, solange er etwas zu tun hat,
  - legt auch keine sonstigen Pausen ein

- vor dem Bankschalter "Publikumsverkehr"

Präzisierung:

  - Kunden treffen einzeln am Schalter ein,
  - stellen sich "hinten" an, wenn sie warten müssen,
  - rücken "diszipliniert" vor,
  - haben bestimmten "Auftrag" im Sinn,
  - gehen erst weg, wenn ihr Auftrag erfüllt ist

NB: Es handelt sich um nichts anderes als um eine "freundliche" Verkleidung des (Ihnen vielleicht wohlbekannten) "FCFS-single-servers"

Statische Struktur? Beispielsweise wie folgt

Objekte:	**Attribute:**
(mehrere Exemplare von:)	(je Kunden-Exemplar:)
•Kunde	- Identifikation: ID, Wertemenge NAMEN, beliebig codiert - Auftrag: TASK, Wertemenge AUFTRAGSARTEN, beliebig codiert - Warteposition: P, Wertemenge "dran" POSITIONEN, Codierungsvorschlag: P {0} {1,2,...}
(genau ein Schalter, strukturiert in:)	
•Bedienplatz	- Tätigkeit: B, Wertemenge "untätig" AUFTRAGSARTEN (s. oben) - Bedienter: K, Wertemenge "keiner" NAMEN (s. oben)
•Warteschlange	- Füllungsgrad: N {0,1,2,...} - Warteliste: WS, Liste der Länge N aus (zB) Kunden ID's (s. oben), in Ankunftsreihenfolge sortiert

Bemerke:
Vieles "doppelt gemoppelt",
Zustandsraum sehr redundant
und von einem "minimalen" weit entfernt

Temporale Struktur?

Zustandswechsel erfolgen genau anläßlich

- des Eintreffens eines Kunden (Ankunft),
- des Endes der Bedienung eines Kunden (Bedienende)

Also genau zwei Ereignistypen existent
und zugehörige Ereignisroutinen gefragt

Wir müssen

auf der Basis der gewählten statischen Struktur

notieren:

Ereignistypen: **Ereignisroutinen:**

•Ankunft:
(eines bestimmten Kunden)

```
{Notiere Attribute,
 dh ID- und TASK-Werte,
 dieses Kunden};
IF B="untätig"
THEN BEGIN
        P{-Attribut dieses Kunden}:=0
                                {für "dran"};
        B:=TASK {dieses Kunden};
        K:=ID {dieses Kunden}
        END
ELSE BEGIN
        N:=N+1;
        P{-Attribut dieses Kunden}:=N;
        {Verlängere Liste WS
         hinten um einen Eintrag,
         ID dieses Kunden}
        END
```

•Bedienende:
(eines bestimmten Kunden)

```
{Lösche alles von jenem Kunden,
 dessen ID=K};
IF N=0 {keine Wartenden}
THEN BEGIN
        B:= "untätig";
        K:= "keiner"
        END
ELSE BEGIN
        B:=TASK {des vordersten
                          in WS};
        K:=ID {des vordersten in WS};
        {Lösche vordersten
                          WS-Eintrag};
        N:=N-1
        {noch was?}
        END
```

Sie bemerken:

- doch komplexer als erwartet
- Grund: unsere "selbstverschuldete" Wahl der statischen Struktur

Lerneffekt?

Zwar: Unser Verständnis von einem zu analysierenden / zu modellierenden System, unser mentales Modell, befähigt uns unmittelbar, statische und temporale Struktur eines zugehörigen ereignisorientierten Simulators zu notieren

Aber: Unbedachtes Vorgehen dabei hat seinen Preis:
- uU redundanter Zustandsraum,
- der komplexe (und irrtumsanfällige!) Ereignisroutinen nach sich zieht.

Dies ganz prinzipiell:

Redundanz heißt
- wechselseitige (nicht zwingend erforderliche) Abhängigkeit von Zustandsgrößen
- bestimmte Relationen über Zustandsgrößen müssen aufrechterhalten werden
- Veränderung einer Zustandsgröße zwingt zur Veränderung von anderen

Einer der diesbezüglichen Fälle aus dem Beispiel:
Die ID des Kunden, dessen P "dran" signalisiert, muß in K des Bedienplatzes notiert sein.

