

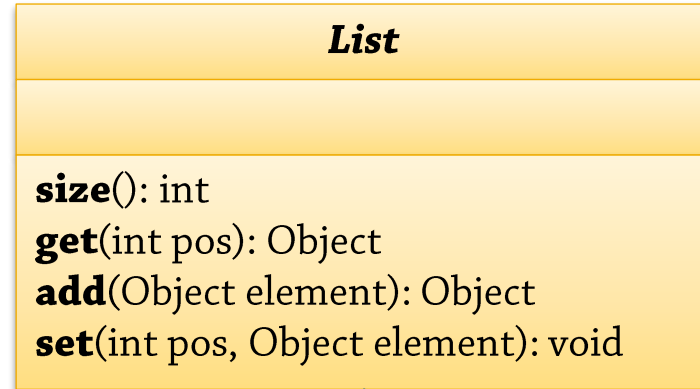
Typhierarkier del 2

Vad krävs? Hur fungerar det?

Typhierarkier och kontrakt: Liskov Substitution Principle

Hur får en subtyp fungera egentligen?

Krav på hierarkier 1



LinkedList

ArrayList

SkipList

...

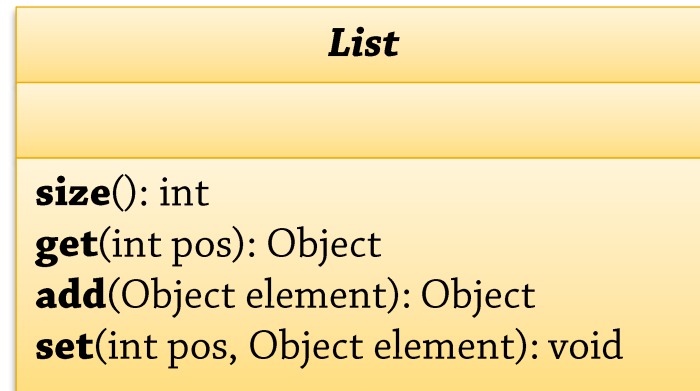
...

...

```
size(): int
get(int pos): Object
add(Object element): Object
-- ingen "set"
```

**Får subtypen LinkedList
sakna metoder från List?**

Krav på hierarkier 2



LinkedList

ArrayList

SkipList

...

...

...

Om **ArrayList.add()** lägger till sist i listan,
får **LinkedList.add()** lägga till först?

size(): int
get(int pos): Object
add(Object element): Object
set(int pos, Object element): void

Krav på hierarkier 3

- Även **List** har ett kontrakt

- En **ArrayList** är en **List**
→ måste uppfylla hela detta kontrakt!
- (**Alla** fåglar ska ha fjädrar,
ankor är en sorts fåglar
→ alla ankor ska ha fjädrar)



- Subtypens **eget** kontrakt får:

- Lova mer – ge *starkare* garantier (alla ankor kan dessutom kvacka)
- Kräva mindre – ha *svagare* krav, klara fler sorters input, ...

```
public void quicksort(List someList) {  
    // Vi programmerar utifrån List:s kontrakt – använder oss bara av dessa garantier  
    if (someList.isEmpty()) { ... } // List säger: isEmpty returnerar sant om listan är tom  
  
    // Detta kontrakt uppfylls av alla subtyper: ArrayList, SkipList, LinkedList, ...  
    // Alltså fungerar metoden för alla subtyper: Skicka in en ArrayList  
}
```

- En formell beskrivning: **Liskov Substitution Principle**
 - *Let $q(x)$ be a property provable about objects x of type T .
Then $q(y)$ should be provable for objects y of type S ,
where S is a subtype of T .*
 - **Om** vi kan bevisa något om alla List-objekt,
måste detta även gälla för alla LinkedList-objekt.



Barbara Liskov

Överkurs: Kovarianta returtyper!



- Lova mer – ge starkare garantier?

Java låter subklasser stärka löftet om returtyp

```
public interface List
{
    List makeCopy();
    List convert();
}
```



```
public class ArrayList implements List
{
    ArrayList makeCopy() { ... }
    SkipList convert() { ... }
}
```

Lovar fortfarande att det är en lista – till och med en ArrayList!

Varierar "åt samma håll"
(en specialisering av List specialiserar även returtyperna)
→ "kovariant"

Statiska och dynamiska typer, statisk och dynamisk typkontroll

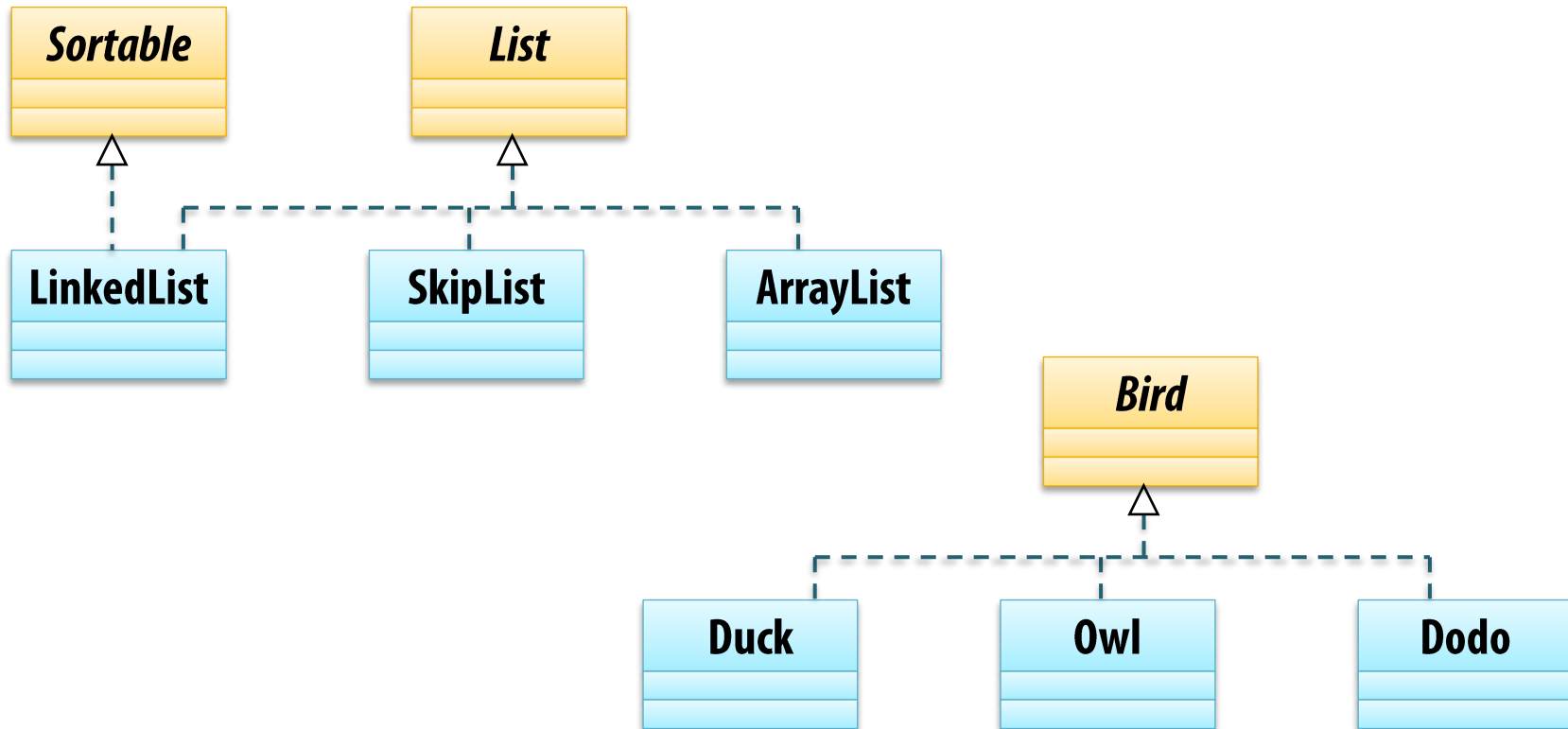
Hur fungerar typhierarkier tillsammans med manifest typning?

