# Beholdere og generiske klasser

IN1010 uke 6

Onsdag 19. februar 2020

# Beholdere og generiske klasser - I

- Hvorfor og hvordan velge og bruke beholdere?
- Java Collections Framework
- Implementere interface og klasser for egne beholdere
- Nye Java mekanismer
  - Klasseparametere (typeparametere) og generiske klasser
  - Indre klasser
  - Egne Exceptions: Deklarasjon, opprettelse og behandling
- Interface Liste
  - Implementert med array som datastruktur
  - Implementert med lenkeliste som datastruktur

# Mer detaljer - i tillegg til Java 8 docs

- Array-er, ArrayList og HashMap (Big Java 6.1 & 6.8)
- Java Collections Framework (Big Java 15.1)
- Klasser med typeparametre - «generiske klasser» (Notatet «Enkle generiske klasser» og Big Java 18)

- Lage vår egen ArrayList (Big Java 16.2)
- Lenkelister (Big Java 15.2)

(Dagens forelesning dekker det meste av oblig 3. Neste uke gir litt mer input på oppgave C og spesielt D).

# Hva er en beholder?
## (collection/ container)

Java doc: A *collection* is an object that represents a group of objects

=> Et verktøy for å lagre/ organisere elementer av "samme" type

1. Espen
2. Per
3. Paal

- Kjent/ ukjent / variabelt antall
- Legge til, hente ut, finne antall/ størrelse
- Ulike måter å legge til/ hente ut
- Tilleggs-operasjoner
- Ulike måter å representere på – har betydning for plass- og tidsbruk

# Beholdere i ulike språk

- Alle høynivåspråk tilbyr verktøy som
  - kan lagre en samling av elementer
  - utføre operasjoner på denne samlingen

- Dere kjenner lister, mengder og ordbøker fra Python - Array, ArrayList og HashMap fra Java

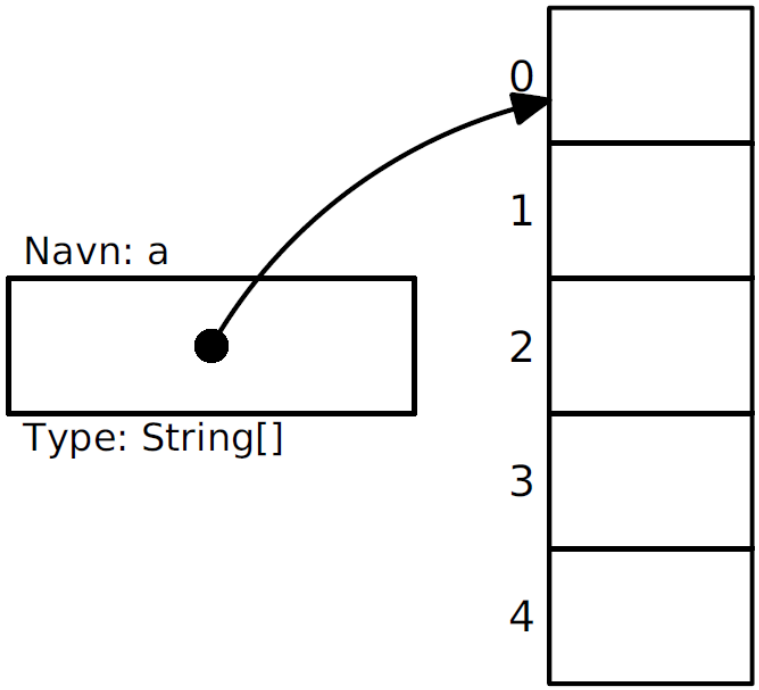
- I objektorienterte språk implementeres en beholder typisk i form av en klasse med
  - et grensesnitt som tilbyr operasjoner på samlingen
  - en datastruktur for å lagre elementene
  - metoder som opererer på datastrukturen

- Samme grensesnitt kan implementeres på ulikt vis av forskjellige klasser

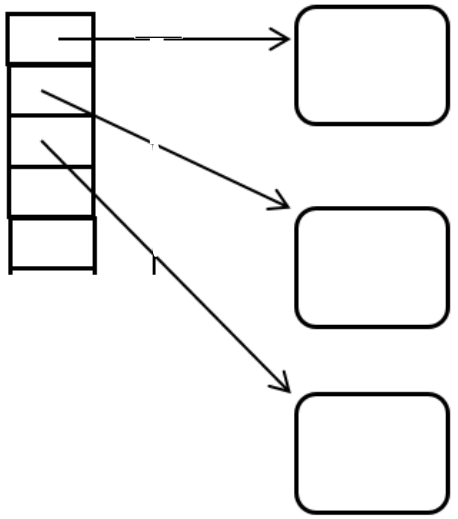
# Hvorfor er beholdere ("collections") pensum i IN1010?

- Det er nyttige verktøy for svært mange programmer (det har dere allerede sett i IN1000/ IN1900!).
- For å velge optimale verktøy bør dere kjenne til hvordan de er bygget opp og fungerer.
- Dere kan få behov for å skrive lignende selv.
- Dette er ypperlige eksempler på objektorientert programmering.

# Array-er




En array er en sammenhengende gruppe celler i minnet.



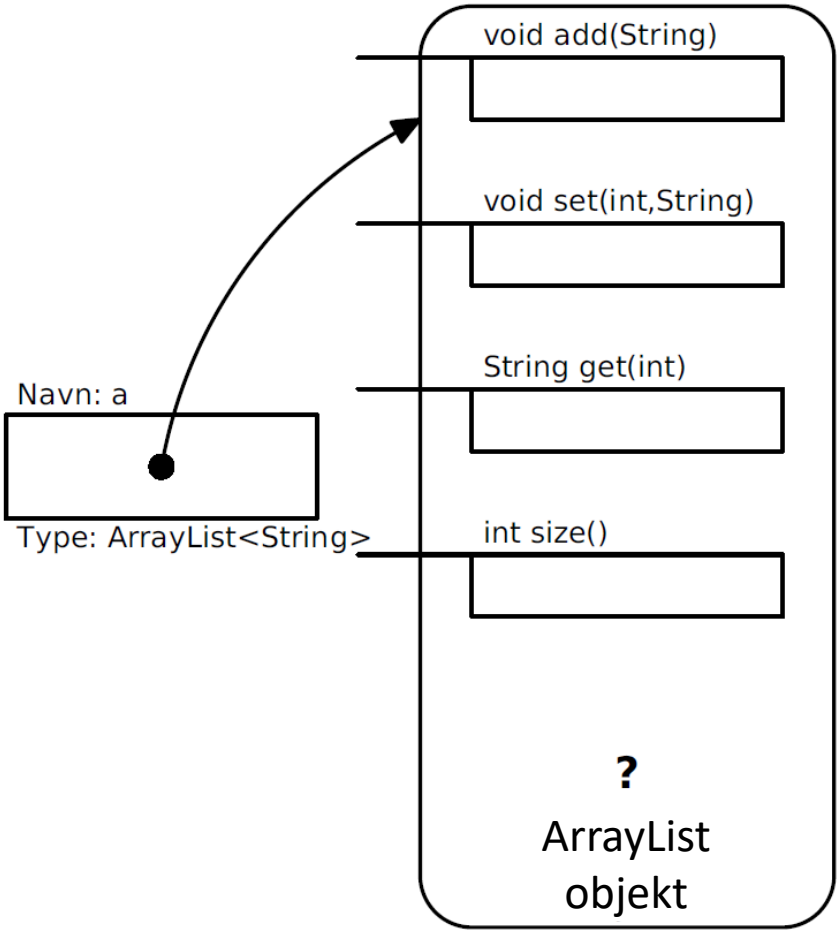
# Hva er bra og mindre bra med arrayer?

