Beispiel:

```
public class Foo {
    protected int foo() { return 1; }
  }
class Fee extends Foo {
    protected int foo() { return 2; }
    public int test(boolean b) {
        Foo x = (b) ? new Foo() : new Fee();
        return x.foo();
      }
  }
```

Aufgabe: Finde zu jeder Benutzung eines Bezeichners die zugehörige Definition

1. Schritt: Ersetze Bezeichner durch eindeutige Nummern !

Input: Folge von Strings

Output:
(1) Folge von Nummern
(2) Tabelle, die zu Nummern die Strings auflistet

Beispiel:

das	schwein	ist	dem	schwein	was	...

...	das	schwein	dem	menschen	ist	wurst

... liefert:

0	1	2	3	1	4	0	1	3	5	2	6

0	das
1	schwein
2	ist
3	dem
4	was
5	menschen
6	wurst

Implementierung 1:

Wir benutzen eine partielle Abbildung: S : **String**$\rightarrow$**int** verwaltet :-)

Wir verwalten einen Zähler **int** count $= 0$; für die Anzahl der bereits gefundenen Wörter :-)

Damit definieren wir eine Funktion: **int** getIndex(**String** w) :

```
int getIndex(String w) {
    if (S (w) ≡ undefined) {
        S = S ⊕ {w ↦ count};
        return count++;
    else return S (w);
}
```

Implementierung 2: Partielle Abbildungen

Ideen:

- Liste von Paaren $(w, i) \in$ **String** $\times$ **int** :

  Einfügen: $\mathcal{O}(1)$

  Finden: $\mathcal{O}(n)$ $\Longrightarrow$ zu teuer :-(

- balancierte Bäume :

  Einfügen: $\mathcal{O}(\log(n))$

  Finden: $\mathcal{O}(\log(n))$ $\Longrightarrow$ zu teuer :-(

- Hash Tables :

  Einfügen: $\mathcal{O}(1)$

  Finden: $\mathcal{O}(1)$ ... zumindest im Mittel :-)

... im Beispiel:

- Wir legen ein Feld M von hinreichender Größe m an :-)
- Wir wählen eine Hash-Funktion H : **String** $\rightarrow [0, m-1]$ mit den Eigenschaften:

  $\rightarrow$ $H(w)$ ist leicht zu berechnen :-)

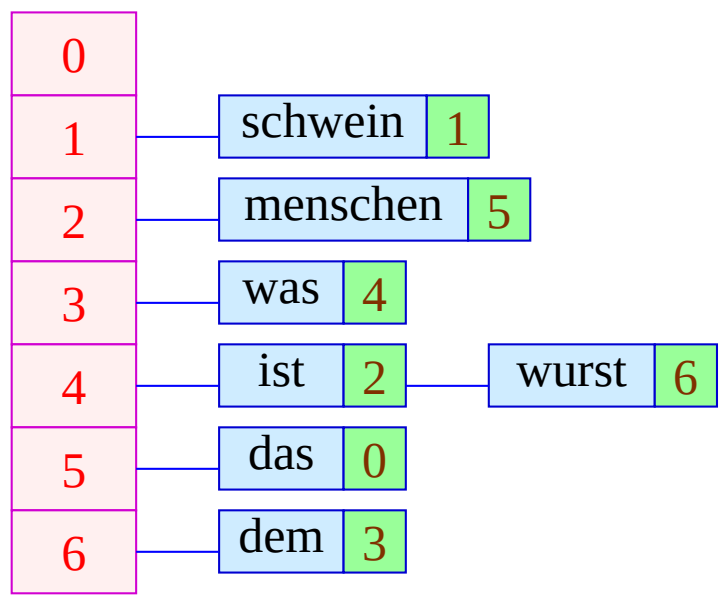
  $\rightarrow$ H streut die vorkommenden Wörter gleichmäßig über $[0, m-1]$:-)

  Mögliche Wahlen:

$$
\begin{aligned}
H_0(x_0 \ldots x_{r-1}) &= (x_0 + x_{r-1}) \,\%\, m \\
H_1(x_0 \ldots x_{r-1}) &= (\textstyle\sum_{i=0}^{r-1} x_i \cdot p^i) \,\%\, m \\
&= (x_0 + p \cdot (x_1 + p \cdot (\ldots + p \cdot x_{r-1} \cdots))) \,\%\, m \\
&\quad \text{für eine Primzahl } p \qquad \text{(z.B. } 31 \text{ :-)}
\end{aligned}
$$

- Das Argument-Wert-Paar (w, i) legen wir dann in $M[H(w)]$ ab :-)

Mit $m = 7$ und H_0 erhalten wir:



Um den Wert des Worts w zu finden, müssen wir w mit allen Worten x vergleichen, für die $H(w) = H(x)$:-)