Vilken typ *har* ett objekt?

Eller vilka *typer*...?

Objekt med flera typer

- Ett objekt har nu **flera typer**
 - Varje **LinkedList** är också av typen **List** och **Sortable** (och **Object**)



Vilka effekter får det?

Peka på en subtyp – ett par frågor



- En objektvariabel kan peka på objekt av godtycklig subtyp

- `List` names = `new ArrayList()`;
`Bird` myBird = `new Duck()`;

names kan bara peka på List-objekt...
Och en ArrayList är ju en List!

Så vilken typ har variabeln egentligen?

- En objektvariabel kan pekas om till ett objekt av annan typ

- `List` numbers = `new SkipList()`;
...
numbers = `new LinkedList()`;

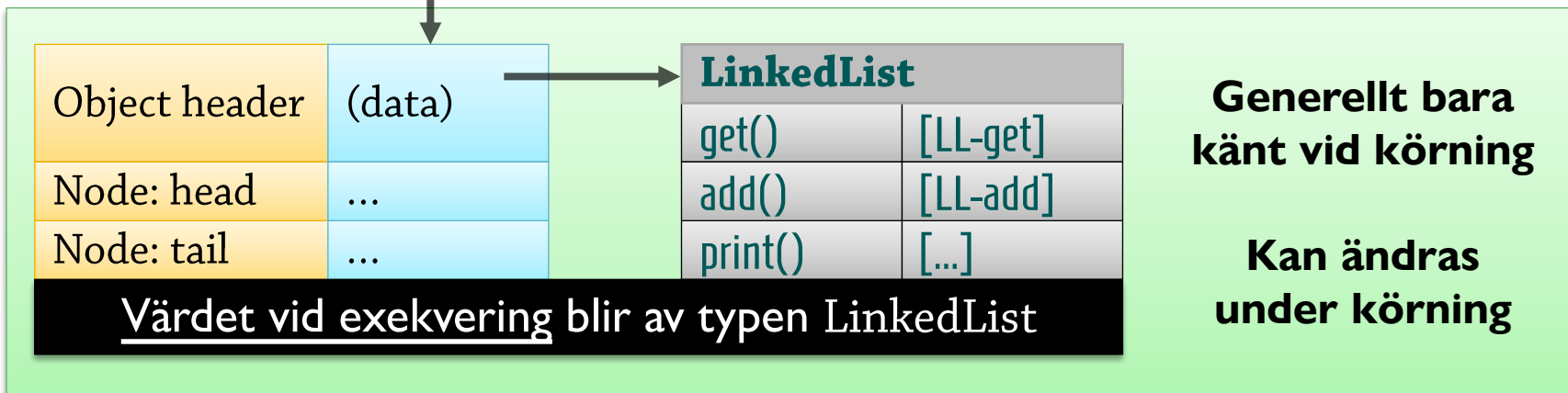
Både SkipList och LinkedList
är ju specialfall av List...

Så kan variabler byta typ?

Typer: Apparent / Actual

- Med typhierarkier:
 - List windows = application.getWindows();

**Variabelns typ kallas
static / apparent type**



**Objektets typ kallas
dynamic / actual type**

Dynamisk typ: Inte känd före körning

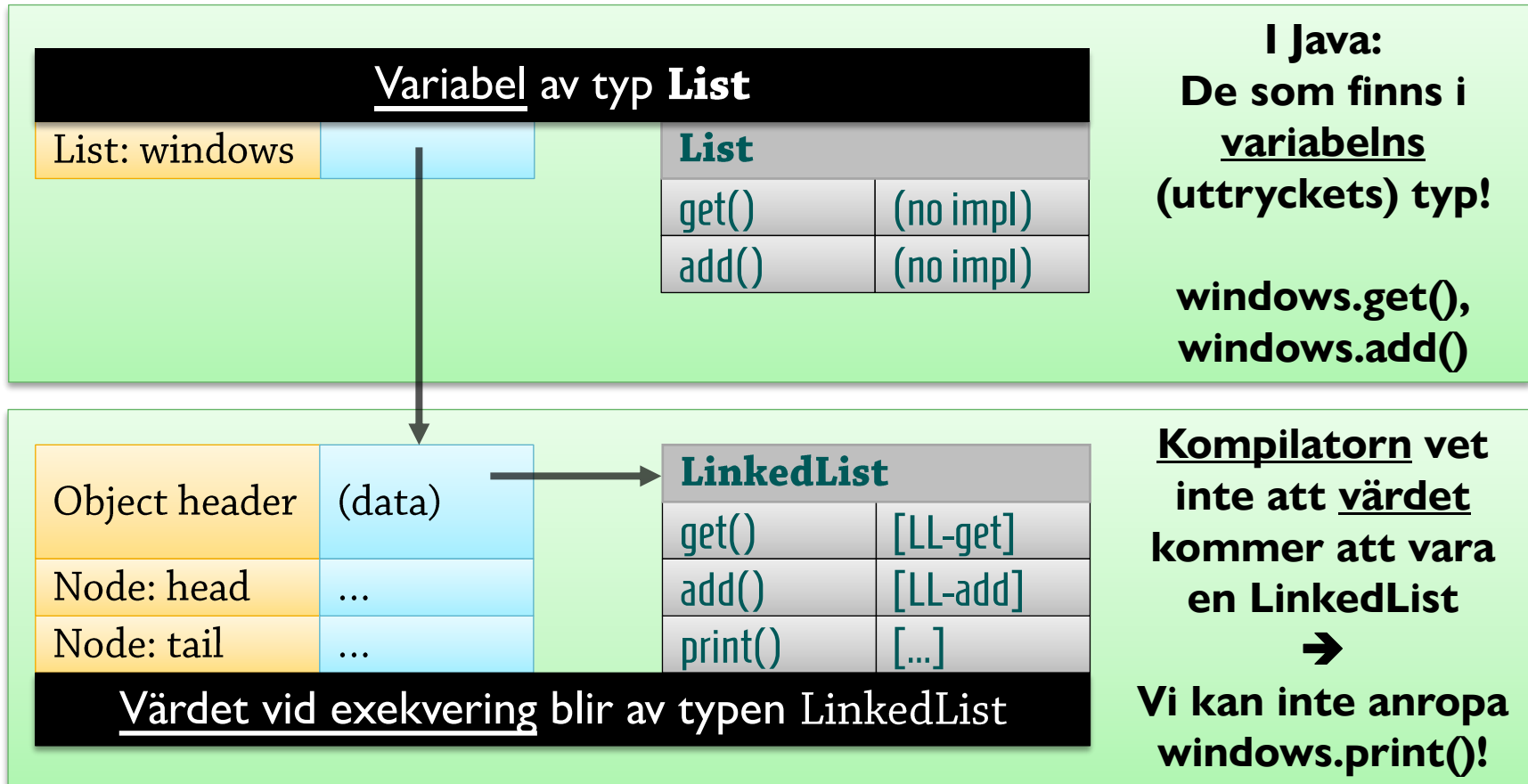
```
public class ListHandler {  
    public void useList(List elements) {  
        // Vilken sorts lista kommer elements att vara?  
    }  
}
```

```
public class Randomizer {  
    private final Random rnd = new Random();  
    public void useList() {  
        List list;  
        if (rnd.nextBoolean()) {  
            list = new ArrayList();  
        } else {  
            list = new LinkedList();  
        }  
        list.add(...);  
    }  
}
```

Kan inte avgöra typen i förväg...