+ En god notasjon: kompakt og lettforståelig:
+ a[i] = a[i+1] + "*";
+ Tar liten plass
+ Raske

Men . . .

– Vi må vite størrelsen når arrayen opprettes.
– Størrelsen er uforanderlig.
– Kronglete å legge til nye verdier midt i arrayen.
– Udefinert hva som skjer ved fjerning av verdier.
– Ingen innebygde metoder som i en klasse.

# Hva er en ArrayList?




- ArrayList er en klasse i Java-biblioteket.
- Gitt grensesnitt
- Ukjent implementasjon

# ArrayList sammenlignet med array

+ Vi trenger ikke vite størrelsen initielt.
+ Størrelsen kan endres underveis.
+ Enkelt å legge til og fjerne nye elementer hvor som helst.

– / + Metodekall i stedet for egen syntaks – må huske disse:

```
a.set(i, a.get(i+1) + "*");
```

– Ikke for primitive typer som int, char etc (finnes en omvei)
– Tar mye mer plass.
– Er langsommere i bruk.

# Sammenligning med Python

I Python har man *lister* som en mellomløsning:

+ Enkel (egen) notasjon (som Javas arrayer)
+ Fleksibel størrelse (som Javas ArrayList)
+ Stort tilbud av innebygde metoder

– Ikke så raskt

# Er plassbruk viktig?

Oftest ikke, men det finnes unntak:

- Hvis man trenger ekstremt mange objekter
- Hvis datamaskinen har veldig lite minne (f eks «Internet of things»)
- Hvis hastigheten er avgjørende (NB – kan være avvining mellom fart og plass)

Konklusjon: Dette må vurderes når man starter et prosjekt.

# Betyr hastighet noe?

En sammenligning av programmer som bruker Javas arrayer og ArrayList og Pythons lister aktivt:

| Java array | Java ArrayList | Python liste |
|---|---|---|
| 1,77 s | 5,66 s | 155,32 s |

Oftest er programmets kjøretid ikke spesielt viktig, men det finnes unntak:

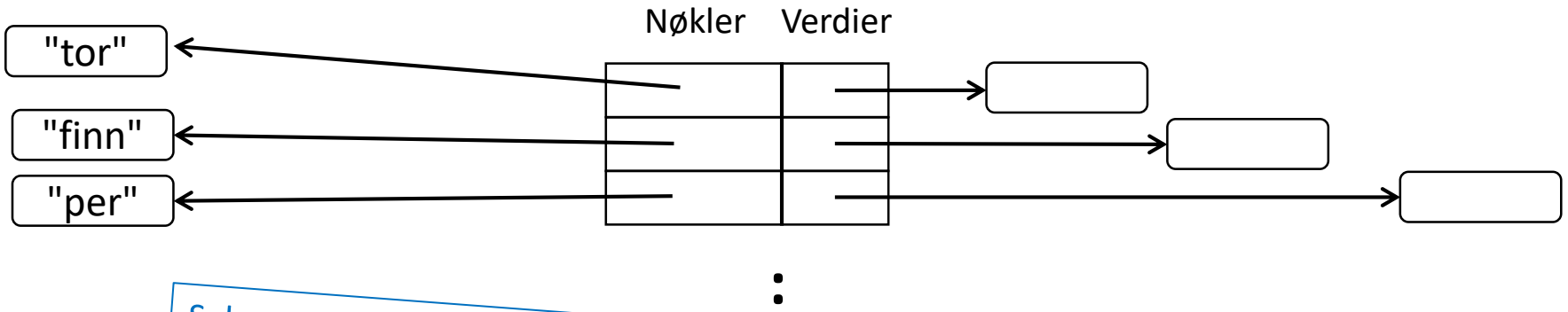
- Når jobben er spesielt stor og tung
- Når man trenger øyeblikkelig respons

Konklusjon: Dette må vurderes når man starter et prosjekt.

# HashMap: En "sekk" objekter

- Klassen HashMap lar oss lagre (pekere til) objekter uten noen bestemt indre rekkefølge eller nummerering. Den er effektiv og lett å bruke til oppslag.

- Hvert objekt i en HashMap må ha en unik *nøkkel* (typ. en String) som oppgis når vi legger det inn, og brukes for oppslag når noe skal hentes ut




Selv om vi gjerne tegner elementene i en liste, er de ikke nummerert og vi vet ikke hvilken rekkefølge de ligger i!

# Bruk av HashMap I

- Importer klassen

```
import java.util.HashMap;
```

- Deklarer og opprett en HashMap

```
HashMap<String, DVD> dvdArkiv = new HashMap<String, DVD> ();
```

- Legg et objekt i en HashMap

```
DVD ny = new DVD ("Hobbiten");
dvdArkiv.put (ny.toString(), ny);
```

# Bruk av HashMap II

- Hent (peker til) et objekt med en gitt nøkkel – NB sjekk resultatet før du prøver å bruke objektet!

```
DVD denne = dvdArkiv.get(tittel);
if (denne != null) {..}   // fant et objekt med rett tittel
```

- Sjekk størrelsen (antall elementer)

```
int antall = dvdArkiv.size();
```

- Fjern et objekt med en gitt nøkkel fra en HashMap

```
dvdArkiv.remove ("Hobbiten");
```

# Valg av array/ ArrayList/ HashMap

HashMap/ Map: Javas versjon av dictionary i Python.

- Skal du lagre et (kjent) antall verdier av en primitiv type (int, boolean, char,..) og plass eller hastighet er viktig?
  - array
- Har elementene en implisitt rekkefølge?
  - array eller ArrayList
- Skal du lagre et ukjent/ varierende antall objekter?
  - ArrayList eller Hashmap
- Skal du lagre objekter som det er naturlig å slå opp med noe annet enn et heltall – og der rekkefølgen ikke betyr noe?
  - HashMap