Wir haben festgelegt
- statische Struktur (Zustandsraum)
- temporale Struktur (Zustandsübergangsregeln)

eines ereignisorientierten Simulators

Aufgeschoben war
- Stattfinden / Eintreten von Ereignissen zu Zeitpunkten (im ablaufenden Programm "Simulator")

Bei "Erfindung" programmtechnischen Mechanismus'
ist "Ereignisorientiertheit" des Modells zentrale Stütze:

- Zustandsänderungen finden statt zu Ereigniszeitpunkten,
  zwischen aufeinanderfolgenden Ereignissen
  bleibt Zustand unverändert
  (programmtechnisch: nichts "am Zustand" zu tun)

- zwischen aufeinanderfolgenden Ereignissen
  verstreicht "Zeit"
  (programmtechnisch: nachzuvollziehen)

- da Zeitintervalle zwischen Ereignissen geschehnislos,

  kann "**Zeitablauf**" modelliert werden als
  diskontinuierlicher Vorgang, der unmittelbar
  von einem E.-Zeitpunkt auf den folgenden "springt"
  (programmtechnisch: Zuweisungen an globale Variable
  t := "momentane Zeit"
  der Reihe nach, zu Ereignis-Zeitpunkten)

Verschiedenene Implementierungen dieses Prinzips möglich

Einfachste: Realisierung eines "Kalenders",
einer Liste aus Einträgen darüber,
wann welches Ereignis eintritt,
einer sog. **Ereignisliste**

(Ereignis-)

Zeitpunkte	t_1	t_2	t_3	...	...
Typen	tp_1	tp_2	tp_3	...	

Abbildung 2.2: Ereignisliste;
t_i, i=1,2,..., monoton nichtfallend

Zusätzlich nötig: "**zentrale Simulatorschleife**"
welche eine globale Variable Zeitvariable "t"

- der Reihe nach auf die Werte t_i setzt
- und anschließend in die
  gemäß tp_i "zugehörige" Ereignisroutine verzweigt

```
…
WHILE {Simulator läuft}
DO BEGIN
    {lies "vordersten" (Abb. 2.2: "ganz linken")
     Eintrag der Ereignisliste, Werte seien: tx, tpx};
    t:=tx; {"momentane Zeit" t "springt auf" tx}
    {verzweige zu Ereignisroutine,
     die durch tpx gekennzeichnet ist,
     Annahme:   Ereignisroutine gibt nach Ablauf
                Kontrolle hierher zurück};
    {lösche "vordersten" Eintrag der Ereignisliste}
    END;
…
```

Abbildung 2.3: Zentrale Simulatorschleife

Insgesamt:

- "Zeitablauf" simuliert
  durch diskontinuierliches "Vorrücken" der Variablen t

- Zustandsveränderungen ("Trajektorie") simuliert
  durch Exekutieren (zu allen Ereigniszeitpunkten)
  der jeweils zugehörige Ereignisroutine

Quelle von häufigen Mißverständnissen ist
Reihe verschiedener Zeitbegriffe

Objektzeit, jene Zeit, in der (zumindest hypothetisch)
der Betrieb eines realen Systems abläuft

Modell- oder **Simulationszeit**, jene Zeit,
die im Programm "Simulator" manipuliert wird
(indem Zeitvariable t gesetzt wird);
Modellzeit imitiert Objektzeit,
ist also "identisch" zu ihr
(bis auf Translationen, etwa: "Start bei 0")

Realzeit des exekutierenden Simulatorprogramms
(das ja in realem Zeitintervall abläuft),
nur der Vollständigkeit halber, hier belanglos

Ausführungszeit (des exekutierenden Simulatorprogramms)
jene Zeit, welche (exekutierende) CPU benötigt;
diese **CPU-Zeit** ist interessant,
da Ressourcenbedarf zu bedenken:
Simulatoren sind notorische "Langläufer",
ihre "Effizienz"
(wieviel Modellzeit in wieviel CPU-Zeit)
ist regelmäßiges Problem

Zwischen den beiden als interessant verbliebenen

Modellzeit , CPU-Zeit

besteht (auf den ersten Blick) verwirrender Zusammenhang:

Modellzeit verstreicht "zwischen" Ereigniszeitpunkten;
Im Simulator von E.-zeitpunkt zu E.-zeitpunkt "gesprungen",
keine Code-Ausführung, kein CPU-Zeitverbrauch

Zustandsübergänge geschehen anläßlich
Eintreten von Ereignissen "spontan", in "0"-Modellzeit;
Vollzug der Ereignisübergänge im Simulator per
Programmcode-Durchlaufen (Ereignisroutinen),
Verbrauch CPU-Zeit