Synliga (tillgängliga) medlemmar

- Givet en variabel, **vilka metoder och fält** är **synliga**?
 - **List** windows = application.getWindows();



- Så typkontrollen är fortfarande statisk

```
public class Application {  
    public List    getWindows() { ... }  
    public SkipList getFiles() { ... }  
}
```

```
Application app    = ...;  
List windows      = app.getWindows();  
List files         = app.getFiles();
```

Kompilatorn testar:
getFiles() returnerar SkipList,
files är av typ List
➔ Allt OK!

- Men tänk om **vi vet mer** än kompilatorn!

- Vi har listor av fåglar
 - public class** BirdList {
 public void add(Bird foo) { ... }
 public Bird get(int index) { ... }
}

- Vi stoppar in något först i listan

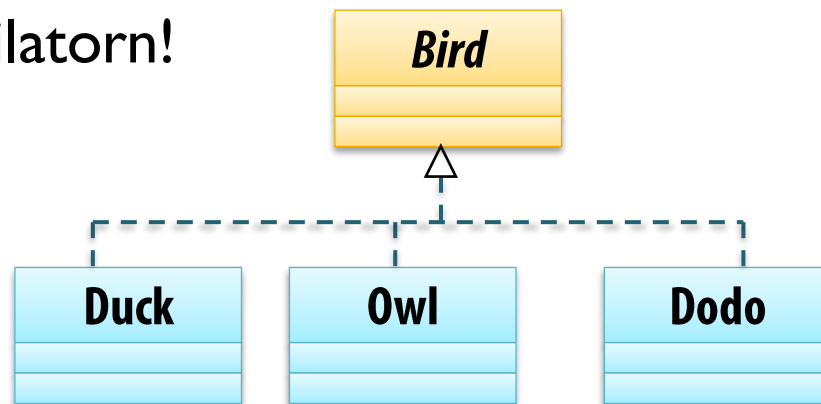
- BirdList lista = **new** BirdList();
lista.add(**new** Owl());

- Vi plockar ut det

- Bird a = lista.get(0);
 - Owl b = lista.get(0);

// Kompilatorn accepterar

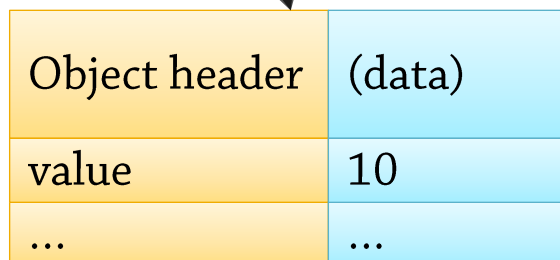
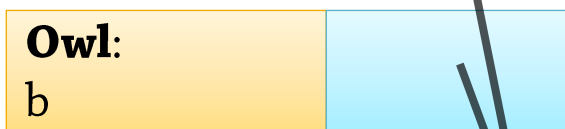
// **Fel!** Metoden get() lovar bara att ge oss en **Bird**,
// och inte alla fåglar är ugglor



Men **vi** vet ju vad vi stoppade in där!

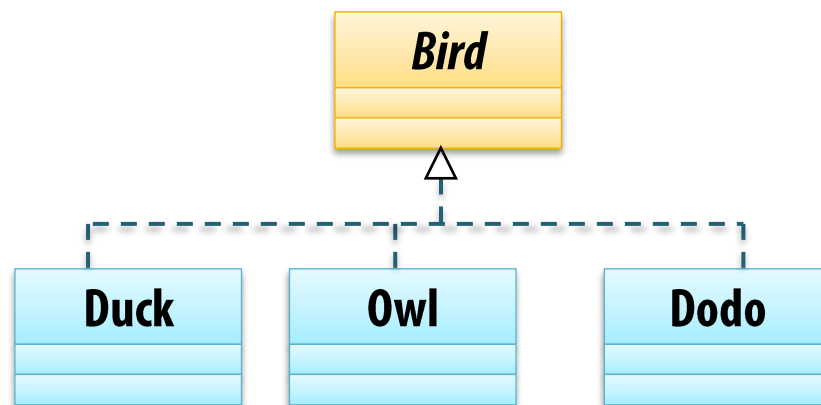
■ Vi kan tala om för kompilatorn vad vi vet!

- Använd en **cast**
 - `Owl b = (Owl) lista.get(0);`
- Resultatet är en **ny pekare** till **samma objekt**
 - Inte ett nytt "konverterat" objekt!



Denna cast är ett *löfte*:
“Fågeln **är** faktiskt en uggla!”

Om man **ljuger**: **ClassCastException**
(här finns dynamisk typkontroll,
dvs. vid körningen!)



Dynamisk bindning, subtypspolymorfism

Hur fungerar egentligen overriding?
Hur anropas rätt implementation? Vad *är* rätt implementation?

■ Namnbindning:

- Givet en identifierare (namn), vilken variabel / fält / metod / ... menar vi?
- För variabler tar *kompilatorn* reda på detta:

- **public class** Binding1 {
 public void foo() {
 int index = 100;
 int other = 200;
 System.out.println(index); // "index" binds till metodens första variabel
 }
}
- **public class** Binding2 {
 public int index = 100;
 public void foo() {
 int other = 200;
 System.out.println(index); // "index" binds till objektets första fält
 }
}

Detta är statisk bindning = tidig bindning:
Sker före programmet körs

- Att binda metodnamn till implementation:

Om vi inte hade typhierarkier

- Variabelns typ = objektets typ
→ **Statisk bindning** är möjlig

```
ArrayList myList = ...;  
myList.add(...);
```

**Vilken variant av add()?
Måste vara ArrayList:s!**

Känt vid kompileringen:

Namnet add() kan

statiskt bindas

till en funktion av kompilatorn

Med typhierarkier (Java)

- Variabelns typ != objektets typ
→ **Dynamisk bindning** krävs

```
List myList = ...;  
myList.add(...);
```

**Vilken variant av add()?
ArrayList:s? LinkedList:s?**

Okänt vid kompileringen:

Namnet add() måste

dynamiskt bindas

till en funktion vid körning

- Varje objekt känner till sin **klass**
 - Varje klass känner till sin **metodkod**

**Klassinfo med
metodtabell**

Virtual method
table: vtable

List: names1

List-metoder:

Object get(int index),
void add(Object o)

Object header:	(data)
head	...
tail	...

LinkedList

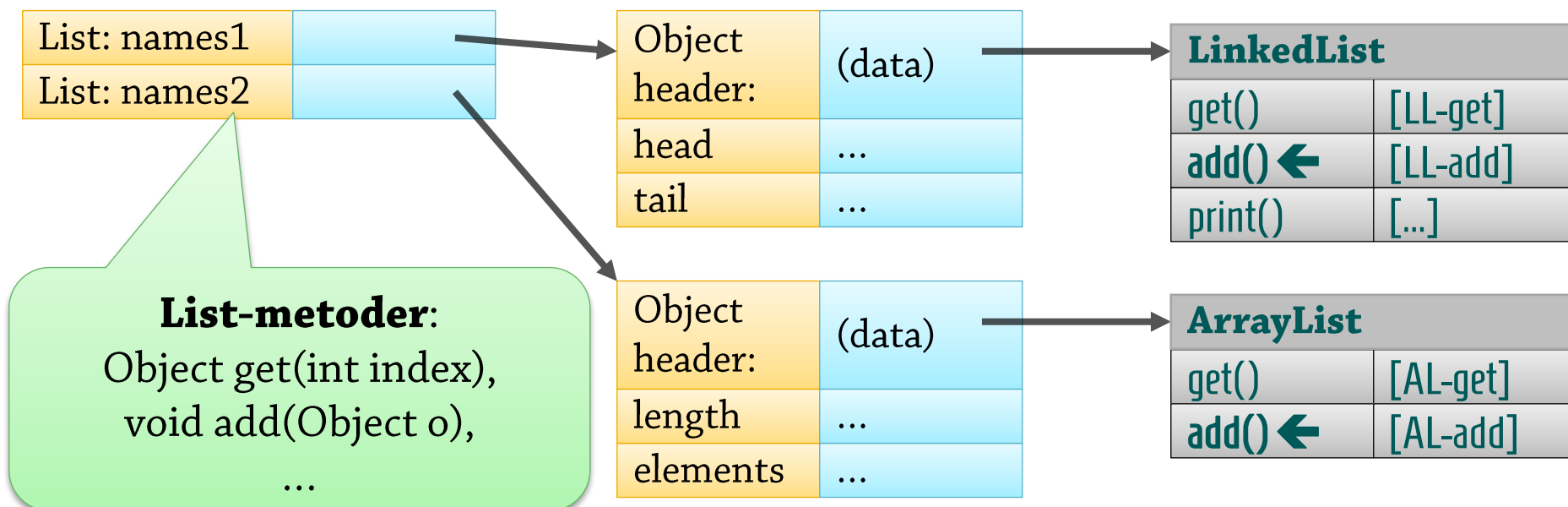
get()	[LL-get]
add()	[LL-add]
print()	[...]