# Java Collection Framework

Verktøy for lagring og organisering av objekter

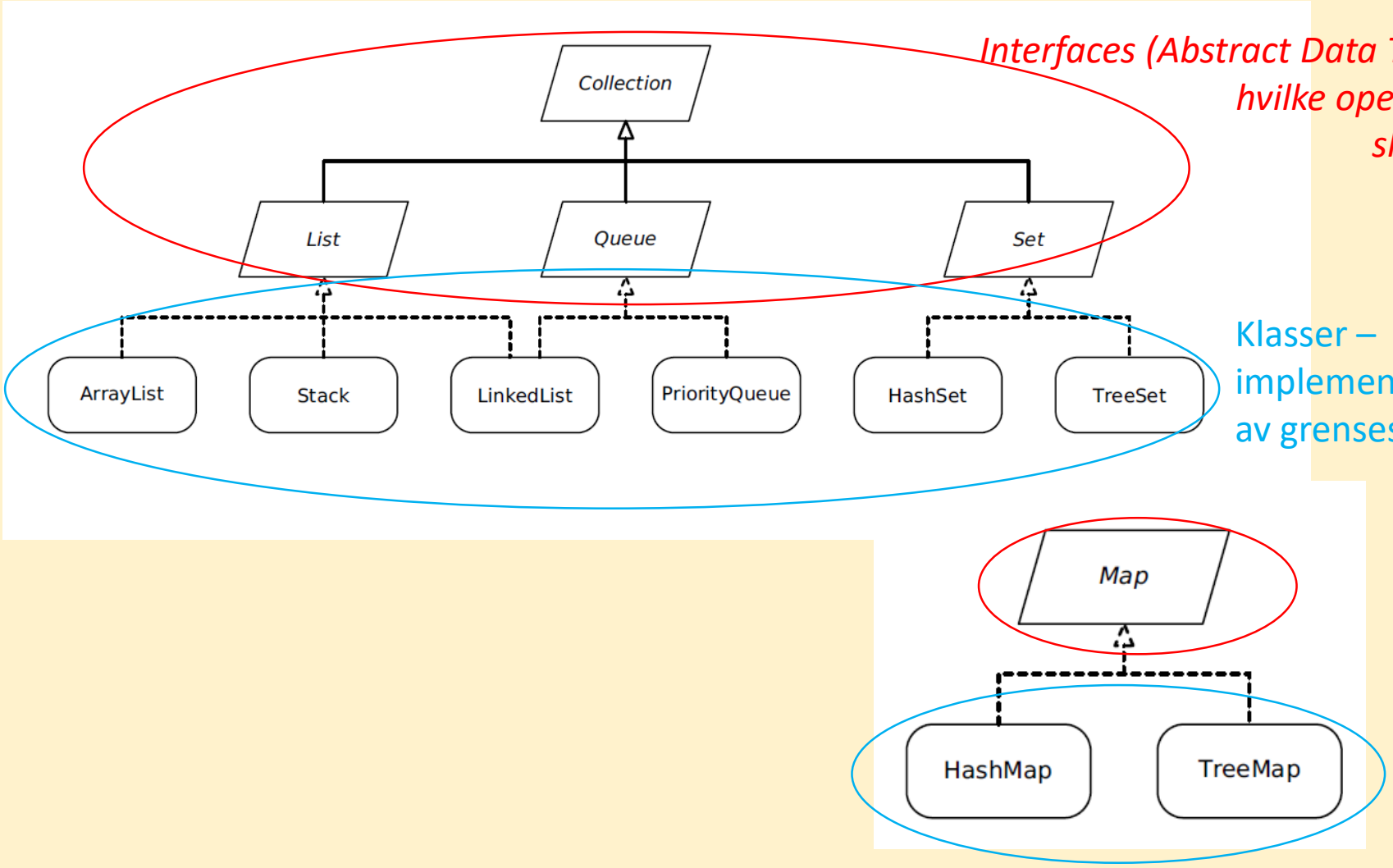
Hierarki av Interface- og klassetyper for beholdere.

***Collection Interface*** er et felles grensesnitt for lister (med rekkefølge) og mengder (uten rekkefølge)

***Map*** er interface for organisering av nøkkel+verdi par.

- En rekke klasser som implementerer et eller flere grensesnitt
- En rekke grensesnitt som er implementert av en eller flere klasser

# Java Collections Framework (fra Big Java)




*Interfaces (Abstract Data Types) – hvilke operasjoner skal tilbys*

Klasser – implementasjoner av grensesnittene

# Klasser som implementerer beholdere for samlinger av ukjent type

- Dere har skrevet klasser som refererte til objekter av andre klasser

- Eksempel: **class Spilleliste** med **Sang**-objekter. Spilleliste-objekter kunne bare organisere Sang-objekter, og var skreddersydd for disse (*tett koplete klasser)*

- Men vi ønsker å kunne bruke samme verktøy til f.eks:
  - lister av Resept-objekter
  - lister av Lege-objekter
  - lister av String-objekter
  - (kaniner, biler, oster, ...)

# Implementasjon av egen Liste

Hvilke operasjoner ønsker vi i en lineær (har en rekkefølge) lagringsstruktur?

- **add** utvider listen med et nytt element.
- **size** forteller hvor lang listen vår er nå.

- **remove** fjerner elementet i en gitt posisjon.
- **get** henter et element fra en gitt posisjon.
- **set** erstatter elementet i gitt posisjon med et nytt.

# Implementasjon av Liste: Grensesnitt

- Starter med å definerer et Java interface klassen skal implementere
- Da trenger vi returtyper og parametere for metodene

  size, add, set, get, remove
- Men hva slags elementer skal vi lagre og hente ut?

```
interface Liste {
   int size();
   void add(??? x);
   void set(int pos, ??? x);
   ??? get(int pos);
   ??? remove(int pos);
}
```

# **Object** som type for elementene

```
interface Liste {
    int size();
    void add(Object x);
    void set(int pos, Object x);
    Object get(int pos);
    Object remove(int pos);
}
:
:
String element = (String)minListe.get(10);
```

- Dette virker – men krever typekonvertering når vi henter ut elementer som skal brukes videre
- Må selv passe på at vi kun legger inn riktige typer, dvs usikker løsning

# Klasseparametere

- Vi har brukt *parametere* for å få en metode til å bruke en ny verdi (av samme type) for hver gang den blir kalt – i stedet for å skrive en egen metode for hver tenkelige verdi (ikke gjennomførbart!)

- Klasser i Java kan ha parametere som angir en type (klasse) som skal brukes (inne )i en bestemt instans av klassen Dette kaller vi *generiske klasser* med *klasseparametere*

- *Brukes f.eks. i ArrayList:*

```
ArrayList<String> minListe = new ArrayList<String>();
```

# Deklarasjon og bruk av generisk klasse

- En parameter i en klassedeklarasjon (*formell parameter*) angir at klassen kan arbeide med ulike typer

- Når vi lager en instans av klassen bestemmer vi hvilken type denne instansen (objektet) skal jobbe med (*aktuell parameter/ argument*)

- Dette er nyttig for beholdere!

```
public class ArrayList<E> ....{
        ......
        public E remove(int index) {...}
        ......
}
ArrayList<String> minListe = new ArrayList<String>();
```

# Generelt: Typeparametere

- Interface kan *ha* og *være* parameter(e) på samme måte som klasser
- Bruker ofte begrepet *typeparameter*
- Navnekonvensjon for typeparametere (fra Java doc):
  - E - Element (used extensively by the Java Collections Framework)
  - K - Key
  - N - Number
  - T - Type
  - V - Value
  - S,U,V etc. - 2nd, 3rd, 4th types
- Bruk av typeparametere i Java: *Generics*

