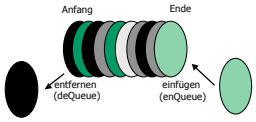
Queue

- deutsch: Warteschlange, Puffer
- abstrakte Datenstruktur, Container-Datentyp
- Elemente können einfügt und wieder entfernt werden
- direkter Zugriff nur auf das zuerst eingefügte (*least recently added*) Element (daher: FIFO = *first in first out*)



Operationen

- **enqueue** Füge ein neues Objekt in die Warteschlange ein.
- **dequeue** Lösche und gebe aus das Objekt, das zuerst eingefügt wurde.
- **isEmpty** Ist die Warteschlange leer?

```
q = Queue()
q.enqueue("This")
q.enqueue("is")
q.enqueue("a")
print q.remove()
q.enqueue("test.")
while not q.isEmpty() :
    print q.dequeue()
```

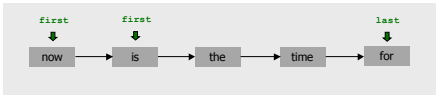
A simple queue client

Implementierung als verkette Liste

- **enqueue**


```
x = List();
x.item = "fox";
last.next = x;
last = x;
```

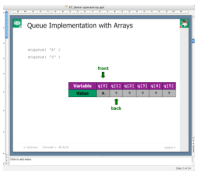

- **dequeue**

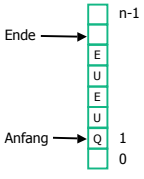



```
val = first.item;
first = first.next;
return val;
```

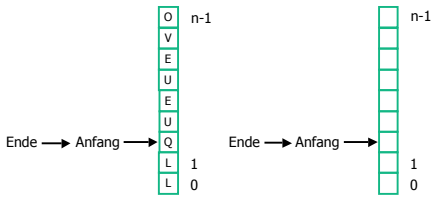

Implementierung mit Array

- begrenzter Speicherplatz: Array mit n Elementen
- zwei Zeiger: auf Anfang und Ende
- zyklischer Zugriff auf Elemente
  - erreicht ein Zeiger beim Inkrementieren den Wert n, wird er auf 0 zurückgesetzt





- **Anfang == Ende** → entweder ist Queue voll, oder leer



Implementierung in Python mit Liste

```
class Queue :
   def __init__( self ):
       self.first = self.last = None
   class List:              # nested class
      item = None           # satellite data
      next = None           # "pointer"
   def isEmpty(self):       # Methode in Queue
      return first == None
   def enqueue(self, item):
      x = List()
      x.item = item
      x.next = None
      if self.isEmpty():
         self.first = x
      else:
         self.last.next = x
      self.last = x
   def dequeue(self):
      val = self.first.item
      self.first = self.first.next  # unlink first item
      return val
```


- Bemerkung: Die Queue muß nicht homogen sein! (im Gegensatz zu den einfachen, analogen Implementierungen in Java/C++)
  - Da schon Liste (und Array) nicht homogen sein müssen
- Frage: stimmt **`dequeue()`** auch für den Fall, daß Liste genau 1 Element enthält ?
- Generelle Regel für Datenstrukturen-Entwurf: checke die "Ausnahmen"!! (Randfälle, *boundary cases*)
  - Stimmt die Funktion für den Fall, daß 0 oder 1 Element vorhanden ist?
  - Was passiert, wenn Cursor am Ende oder auf None steht?
  - ...

Anwendungen (nur Beispiele)

- In Programmen: alle Arten von Daten-Puffern
  - Dispensing requests on a shared resource (printer, processor)
  - Asynchronous data transfer (file IO, pipes, sockets)
    - man kann mehrere Elemente auf einen Schlag hinzufügen (z.B. Teil einer Datei von Festplatte)
    - danach kann man einzeln auf die Elemente zugreifen
  - Data buffers (MP3 player, portable CD player, Tastatur)
- Simulation
  - von Fertigungsprozessen: Objekte auf Förderbändern verhalten sich wie in einer Warteschlange
  - Wartezeiten bei McDonalds oder Call-Center, oder Verkehr vor Tunnel, oder ...