■ Dynamisk bindning = sen bindning = dynamisk dispatch

■ Objektets typ avgör

- `List names1 = foo.getNames();` // Returnerar en **LinkedList**
`names1.add(n1);` // LinkedList-implementationen av add
- `List names2 = bar.getNames();` // Returnerar en **ArrayList**
`names2.add(n1);` // ArrayList-implementationen av add

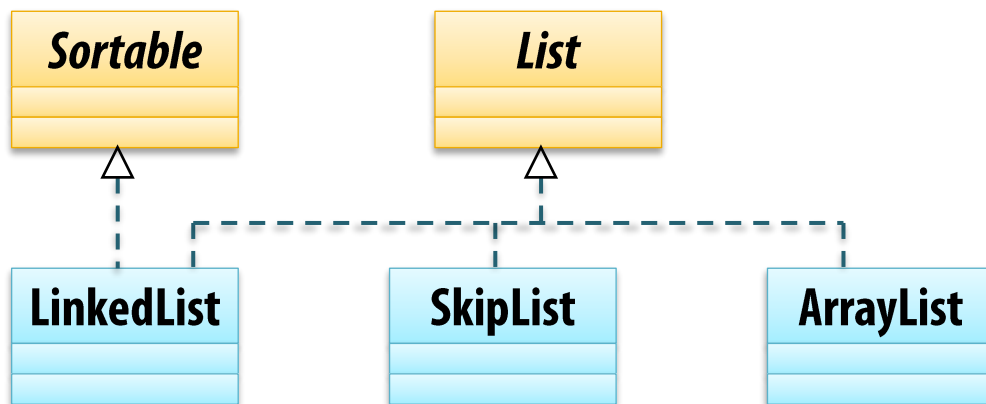
■ Objektet talar (indirekt) om för oss var implementationen finns:



Typhierarkin + sen bindning ger oss...

Subtypspolymorfism

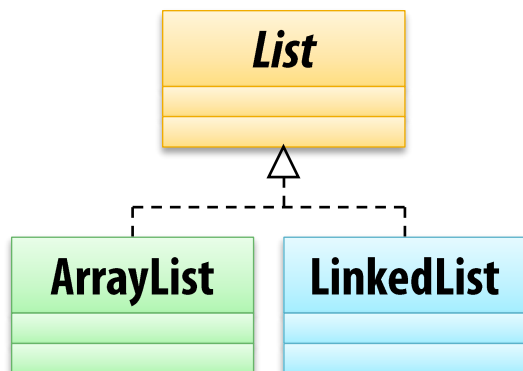
- πολυμορφισμός = som har flera former
- Här:
 - Ett **metodnamn**, deklarerat i en typ
 - Flera **implementationer**, skrivna i **subtyperna**
 - Kallas ofta enbart "polymorfism" – men polymorfism är egentligen bredare begrepp



- Kontrasteras med överlagring = ad-hoc-polymorfism
 - Samma namn, flera implementationer (för olika argumenttyper)
 - **public class** Printer {
 public void print(int val) { ... }
 public void print(double val) { ... }
 public void print(double val, int precision) { ... }
}
 - Inte ett OO-begrepp – mer allmänt!
 - Alla varianter är kända vid kompileringen
 - Ger statisk bindning

Abstrakta klasser i Java

- Klasshierarkin ska grundas i *begrepp, klassificering*
 - Naturligt att prata om *listor* i allmänhet → ge flera *implementationer*



**”X är en speciell sorts Y,
som...”**

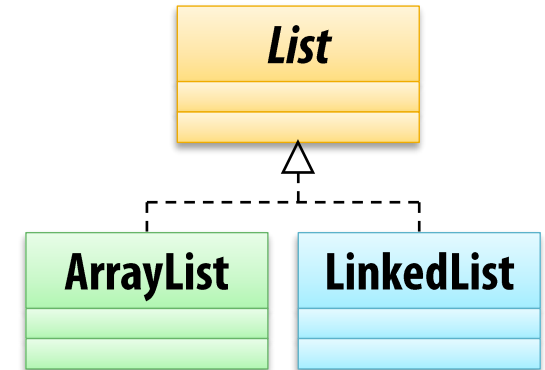
- Naturligt att prata om *grafiska komponenter* i allmänhet
 - → Vissa komponenter är *knappar*
 - → Vissa komponenter är *textfält*
 - → ...

Men ibland vill vi också undvika redundant kod!

(Vanligt ”problem” i projekt...)

Motivation 2: Duplicerad kod

```
public class ArrayList implements List {  
    Object[] elements = new Object[42];  
    int length = 0;  
    int size() { return length; }  
    Object get(int index) { return elements[index]; }  
    void add(Object element) { ... }  
    void set(int index, Object element) { ... }  
    int indexOf(Object o) {  
        for (int i = 0; i < length; i++)  
            if (get(i).equals(o)) return i;  
        return -1;  
    }  
}
```



```
public class LinkedList implements List {  
    Node head = null, tail = null;  
    int length = 0;  
    int size() { return length; }  
    Object get(int index) { ... }  
    void add(Object element) { ... }  
    void set(int index, Object element) { ... }  
    int indexOf(Object o) {  
        for (int i = 0; i < length; i++)  
            if (get(i).equals(o)) return i;  
        return -1;  
    }  
}
```

Massor av duplicerad kod...
Hur kan vi använda *samma* kod
för båda klasser?

Inte flytta till **List**: Gränssnitt ska
ange *krav*, inte *implementation*

Försök 1: Återanvända med konkret klass?

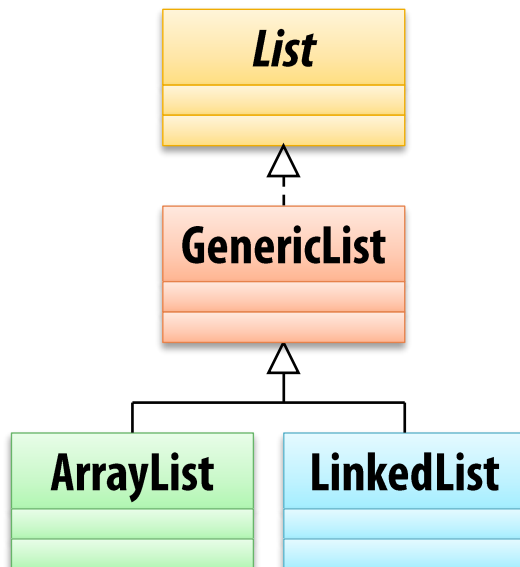


```
public class GenericList implements List {  
    int length = 0;  
    int size() { return length; }  
    int indexOf(Object o) {  
        for (int i = 0; i < length; i++)  
            if (get(i).equals(o)) return i;  
        return -1;  
    }  
}
```