Kurz: Endliche Modellzeitintervalle (zwischen Ereignissen)
werden in verschwindender CPU-Zeit nachvollzogen,
verschwindende Modellzeitintervalle
(zu Ereigniszeitpunkten) in endlicher CPU-Zeit

Aus dieser Klärung unmittelbar praktisch Verwertbares:

Exekutionszeit Simulator (CPU-Zeit)
- von Anzahl simulierter Ereignisse bestimmt
- nicht direkt von überstrichener Modellzeit
  (= nachzubildender Objektzeit)

Erhöhung Simulationseffizienz
(zB: Modellzeit / CPU-Zeit)
muß, wo erforderlich, an Ereigniszahlen ansetzen
damit am Abstraktionsniveau unseres mentalen Modells

Im allgemeinen gilt:
höheres Abstraktionsniveau → weniger Ereignisse

Wir wissen:
Technischer Ablauf einer ereignisorientierten Simulation organisierbar auf Basis "gefüllter" Ereignisliste

Wie kommen Ereigniseinträge "dorthin"?

Vor Ablauf der eigentlichen Simulation eintragen?
In sich widersprüchlich:
Wenn alle Ereignisse (Zeitpunkt + Typ) bekannt,
dann Simulieren nicht erforderlich,
Ereignislisten und Trajektorien aufeinander abbildbare Darstellungen des System-"Verhaltens";
eventuell "Bewerten", aber nicht mehr "Simulieren"

Bleibt: Ereignisliste **während** Simulation füllen
Wie das?

- Wenn Betrieb realen Systems schrittweise simuliert,
  wird (über mentales Modell) immer wieder
  "ein Stückchen Zukunft" sichtbar

  zB Bankschalter Bsp. 2.1
  Sicherlich zu spezifizieren:

  Wann erfolgen Kundenankünfte?
  - Angenommen, deterministisch (genau) alle 5 min
    wir wissen anläßlich Ankunft (Ereignis),
    daß 5 min später wieder Ankunft (Ereignis)
  - Angenommen, stochastisch mit u.i.v. Abstands-ZV A_i
    ("u.i.v.": **u**nabhängig **i**dentisch **v**erteilt,
    gemäß **Z**ufalls-**V**ariable A)
    wir können anläßlich Ankunft Realisierung
    a von A "beschaffen", t+a ist wieder Ankunft

  Ähnlich: Schließen von Bedienbeginn auf Bedienende

- Wenn "Stückchen Zukunft" sichtbar, dann "vormerken";
  technisch, indem
  Eintrag (Ereigniszeitpunkt,Ereignistyp) → Ereignisliste
  → Ein**sortieren**

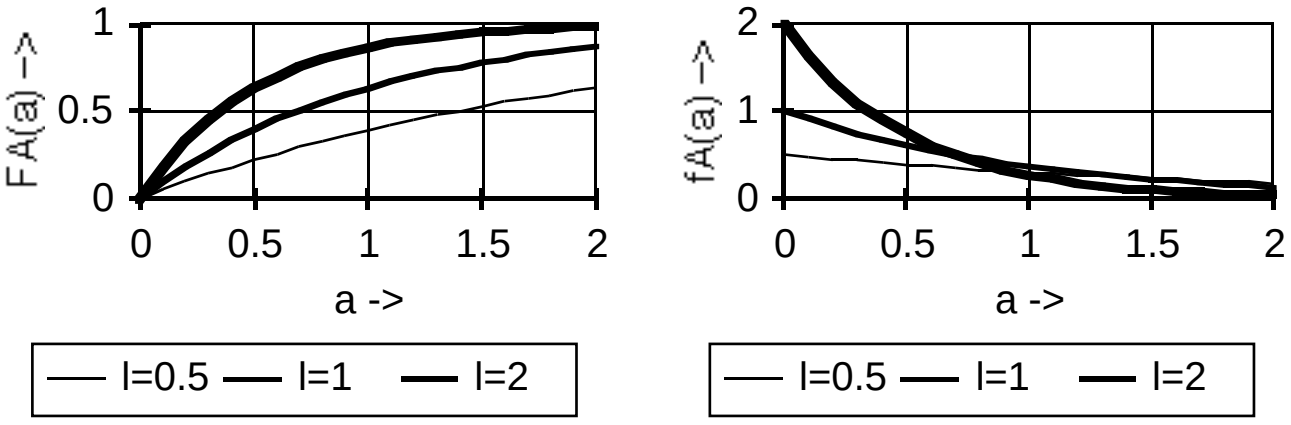
- Wo (im Simulatorcode) steht "Vormerk"-Operation?
  Einzige Möglichkeit: in den Ereignisroutinen!
  - werden "anläßlich" eines Ereignisses durchlaufen,
  - bei ihrer Codierung Kenntnisse vorhanden
    über neu aufscheinendes "Stückchen Zukunft"