Exkurs: Poisson-Prozeß

- In der Natur viele Prozesse mit folgenden Eigenschaften:
  - Zeitpunkt des Ereignisse zufällig und unabhängig voneinander, z.B:
    - Radioaktives Material
    - Kunden kommen an Warteschlange an
    - HTML-Request an einem WWW-Server
    - Unfälle an einer Kreuzung
- Zugrunde liegende Annahme:
  - Seien T_i der Zeitpunkt des i-ten Ereignisses, seien $X_i = T_i - T_{i-1}$ die "Zwischenzeiten" (*inter-arrival times*)
  - Der Prozeß verhält sich nach dem k-ten Ereignis (für beliebiges k) genau wie am Anfang
  - Die X_i müssen alle identisch und unabhängig voneinander verteilt sein (i.i.d = *independent and identically distributed*)

Verteilung der Inter-Arrival Times

- Fundamentale Annahme: der Prozeß ist "gedächtnislos", d.h.,
  - Falls Ereignis noch nicht nach Zeitraum s eingetreten, dann ist Wahrscheinlichkeit dafür, daß Ereignis bis Zeit $s+t$ eintritt genauso hoch wie W.keit, daß Ereignis bis Zeit t eintritt

$$\forall s, t > 0 : P[X > t + s \mid X > s] = P[X > t]$$

- Man kann zeigen (o.Bew.):

$$P[X > t + s] = P[X > t] \cdot P[X > s]$$

- Die einzige Funktion, die diesen Prozeß beschreiben kann, ist

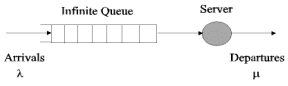
$$P[X > t] = e^{-rt}, \quad t \geq 0$$

  wobei r eine Skalierung ist.
- Die Zeit X zwischen zwei Ereignissen gehorcht dieser Dichtefunktion

$$f(t) = P[X = t] = re^{-rt}, \quad t \geq 0$$

M/M/1 Queuing Model

- Customers arrive at rate of λ per minute.
- Customers are serviced at rate of μ per minute.
- Use *Poisson process* to model arrivals and departures.
- Wichtigstes Warteschlangenmodell



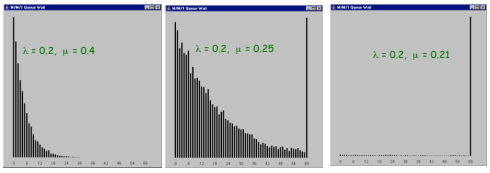
- How long does a customer wait in queue?

M/M/1 Queue: Implementation

```
while true :
    if nextArrival < nextDeparture :                    arrival
        customer = Customer()
        customer.arrive( nextArrival )
        q.enqueue( customer )          amount of time until next arrival
        nextArrival += exponential( lambda )
    else :
        if not q.isEmpty() :                            departure
            hist.addDataPoint( math.min(60, q.length()) )
            customer = q.dequeue()
            customer.depart( nextDeparture )
            nextDeparture += exponential(mu)
                                amount of time until next departure
```


M/M/1 Queue Analysis

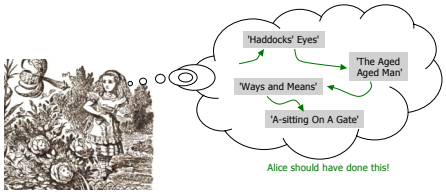
Wenn Abarbeitungsrate gegen Ankunftrate geht, warten immer mehr Kunden ≥60 Min., d.h., die Queue explodiert immer häufiger



("As service rate approaches arrival rate, service goes to h***.")

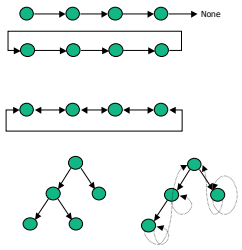
Folgerung

- *Sequential allocation*: unterstützt Indizierung, feste Größe.
- *Linked allocation*: variable Größe, unterstützt sequentiellen Zugriff.
- Verkettete Strukturen sind eine zentrale Datenstruktur und -abstraktion.



Vergleich von Varianten verketteter Strukturen

- Linked list.
- Circular linked list.
- Doubly linked list.
- Binary tree.
- Patricia tries.



- Stacks und Warteschlangen sind fundamentale ADTs.
  - Implementation als Verkettete Liste.
  - Arrayimplementation.
  - Verschiedene Performanceeigenschaften.
- Viele Anwendungen.
  - Taschenrechner.
  - Drucker und PostScript language.
  - Arithmetische Ausdrücke.
  - Funktionimplementation im Compiler.
  - Web browsing.
  - . . .