Bra försök,
men GenericList skulle behöva
implementera add(), get(), set()!

```
public class ArrayList extends GenericList {  
    Object[] elements = new Object[42];  
    Object get(final int index) { return elements[index]; }  
    void add(final Object element) { ... }  
    void set(int index, Object element) { ... }  
}
```

```
public class LinkedList extends GenericList {  
    Node head = null, tail = null;  
    Object get(final int index) { ... }  
    void add(final Object element) { ... }  
    void set(int index, Object element) { ... }  
}
```



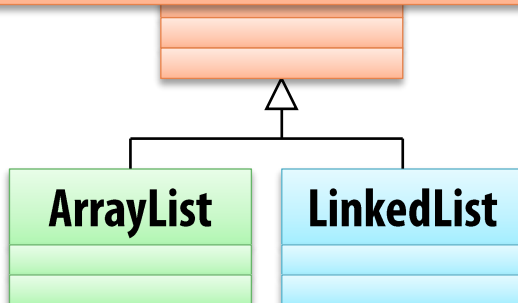
Försök 2: Dummy-implementation?

```
public class GenericList implements List {  
    int length = 0;  
    int size() { return length; }  
    int indexOf(Object o) {  
        for (int i = 0; i < length; i++)  
            if (get(i).equals(o)) return i;  
        return -1;  
    }  
    Object get(final int index) {  
        return null;  
    }  
    void add(final Object element) {}  
    ...  
}
```

Bra försök, men GenericList skulle inte uppfylla kraven på List: get ska returnera rätt element!

```
ends GenericList {  
    Object[] elements = new Object[42];  
    Object get(int index) { return elements[index]; }  
    void set(int index, Object element) { ... }  
}
```

```
extends GenericList {  
    Node head = null, tail = null;  
    Object get(final int index) { ... }  
    void add(final Object element) { ... }  
    void set(int index, Object element) { ... }  
}
```



- Vi vill ha en ***klass***, där:
 - *Vissa* metoder ska implementeras
 - *Andra* metoder ska *krävas*, men inte implementeras
- Klassen blir **ofullständig**, ungefär som gränssnitt
 - Partiellt implementerad
- Kallas ***abstrakt***
 - *existing in thought or as an idea but not having a physical or concrete existence*

Mest för att undvika redundant kod!

Abstract 2: För återanvändning!

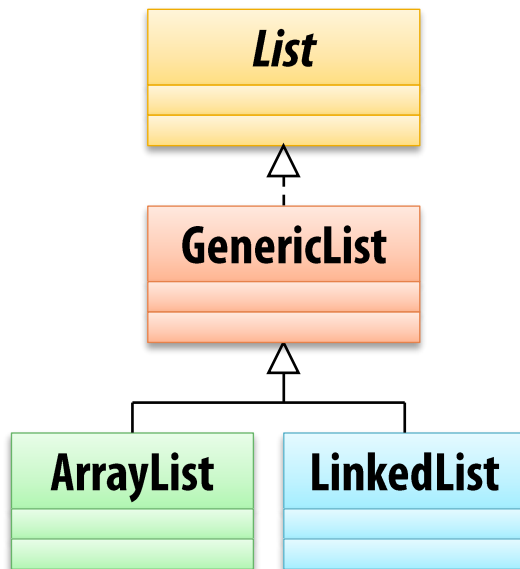
```
public abstract class GenericList implements List {  
    protected int length = 0;  
    public int size() { return length; }  
    public int indexOf(Object o) {  
        for (int i = 0; i < length; i++)  
            if (get(i).equals(o)) return i;  
        return -1;  
    }  
}
```

Ärver löften från List
Saknar ändå get(), add, set()

```
public class ArrayList extends GenericList {  
    public Object[] elements = new Object[42];  
    public Object get(final int index) { ... }  
    public void add(final Object element) { ... }  
    public void set(int index, Object element) { ... }  
}
```

```
public class LinkedList extends GenericList {  
    public Node head = null, tail = null;  
    public Object get(final int index) { ... }  
    public void add(final Object element) { ... }  
    public void set(int index, Object element) { ... }  
}
```

Ärver löften/kod från GenericList
Implementerar det som saknas



Abstract 3: Gå hela vägen!

```
abstract class GenericList implements List {  
    int indexOf(Object o) {  
        for (int i = 0; i < size(); i++)  
            if (get(i).equals(o)) return i;  
        return -1;  
    }  
}
```

Relaterat problem i projekt:
Ärvningen finns där,
men medlemmar repeteras ändå!

```
class ArrayList extends GenericList {  
    int length = 0;  
    int size() { return length; }  
    Object[] elements = new Object[42];  
    ...  
}
```

```
class LinkedList extends GenericList {  
    int length = 0;  
    int size() { return length; }  
    Node head = null, tail = null;  
    ...  
}
```

Flytta till superklassen!

Abstract 4: Varning för upprepning

```
abstract class GenericList implements List {  
    int length = 0;  
    int size() { return length; }  
    int indexOf(Object o) {  
        for (int i = 0; i < size(); i++)  
            if (get(i).equals(o)) return i;  
        return -1;  
    }  
}
```

Relaterat problem i projekt:
Ärvningen finns där,
men fält repeteras ändå!

```
class ArrayList extends GenericList {  
    int length = 0; // Fält har inte "override"  
    Object[] elements = new Object[42];  
    ...  
}
```

Ger skuggning av fält:
Varje ArrayList har TVÅ
fält med namnet length

Vilket som används beror
på pekartypen

Slösar minne
Svårt att förstå!

```
class LinkedList extends GenericList {  
    int length = 0;  
    Node head = null, tail = null;  
    ...  
}
```

Abstract 5: Instansiering

```
public abstract class GenericList implements List
{
    protected int length = 0;
    public int size() { return length; }
    public int indexOf(Object o) {
        for (int i = 0; i < length; i++)
            if (get(i).equals(o)) return i;
        return -1;
    }
}
```

Kan inte instansieras
med "**new** GenericList()"

Kan bara skapa *konkreta* objekt

```
public class LinkedList extends GenericList {
    public Node head = null, tail = null;
    public Object get(final int index) { ... }
    public void add(final Object element) { ... }
    public void set(int index, Object element) { ... }
}
```

Men vi kan skapa
"**new** LinkedList()",
vilket ger en sorts
GenericList!

Abstract 6: Konstruktorer

- Även en abstrakt klass ska initialisera sina objekt

```
abstract class GenericList implements List {  
    protected int length;  
    protected GenericList() {  
        this.length = 0;  
    }  
    public int size() { return length; }  
    public int indexOf(Object obj) {  
        for (int i = 0; i < length; i++)  
            if (get(i).equals(obj)) return i;  
        return -1;  
    }  
}
```

Det finns fält
(som ärvs av ArrayList, ...)

Initialiseras i en konstruktor:
Klassen bestämmer
över sina objekt

```
public class ArrayList extends GenericList {  
    private Object[] elements;  
  
    public ArrayList() {  
        super();  
        this.elements = new Object[42];  
    }  
}
```

new ArrayList() →
super() = GenericList()

Abstract 7: Protected

```
abstract class GenericList implements List {  
    protected int length;  
    protected GenericList() {  
        this.length = 0;  
    }  
    public int size() { return length; }  
    public int indexOf(Object obj) {  
        for (int i = 0; i < length; i++)  
            if (get(i).equals(obj)) return i;  
        return -1;  
    }  
}
```

Konstruktörer i **abstrakta** klasser
bör vara *protected*:
Tillgängliga i subklasser
(enda som kan anropa dem!)

Abstract 8: Begrepp?