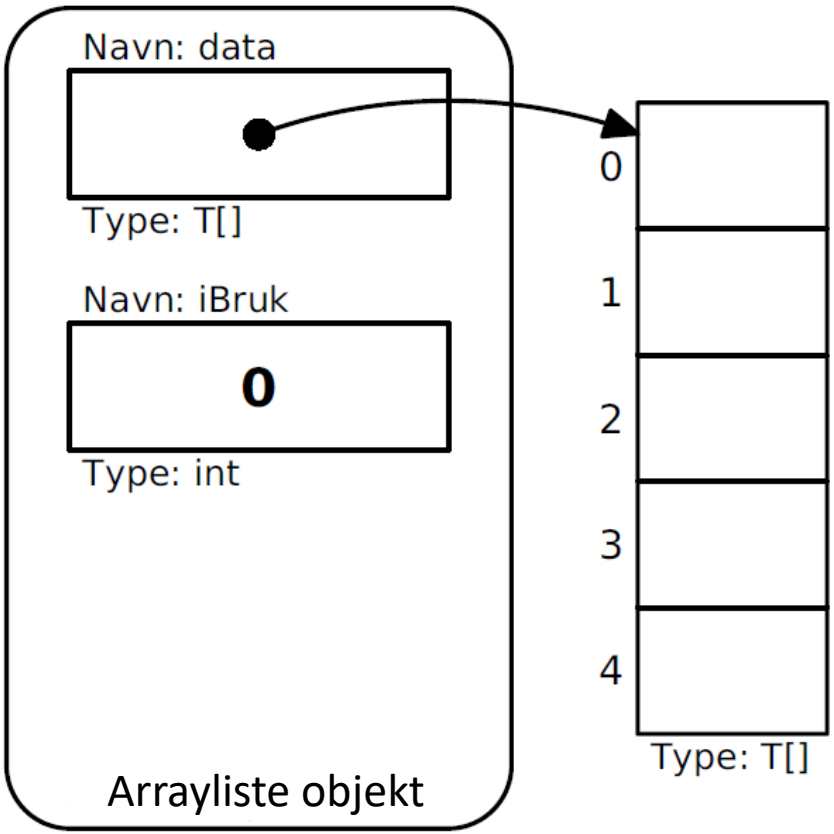
# Liste-interface med typeparameter

- Klassen som implementerer dette interfacet kan ha en klasseparameter som representerer typen til objektene i listen.

```
interface Liste<T> {
        int size();
        void add(T x);
        void set(int pos, T x);
        T get(int pos);
        T remove(int pos);
}
```

# Implementasjon med array

- Skriver en egen klasse **Arrayliste**
- Implementerer interface **Liste**
- Lagrer elementene i en array



# Datastruktur – og en feil i Java

```
class Arrayliste<T> implements Liste<T> {
      private T[] data = new T[10];
      private int iBruk = 0;
```

```
>javac *.java
Arrayliste.java:2: error: generic array creation
    private T[] data = new T[10];
                       ^
1 error
```

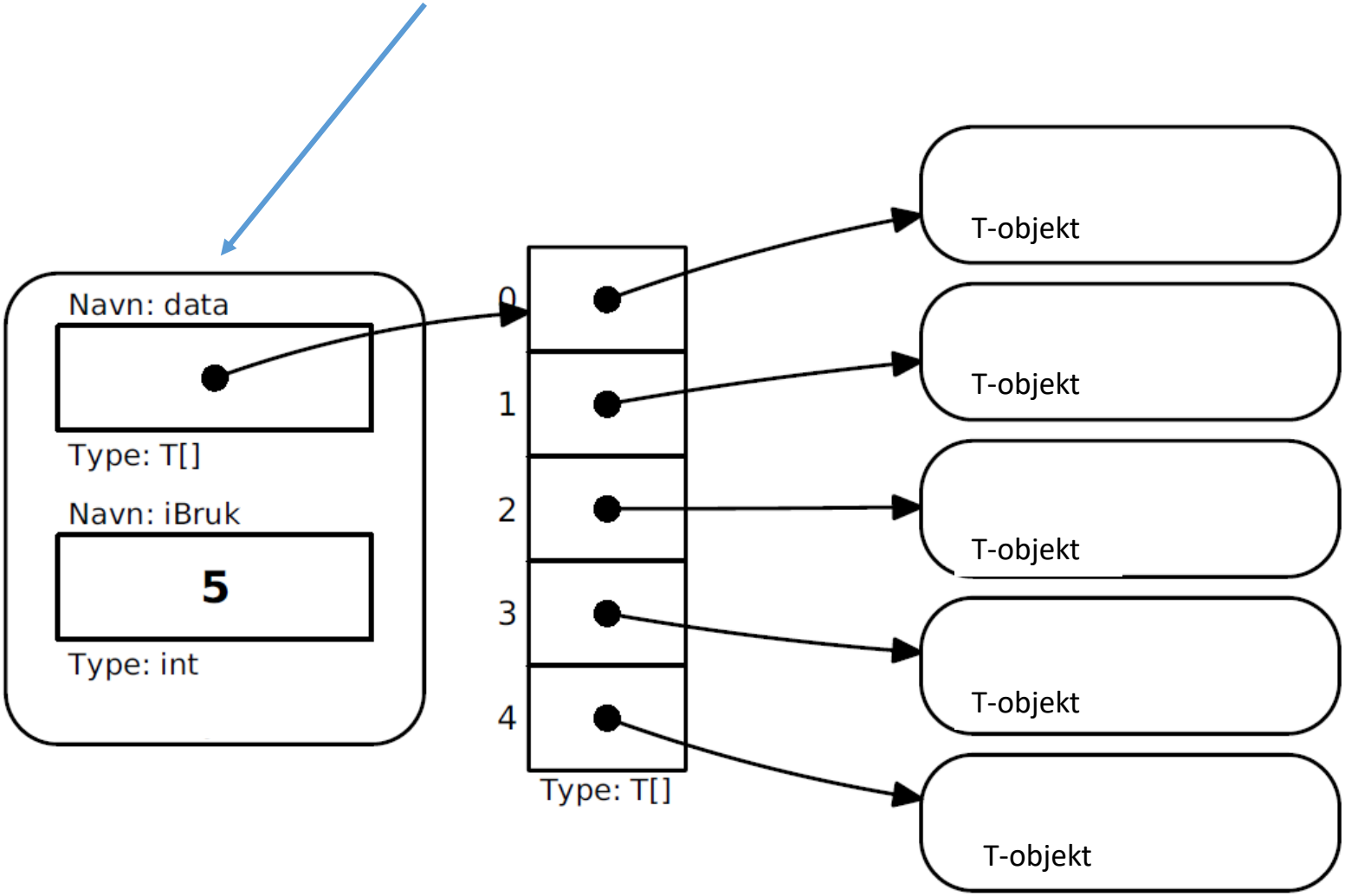
Fungerer ikke?!