  E.-Routinen erhalten damit **zweite** wesentliche **Aufgabe**:
  (neben der Veränderung Modellzustand)
  Planung der Modellzukunft vornehmen

Beispiel 2.4: Bankschalter aus Bsp. 2.1,
in abstrahierter Form (zusätzliche Annahmen)
"M/M/1-FCFS-System":
u.i.v., exponentielle Ankunftsabstände (erstes "M"),
gemäß Zufallsvariable A, Parameter λ,
u.i.v., exponentielle Bedienzeiten (zweites "M"),
gemäß Zufallsvariable S, Parameter μ
First-Come-First-Served Bedienstrategie: "FCFS"

Skizze 2.5: Exponentialverteilung, Parameter l

Verteilungsfunktion Verteilungdichte



Statische Struktur:

Diesmal Wahl minimalen Zustandsraums
"Zahl Anwesender"
(unter Nutzung analytischer Kenntnisse: hinreichend)

Objekte: **Attribute:**

• Wartesystem - Füllungsgrad:
n $\mathbf{N}_0$
(zählt Anwesende incl. Bedientem)

Temporale Struktur:

Ereignistypen: **Ereignisroutinen:**

• Ankunft:

```
n:=n+1;
{sortiere Ereignis (Ankunft,t+a)
  in Ereignisliste ein;
  t ist gegenwärtiger Zeitpunkt,
  a ist Realisierung der
  exponentiell, mit Parameter λ,
  verteilten Zwischenankunfts-ZV A};
IF n=1 {"vorher" war Wartesystem leer}
THEN BEGIN
    {sortiere Ereignis (Bedienende,t+s)
      in Ereignisliste ein; t ist "jetzt",
      s ist Realisierung der
      exponentiell, mit Parameter μ,
      verteilten Bedienzeit-ZV S}
END
```

• Bedienende:

```
n:=n-1;
IF n>0 {System ist nicht leer}
THEN
    {sortiere Ereignis (Bedienende, t+s)
      in Ereignisliste ein}
```

Bemerke: Dank wohlüberlegten Zustandsraums
(keinerlei Redundanz)
sind Manipulationen des Zustands einfach;
Zukunftsplanung nimmt
vergleichsweise großen Raum ein.

Vereinbarung zur **Schreiberleichterung**:

- Einsortieren Ereignis des Typs "type" zum Zeitpunkt "time" in die Ereignisliste mittels Anweisung

  PLAN(type,time)

- "Ziehen" einer ZV-Realisierung "wert"
  einer ZV mit Verteilung "verteilungskennung"
  und etwa nötigen Parametern "parameterliste" mittels

  wert:= DRAW(verteilungskennung(parameterliste))

Ereignisroutine "Bedienende" des Bsp. 2.4 damit:

```
n:=n-1;
IF n>0
THEN PLAN(Bedienende,t+DRAW(negexp(μ)))
```

Prinzipien ereignisorientierte Simulation damit fast fertig.
Zwei wesentliche "Kleinigkeiten" noch:

Wie fängt Simulation an?
Und wie hört sie auf?

Wir erfinden schnell ein Stück Code
Simulationshauptroutine
die bei "Start" begonnen wird zu exekutieren; im Beispiel

```
BEGIN
    t:=0 {Modellzeit startet bei 0);
    PLAN(Ankunft,DRAW(negexp(λ)))
            {eine erste Ankunft wird festgelegt};
    {sorge für Simulationsabbruch, vgl. unten}
    {zentrale Simulatorschleife der Abb. 2.3};
    {nochwas?}
END
```

"sorge für Simulationsabbruch" in Zusammenhang mit

```
WHILE {Simulator läuft}  (zentrale Simulatorschleife)
```

zu codieren - dem Sinn nach zB "bis Modellzeit > Grenze"
- es gibt andere Möglichkeiten dafür

Letzte Bemerkungen:

Bis jetzt läuft Simulator "spurlos" ab, da
keinerlei Beobachtungen aufgezeichnet

Aber "Meßstellen" für **Aufzeichnungen** (völlig natürlich)
in den Ereignisroutinen vorhanden
(**dritte Aufgabe** für Ereignisroutinen)
Zusammenfassung, Bewertung der Aufzeichnungen,
falls unmittelbar benötigt,
im "nochwas" der Simulationshauptroutine