- Abstrakta klasser:

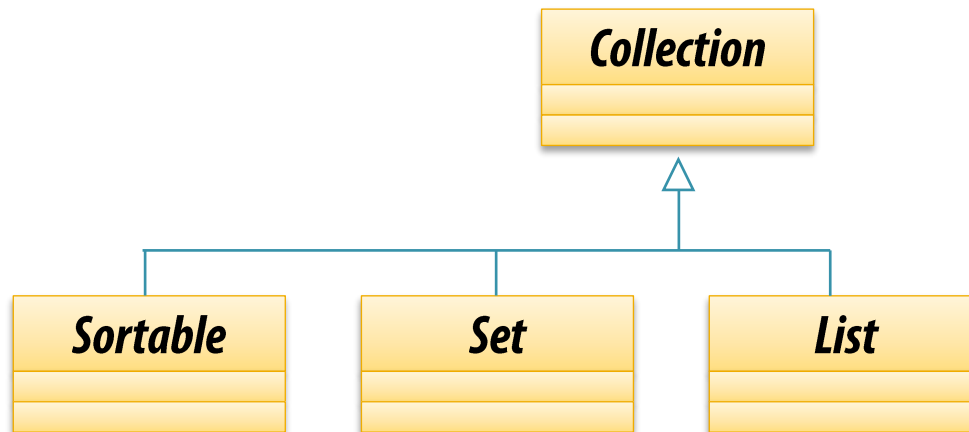
Kan vara ett **undantag** från ”begreppsmodelleringen”

- Inget behov att **prata om** GenericList:
Då räcker det med List
- Men vi vill *samla gemensam kod*

```
abstract class GenericList implements List {  
    protected int length;  
    protected GenericList() {  
        this.length = 0;  
    }  
  
    public int size() { return length; }  
    public int indexOf(Object obj) {  
        for (int i = 0; i < length; i++)  
            if (get(i).equals(obj)) return i;  
        return -1;  
    }  
}
```

Sammanfattning av typhierarkier

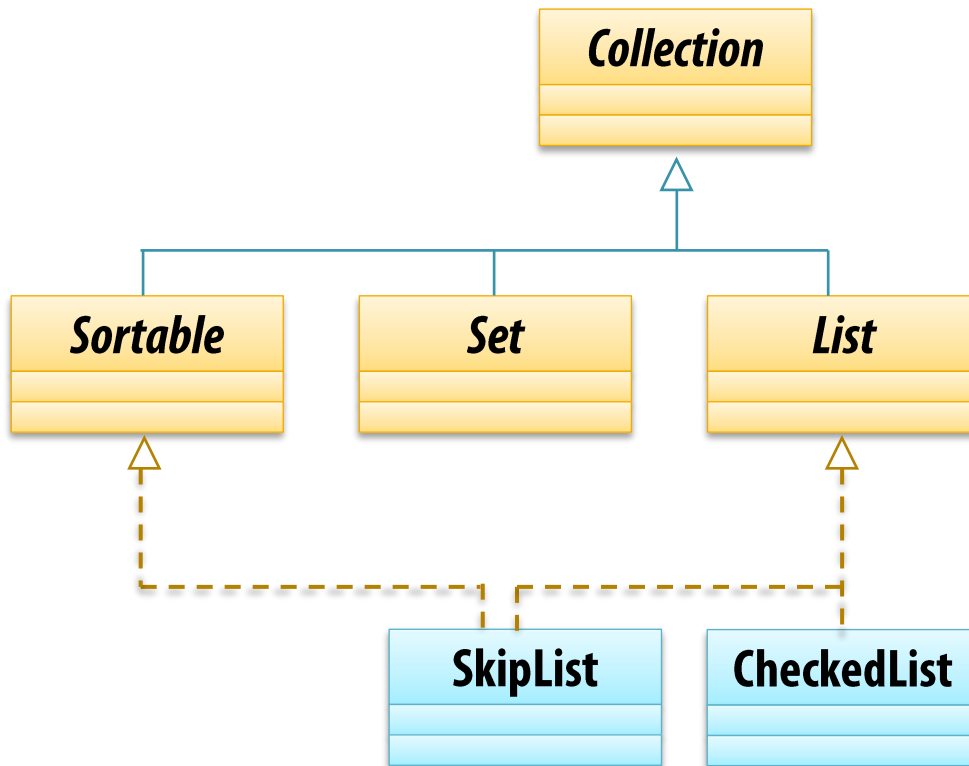
Sammanfattning: Klasshierarkier



2. Ett gränssnitt kan **ärva från** och **utöka** (löften som gavs av) ett annat gränssnitt

1. Ofta (men inte alltid) har vi en mängd **gränssnitt** som definierar **funktionalitet** och ger **löften (kontrakt)**, bland annat genom att ange **abstrakta metoder**

Sammanfattning: Klasshierarkier (2)



3. En metod kan ta "godtycklig Collection" som parameter

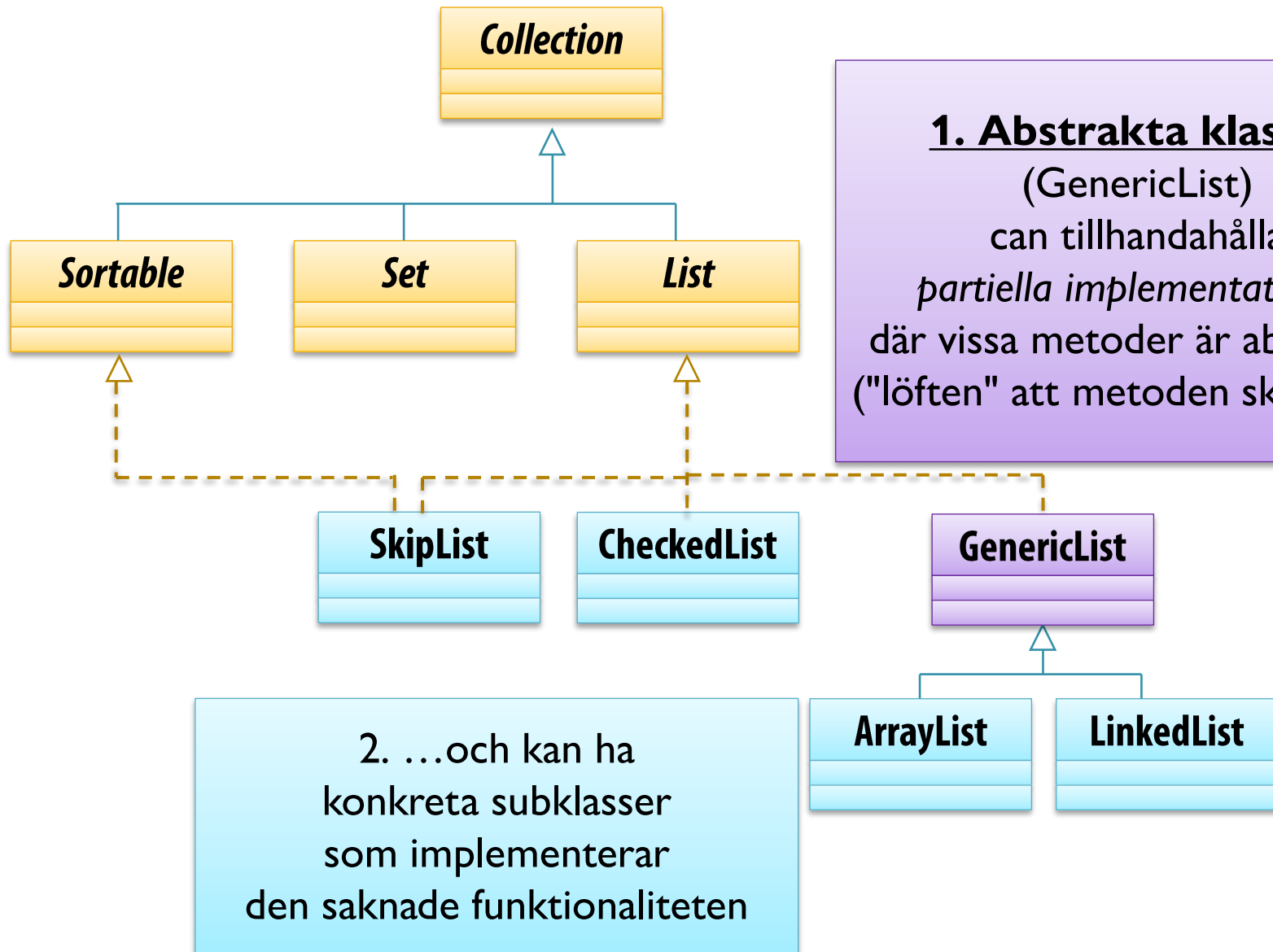
2. En metod kan ta "godtycklig List" som parameter. Kan vara en SkipList eller CheckedList – spelar ingen roll!