# En "fix" – som fungerer

```
class Arrayliste<T> implements Liste<T> {
	@SuppressWarnings("unchecked")
	private T[] data = (T[])new Object[10];
	private int iBruk = 0;
	// metode-deklarasjoner
}
```

- Må fortsatt bruke **Object** som type når vi oppretter arrayen
- MEN har flyttet typekonvertering inn i vår egen klasse, der vi har mer kontroll – og slår derfor av advarsler
- Ved bruk av liste-klassen vår, vil brukeren få feilmelding hvis det er feil type objekt som legges inn eller hentes ut

# Arrayliste objekt



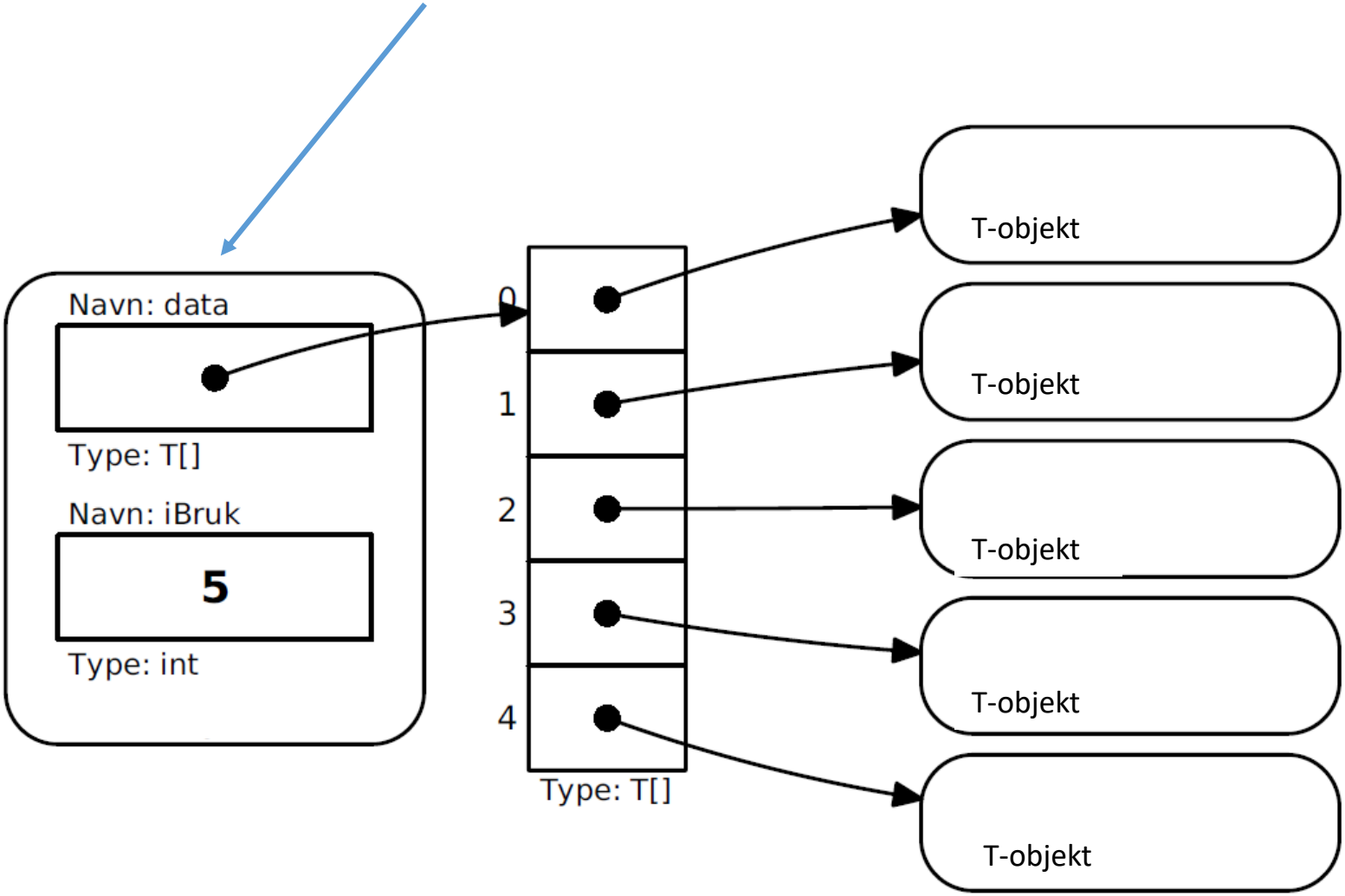
# Klassen Arrayliste: size, set, get

```
class Arrayliste<T> implements Liste<T> {
    @SuppressWarnings("unchecked")
    private T[] data = (T[])new Object[10];
    private int iBruk = 0;

    public int size() {
        return iBruk;}

    public void set(int pos, T x) {
        data[pos] = x; }

    public T get(int pos) {
        return data[pos]; }
}
```

# Klassen Arrayliste II (remove)

```
class Arrayliste<T> implements Liste<T> {
    @SuppressWarnings("unchecked")
    private T[] data = (T[])new Object[10];
    private int iBruk = 0;
// metoder set, get, size utelatt

    public T remove(int pos) {
        T res = data[pos];
        for (int i = pos+1; i < iBruk; i++){
            data[i-1] = data[i];
        }
        iBruk--;
        return res;
    }
}
```

# Arrayliste objekt med full array



# Klassen Arrayliste: Lage plass til flere elementer

- Spesialtilfelle ved tillegg nytt element i listen:
  - arrayen som holder dataene kan være full!

- Må da allokere mer plass =>
  - oppretter ny array med flere plasser (2*)
  - flytter eksisterende elementer over
  - legger til det nye på første ledige plass

# Klassen Arrayliste III (add)

```
class Arrayliste<T> implements Liste<T> {
// Datastruktur og metoder set, get, size, remove utelatt
    public void add(T x) {
        if (iBruk == data.length) {
            @SuppressWarnings("unchecked")
            T[] ny = (T[])new Object[2*iBruk];
            for (int i = 0; i < iBruk; i++)
                ny[i] = data[i];
            data = ny;
        }
        data[iBruk] = x;
        iBruk++;
    }
}
```

# Testprogram I

`class TestListe`

```
public static void main(String[] args) {
    Liste<String> lx = new Arrayliste<>();
     // Sett inn 13 elementer:
    for (int i = 0; i <= 12; i++)
        lx.add("A"+i);

    // Sjekk størrelsen:
    System.out.println("Listen har " +
                       lx.size() + " elementer");

    // Marker element nr 10:
    lx.set(10, lx.get(10)+"*");
```

# Testprogram I (kommentert kopi)

class TestListe

```
public static void main(String[] args) {
    Liste<String> lx = new Arrayliste<>();
     // Sett inn 13 elementer:
    for (int i = 0; i <= 12; i++)
        lx.add("A"+i);

    // Sjekk størrelsen:
    System.out.println("

    // Marker element nr
    lx.set(10, lx.get(10)
```

Kommentar til spørsmål fra forelesning ("Hvorfor er lx deklarert som Liste og ikke Arrayliste"):

Tanken her var egentlig å deklarere referansen som type Arrayliste – men dette er jo en grei illustrasjon på at begge deler funker for *referansen*.

Så lenge Arrayliste klassen implementerer interfacet Liste så gjør det ingen forskjell om vi ser objektet gjennom linsen **Liste** eller **ArrayListe**.