1. Klasser kan *implementera* gränssnitt

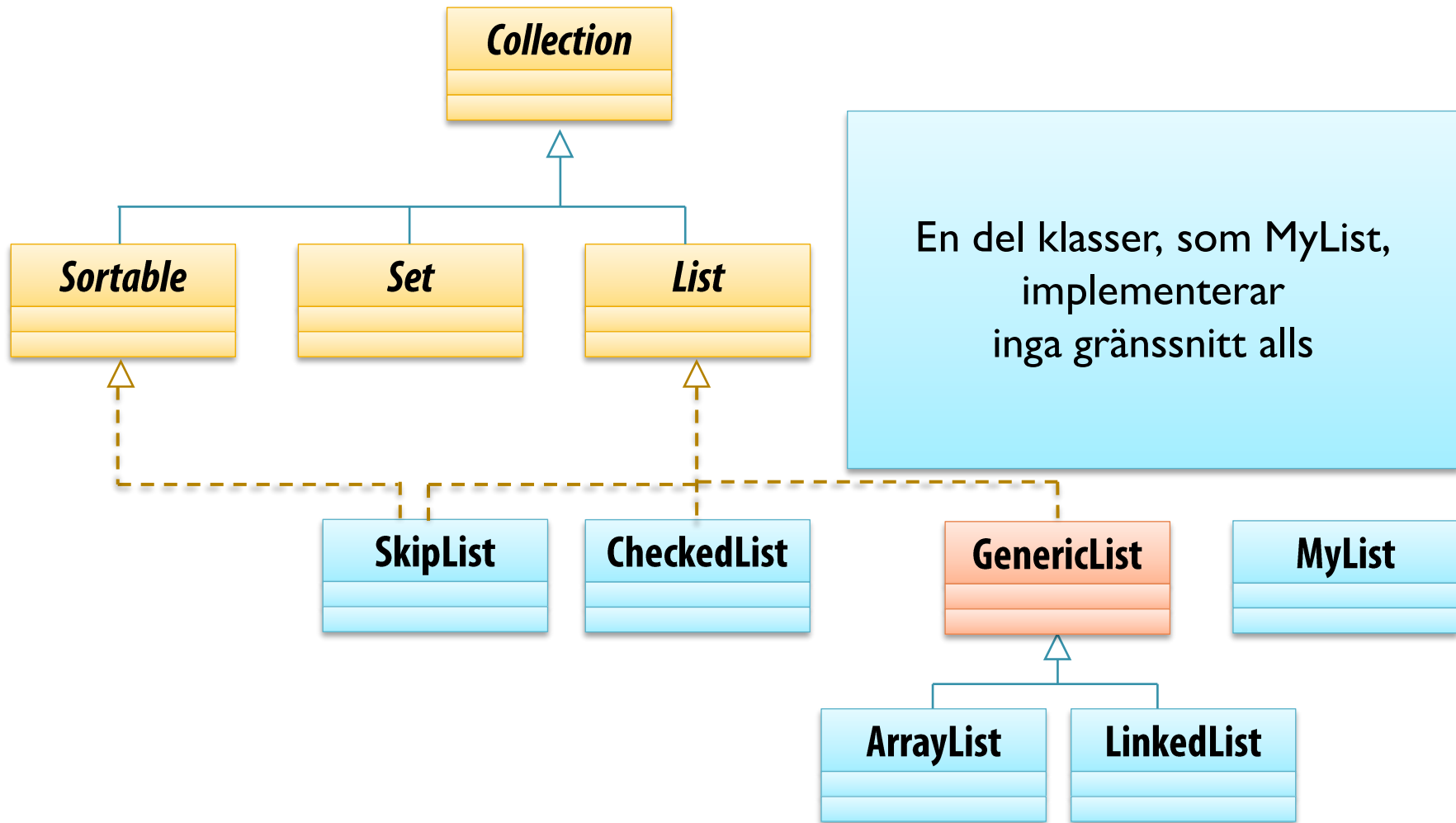
➔ måste uppfylla deras kontrakt

4. En klass kan implementera flera gränssnitt. Ingen tvetydighet, eftersom ingen kod ärvs.

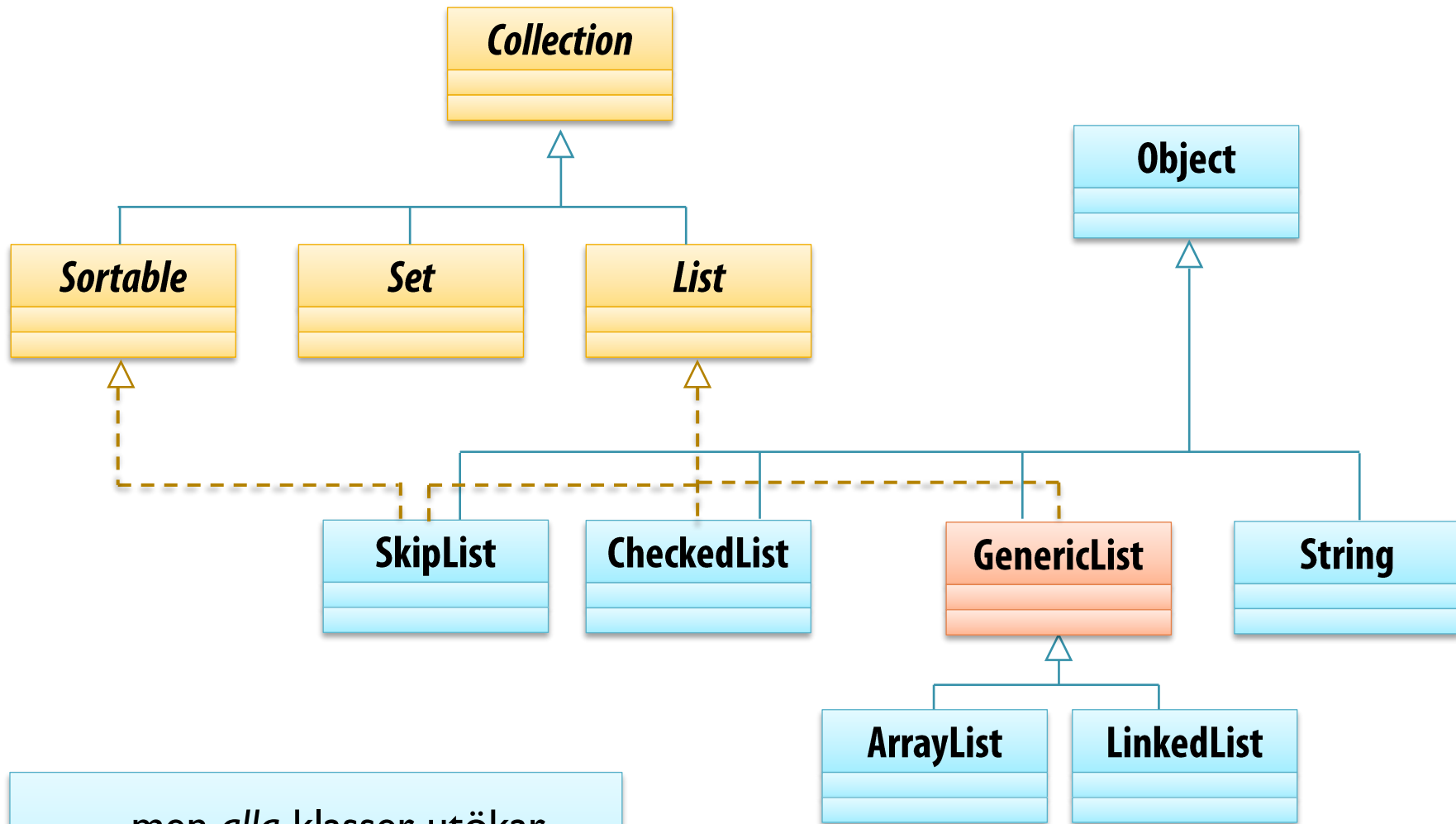
Sammanfattning: Klasshierarkier (3)



Sammanfattning: Klasshierarkier (4)



Sammanfattning: Klasshierarkier (5)



...men *alla* klasser utökar
(direkt eller indirekt)
java.lang.Object!

Egen typkontroll i Java

(RTTI, Run-Time Type Identification)

Varning: Ska användas mycket sparsamt!

Typkontroll: getClass() och instanceof

- Vilken typ har ett visst objekt?

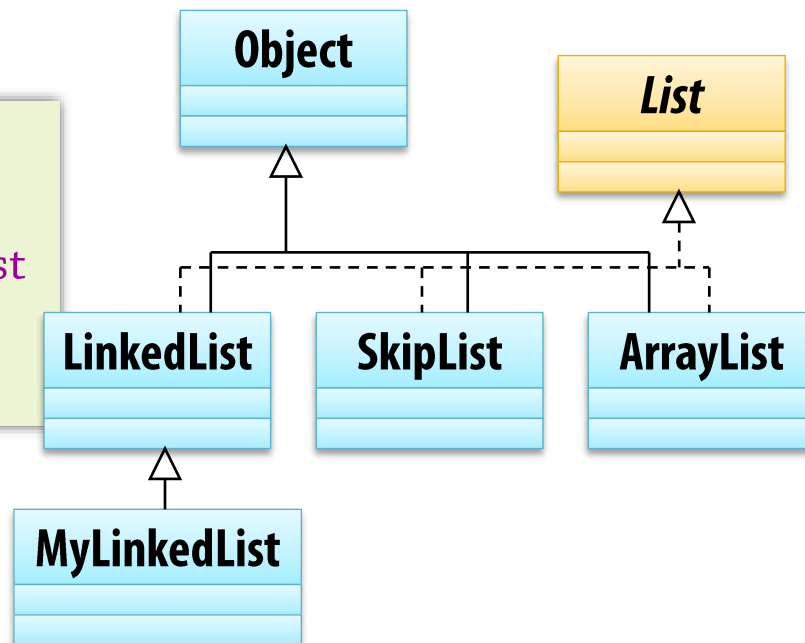
- **Exakt** typ: `object.getClass() == TypeName.class`

```
if (obj.getClass() == LinkedList.class) {  
    // Exakt typkontroll:  
    // obj pekar på ett objekt som skapats med "new LinkedList()  
}
```

- **Subtyp**: `object instanceof TypeName`

```
if (obj instanceof LinkedList) {  
    // Subtypskontroll:  
    // obj pekar på ett objekt av typ LinkedList  
    // eller en subklass som MyLinkedList  
}
```

- Allt är **instanceof** Object!



- Vanligt idiom:
 - Testa typ; "cast" till denna typ

```
if (obj instanceof Person) {  
    Person pers = (Person) obj;  
    // Nu har vi en variabel av typ Person...  
}
```

- I Java 14 och senare: "instanceof pattern"

```
if (obj instanceof Person pers) {  
    // Nu har vi en variabel av typ Person...  
}
```

Typkontroll: Operatörn instanceof (3)

- **Kan** användas för att göra olika saker beroende på typ...

```
■ void checkCollisions() {  
    for (Thing t : thingsOnScreen) {  
        if (player.intersects(t)) {  
            // Vad var det vi kolliderade med egentligen?  
            if (t instanceof Wall) {  
                // Få spelaren att studsas tillbaka  
                // ...  
            } else if (t instanceof Bullet) {  
                // Få spelaren att förlora hälsa  
                // ...  
            } else if (t instanceof Powerup) {  
                player.addPU((Powerup)t);  
                // ...  
            } else if ... { ... }  
        }  
    }  
}
```

“För alla Thing-objekt t
i samlingen thingsOnScreen”

Typkontroll: Operatorn instanceof (4)

- **Kan** användas för att göra olika saker beroende på typ...

```
■ void checkCollisions() {  
    for (Thing t : thingsOnScreen) {  
        if (player.intersects(t)) {  
            if (t instanceof Wall) {  
                // Få spelaren att studsas tillbaka  
            } else if (t instanceof Bullet) {  
                // Få spelaren att förlora hälsa  
            } else if (t instanceof Powerup) {  
                player.addPU((Powerup)t);  
            } else if ...  
        }  
    }  
}
```

Göra olika
beroende på typ...?

Det är ju detta
subtypspolymorfism
är till för!

UNDVIK! Polymorfism är oftast bättre!

Från *Effective C++*, av Scott Meyers :

"Anytime you find yourself writing code of the form 'if the object is of type T1, then do something, but if it's of type T2, then do something else', slap yourself."



Vad är problemet?

```
void checkCollisions() {  
    for (Thing t : thingsOnScreen) {  
        if (player.intersects(t)) {  
            if (t instanceof Wall) {  
                // Make player bounce back  
            } else if (t instanceof Bullet) {  
                // Make player lose health  
            } else if (t instanceof Powerup) {  
                player.addPU((Powerup)t);  
            } else if ...  
        }  
    }  
}
```

**Centraliserat: Läger man till
en ny sorts Thing, måste
denna metod också ändras!**

Bräckligt, inte modulärt!

**Single Responsibility Principle:
Kollisionshanteraren
borde inte bestämma
hur alla saker på skärmen
interagerar med spelaren!**

Varför är polymorfism (oftast) bättre?

```
void checkCollisions() {  
  for (Thing t : thingsOnScreen) {  
    if (player.intersects(t)) {  
      t.handleCollisionWith(player);  
    }  
  }  
}
```

1. Be saken hantera detta

**4. Polymorfism
och dynamisk bindning
→
rätt implementation väljs!**

```
interface Thing {  
  void handleCollisionWith(Player p);  
}
```

**2. Thing lovar att
alla Thing-klasser
kan hantera kollision**

```
class Bullet implements Thing {  
  void handleCollisionWith(Player p) {  
    // Make player lose health  
  }  
}
```

**3. Alla Thing-klasser har
sin egen implementation,
bestämmer sitt beteende**

```
class Powerup implements Thing {  
  void handleCollisionWith(Player p) {  
    p.addPowerUp(this);  
  }  
}
```

Icke-lösningar på problemet



- Ingen instanceof, men samma problem

```
void checkCollisions() {  
    for (Thing t : thingsOnScreen) {  
        if (player.intersects(t)) {  
            if (t.isWall()) {  
                // Make player bounce back  
            } else if (t.isBullet()) {  
                // Make player lose health  
            } else if (t.isPowerup()) {  
                player.addPU((Powerup)t);  
            } else if ...  
        }  
    }  
}
```

```
void checkCollisions() {  
    for (Thing t : thingsOnScreen) {  
        if (player.intersects(t)) {  
            if (t.getType() == WALL) {  
                // Make player bounce back  
            } else if (t.getType() == BULLET) {  
                // Make player lose health  
            } else if (t.getType() == POWERUP) {  
                player.addPU((Powerup)t);  
            } else if ...  
        }  
    }  
}
```

Problemet är typkontrollen, inte instanceof

Be objektet → använd polymorfism