# Testprogram II

`main i class TestListe`

```
// ... fortsetter

// Fjern det første elementet:
String s = lx.remove(0);
System.out.println("Fjernet " + s);

// Skriv ut innholdet:
for (int i = 0; i < lx.size(); i++)
    System.out.println("Element " + i + ": " + lx.get(i));

// Lag en feil:
lx.remove(999);
```

# Kjøring av test

Resultatet av testen:

```
$java TestListe
Listen har 13 elementer
Fjernet A0
Element 0: A1
Element 1: A2
Element 2: A3
Element 3: A4
Element 4: A5
Element 5: A6
Element 6: A7
Element 7: A8
Element 8: A9
Element 9: A10*
Element 10: A11
Element 11: A12
```

```
Exception in thread "main"
java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException: 999
at Arrayliste.remove(Arrayliste.java:30)
at TestListe.main(TestListe.java:25)
```

- Det meste går bra, men
- gal parameter til remove gir en uforståelig feilmelding.
- (Det gjelder også get og set.)

# Egne feilmeldinger

- Feilmeldinger bør være en subklasse av passende Exception
- Her: RuntimeException (se Exception klasse-hierarki med forklaringer i Big Java)
- Konstruktøren tar parametere med nyttig informasjon om feilen (her: hvilken indeks ble brukt, og hvilke er lovlige)

```
class UlovligListeindeks extends RuntimeException {
    public UlovligListeindeks(int pos, int max) {
        super("Listeindeks " + pos +
              " ikke i intervallet 0-" + max);
    }
}
```

# Oppdage at noe er feil

- Vi tar vare på relevant informasjon der feil kan oppstå (for eksempel i metoden **remove**) og sender den med til Exceptionen-objektet vi "kaster" med **throw**

```
    public T remove(int pos) {
        if (pos<0 || pos>=iBruk)
            throw new UlovligListeindeks(pos,iBruk-1);
        ...
```

- Når vi bruker metoder som kan kaste unntak (som **remove**) skriver vi en **try** - **catch** blokk for å håndtere dem

```
try {
    lx.remove(999);
} catch (UlovligListeindeks u) {
    System.out.println("Feil: "+u.getMessage());
}
```

# Oppdage at noe er feil (kopi med kommentar)

- Vi tar vare på relevant informa
  metoden **remove**) og sender
  "kaster" med **throw**

```
    public T remove(int
        if (pos<0 || pos
            throw new Ul
        ...
```

- Når vi bruker metoder som ka
  **try** - **catch** blokk for å håndte

```
try {
    lx.remove(999);
} catch (UlovligListeindeks u) {
    System.out.println("Feil: "+u.getMessage());
}
```

Kommentar til spørsmål fra forelesning ("Stopper programmet når vi har utført try-catch blokken?"):

Svar: Ja – men det er fordi det ikke er flere linjer i testprogrammet. Om vi legger inn en utskrift nedenfor catch-blokken vil denne bli utført. Se nytt testprogram m/kjøring nederst i presentasjonen der unntakshåndtering er inkludert.

Om vi *ikke* fanger unntaket stopper kjøringen.

# Arrayliste med egen feilmelding

```
class Arrayliste<T> implements Liste<T> {
    @SuppressWarnings("unchecked")
    private T[] data = (T[])new Object[10];
    private int iBruk = 0;

    public void set(int pos, T x) {
        if (pos<0 || pos>=iBruk)
            throw new UlovligListeindeks(pos,iBruk-1);
        data[pos] = x;
    }

    public T remove(int pos) {
        if (pos<0 || pos>=iBruk)
            throw new UlovligListeindeks(pos,iBruk-1);
        T res = data[pos];
        for (int i = pos+1; i < iBruk; i++)
            data[i-1] = data[i];
        iBruk--;
        return res;
    }
}
```

# Liste-interface implementert med lenkeliste i stedet for array

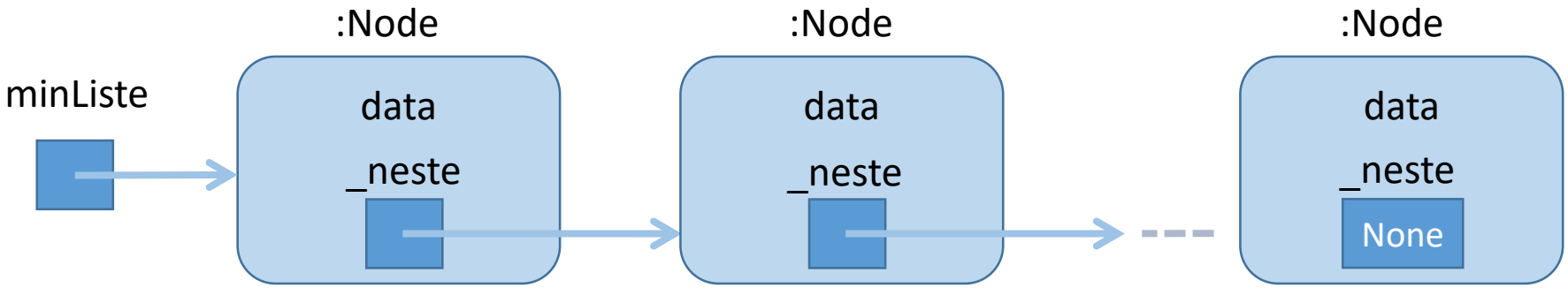
# Kan vi implementere Liste på en annen måte?

- I forrige eksempel implementerte vi interface Liste ved hjelp av klassen Arrayliste
- Arrayliste bruker en array som datastruktur for objektene – krevde håndtering av fullt array

- Kan vi lage en beholder som lagrer objekter på en mer dynamisk måte – der vi alltid kan ta inn *ett til*?
- Det vi skal lagre opprettes utenfor beholder-klassen, det vi trenger er en datastruktur der det alltid er *en ledig referanse* til det nye elementet

=> for hvert element, oppretter vi et hjelpe-objekt (node) som skal referere til det nye elementet – OG kan referere til et nytt hjelpeobjekt!

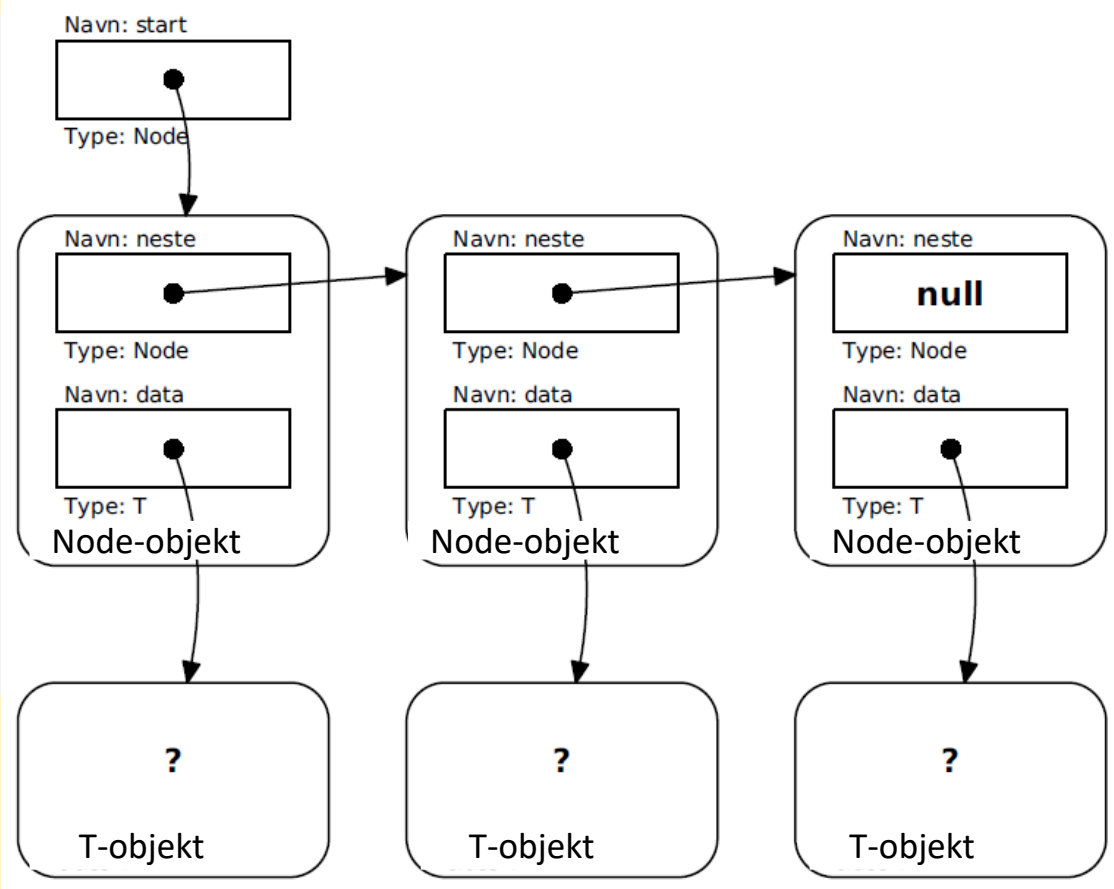
# Lenkeliste (NB: figur fra IN1000)




- Poenget med denne strukturen er at for hvert nye objekt vi lager – så lager vi samtidig en referansevariabel som kan referere til et nytt objekt
- dvs hvert objekt må kunne referere til et annet objekt
- dermed får vi en lenket liste av objekter – og trenger bare ha én referanse til det første objektet fra der vi skal bruke listen

# Datastruktur inne i en Lenkeliste
## (erstatter arrayen vi brukte i Arrayliste)

```
class Node {
    Node neste = null;
    T data;
    Node(T x) {
        data = x;
    }
}
private Node start = null;
```



# Klassen Lenkeliste

- Vi implementerer samme interface **Liste** som **Arrayliste** implementerte
- Vi har bestemt datastruktur: En sammenlenket kjede av **Node**-objekter, og en referanse **start** til første Node-objekt
- Hvordan legge dette inn i klassen **Lenkeliste**?
- Vi deklarerer en *indre klasse* **Node** inne i klassen **Lenkeliste**

# Indre klasser

- Klasser kan deklareres inne i metoder eller andre klasser – om de kun skal brukes der
- En klasse deklarert i en annen klasse er tilgjengelig for den ytre klassens metoder, men ikke utenfor
- Tydeliggjør at den kun brukes internt, og hindrer aksess fra utsiden. Fjerner behovet for innkapsling og forenkler bruk!

- Den indre klassen får en egen .class-fil ved kompilering, men med et spesielt navn

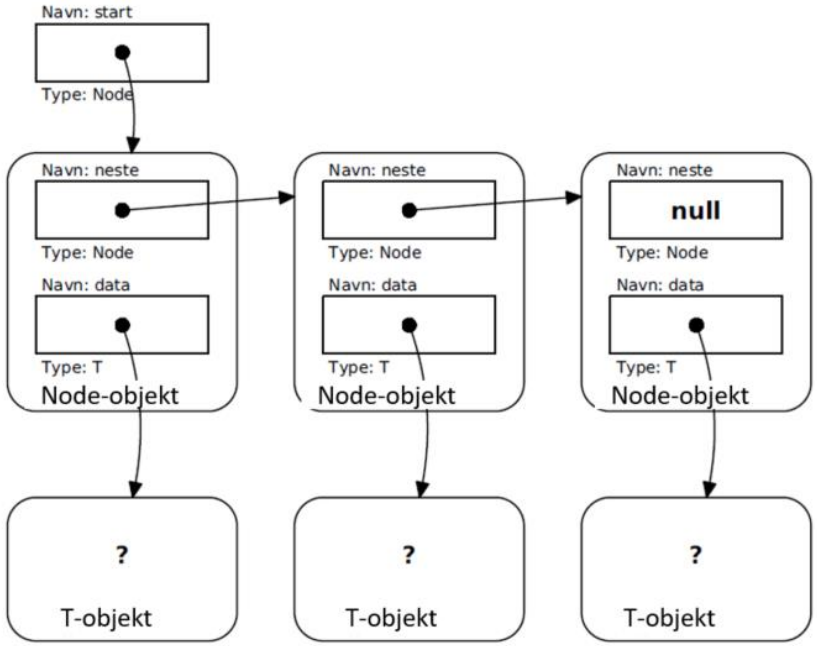
# Klassen Lenkeliste: Datastruktur og grensesnitt

```
class Lenkeliste<T> implements Liste<T> {
    class Node {
        Node neste = null;
        T data;
        Node(T x) {
            data = x;
        }
    }
    private Node start = null;
    public int size() {}
    public void add(T x) {}
    public void set(int pos, T x) {}
    public T get(int pos) {}
    public T remove(int pos) {}
```

# Hvordan finne størrelsen?

- Går gjennom liste og teller noder!

```
Node p = start;
int n = 0;
while (p != null) {
    n++;
    p = p.neste;
}
```



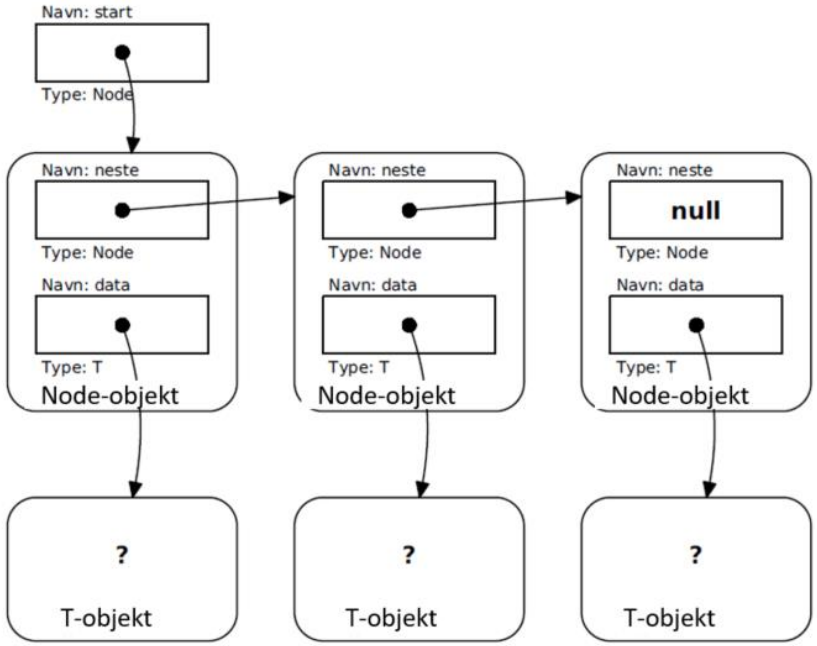

- Alternativ?

# Hvordan hente et element?

```
public T get(int pos) {}
```

- Går gjennom liste, teller oss frem til rett plass

```
Node p = start;
for (int i=0;i<pos;i++) {
    p = p.neste;
}
```

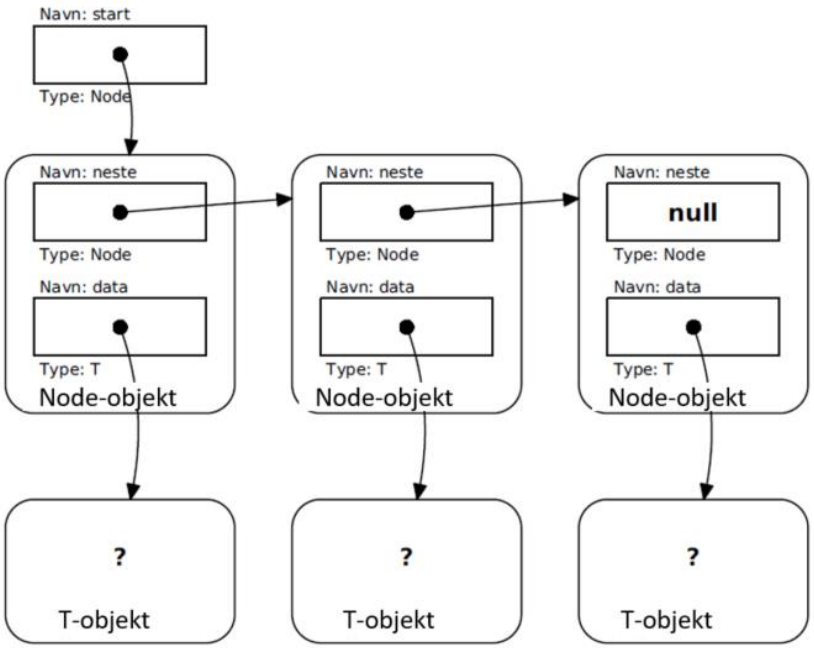



- NB: Hva skal vi returnere?

# Hvordan fjerne et element fra listen?

- Teller oss frem til rett sted: Elementet *før* det som skal fjernes

```
Node p = start;
for (int i = 0; i < pos-1; i++)
    p = p.neste;
Node n = p.neste;
p.neste = n.neste;
```




1. Hvilket element må vi stoppe på
2. Hvilket spesialtilfelle må håndteres her?

# Oppsummering

- Beholder: Hva og hvordan
  - Liste-interface
  - Implementering av Liste med array eller lenkeliste (sentrale deler av koden)

- Nytt i Java
  - Klasseparametere (typeparametere) og "generics"
  - Indre klasser
  - Egne Exceptions: Deklarasjon, opprettelse og behandling

# Neste uke

- Andre måter å implementere lenkelister
- Varianter av lister:
  - stabel (stack, Last In First Out – LIFO)
  - kø (First In First Out – FIFO)
  - Prioritetskø
- Mer Java
  - Innpakking ("boxing")
  - Å sammenligne objekter (Interface Comparable )
  - Å gå gjennom alle elementer i en samling (Iterator)

# Lagt til etter forelesning: Exception handling i testprogrammet

```
class TestArrayliste {
    public static void main(String[] args) {
        Liste<String> lx = new Arrayliste<>();
        // ....Sett inn 13 elementer, andre tester....

        for (int i = 0; i <= 12; i++)
            lx.add("A"+i);

        // Sjekk størrelsen:
        System.out.println("Listen har " + lx.size() + " elem

        // Marker element nr 10:
        lx.set(10, lx.get(10)+"*");

        // Fjern det første elementet:
        String s = lx.remove(0);
        System.out.println("Fjernet " + s);

        // Skriv ut innholdet:
        for (int i = 0; i < lx.size(); i++)
            System.out.println("Element " + i + ": " + lx.get

        // Lag en feil:
        try {
            lx.remove(999);
        } catch (UlovligListeindeks u) {
            System.out.println("Feil: "+u.getMessage());
        }

        System.out.println("Fortsetter etter catch-blokken");

    }
}
```

```
>java TestArrayliste
Listen har 13 elementer
Fjernet A0
Element 0: A1
Element 1: A2
Element 2: A3
Element 3: A4
Element 4: A5
Element 5: A6
Element 6: A7
Element 7: A8
Element 8: A9
Element 9: A10*
Element 10: A11
Element 11: A12
Feil: Listeindeks 999 ikke i intervallet 0-11
Fortsetter etter catch-blokken
```

# Lagt til etter forelesning: "Hvor kom **data** fra og hva er det"

- I hver av klassene som implementerer interfacet Liste har vi en datastruktur for å lagre elementene i samlingen:
  - **Arrayliste** lagrer (referanser til) elementene i en array – referansen til denne arrayen kaller vi **data**
  - Innholdet i arrayen **data** refererer, til får vi fra parameteren **x** når metoden **add** kalles for å legge til et nytt objekt i beholderen

  - **Lenkeliste** klassen lagrer (referanser til) elementene i objekter av den indre klassen **Node**. Hvert node-objekt har to instansvariable: En referanse til en ny node (**neste**) og en referanse til elementet noden tar vare på (**data**).
  - Lenkeliste-klassen får også inn nye elementer fra parameteren **x** til metoden **add**, som lager en ny node og sender med **x** til denne som parameter til Node-konstruktøren – som setter sin instansvariabel **data** til å referere til det samme som **x**.

# Lagt til etter forelesning:
# "burde ikke **start** variablen være statisk?"

Nei, vi trenger en ny datastruktur med starten på de sammenlenkede nodene hver gang vi oppretter en ny Lenkeliste.

Hver **new Lenkeliste<T>** skal lage et nytt objekt av Lenkeliste (en egen beholder), uten tilgang til eller å vite noe om lenkelistene i andre beholdere.

Så hver beholder (Lenkeliste objekt) inneholder én referanse **start**, men kan ha mange node-objekter lenket sammen – som vi får tilgang til fra **start**

# Lagt til etter forelesning: HashMap

- Ikke sentralt i IN1010
- Men veldig praktisk i mange sammenhenger
- Tenk dictionary (ordbok) fra Python
- I Big Java står det mest om bruk av Map – dette er interfacet som HashMap implementerer, og forklarer det meste som trengs ☺.