2. Schritt: Symboltabellen

- Durchmustere den Syntaxbaum in einer geeigneten Reihenfolge, die

  → jede Definition vor ihren Benutzungen besucht :-)

  → die jeweils aktuell sichtbare Definition zuletzt besucht :-)

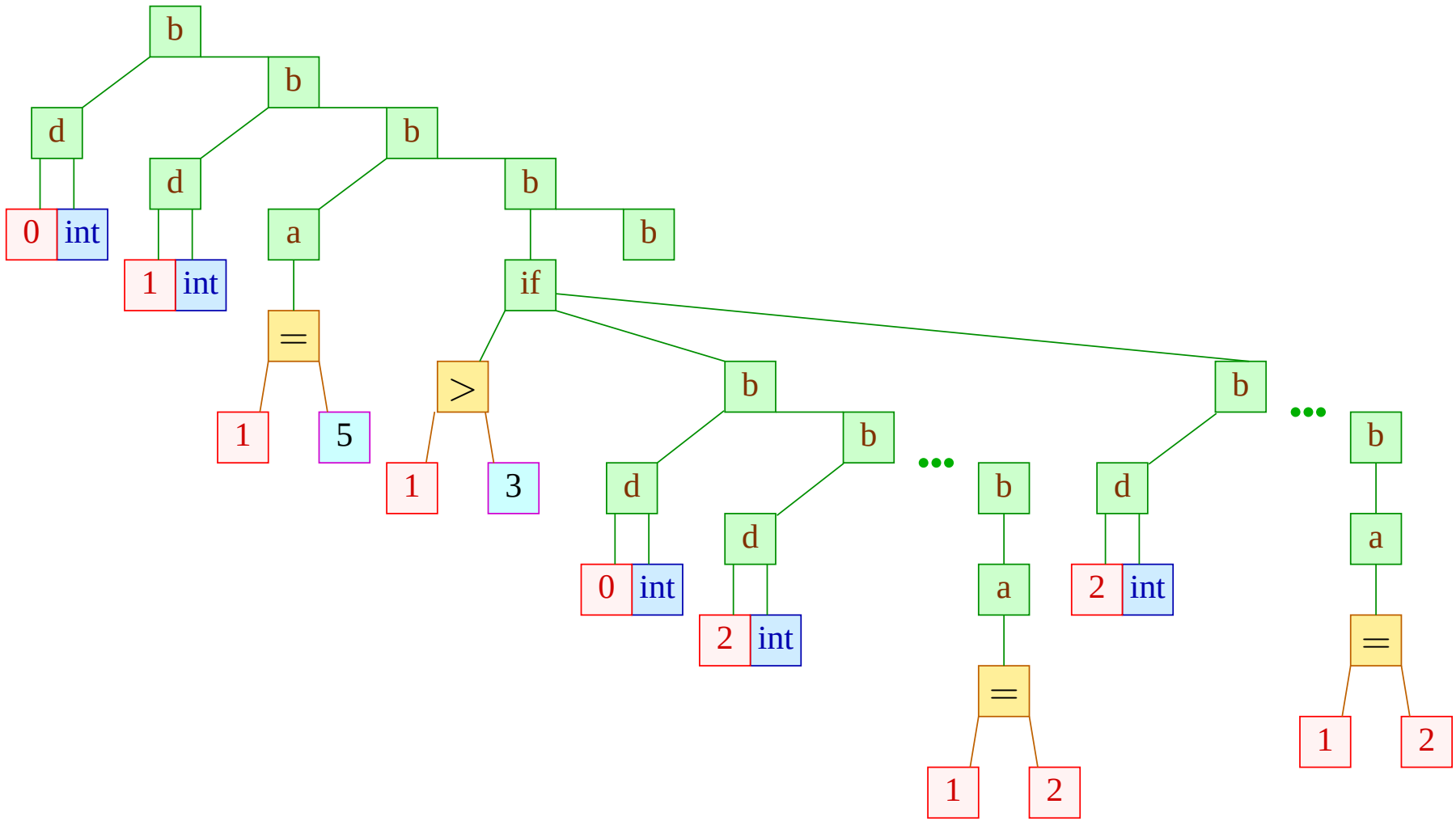
- Für jeden Bezeichner verwaltet man einen Keller der gültigen Definitionen.
- Trifft man bei der Durchmusterung auf eine Definition eines Bezeichners, schiebt man sie auf den Keller.
- Verlässt man den Gültigkeitsbereich, muss man sie wieder vom Keller werfen :-)
- Trifft man bei der Durchmusterung auf eine Benutzung, schlägt man die letzte Definition auf dem Keller nach ...
- Findet man keine Definition, haben wir einen Fehler gefunden :-)

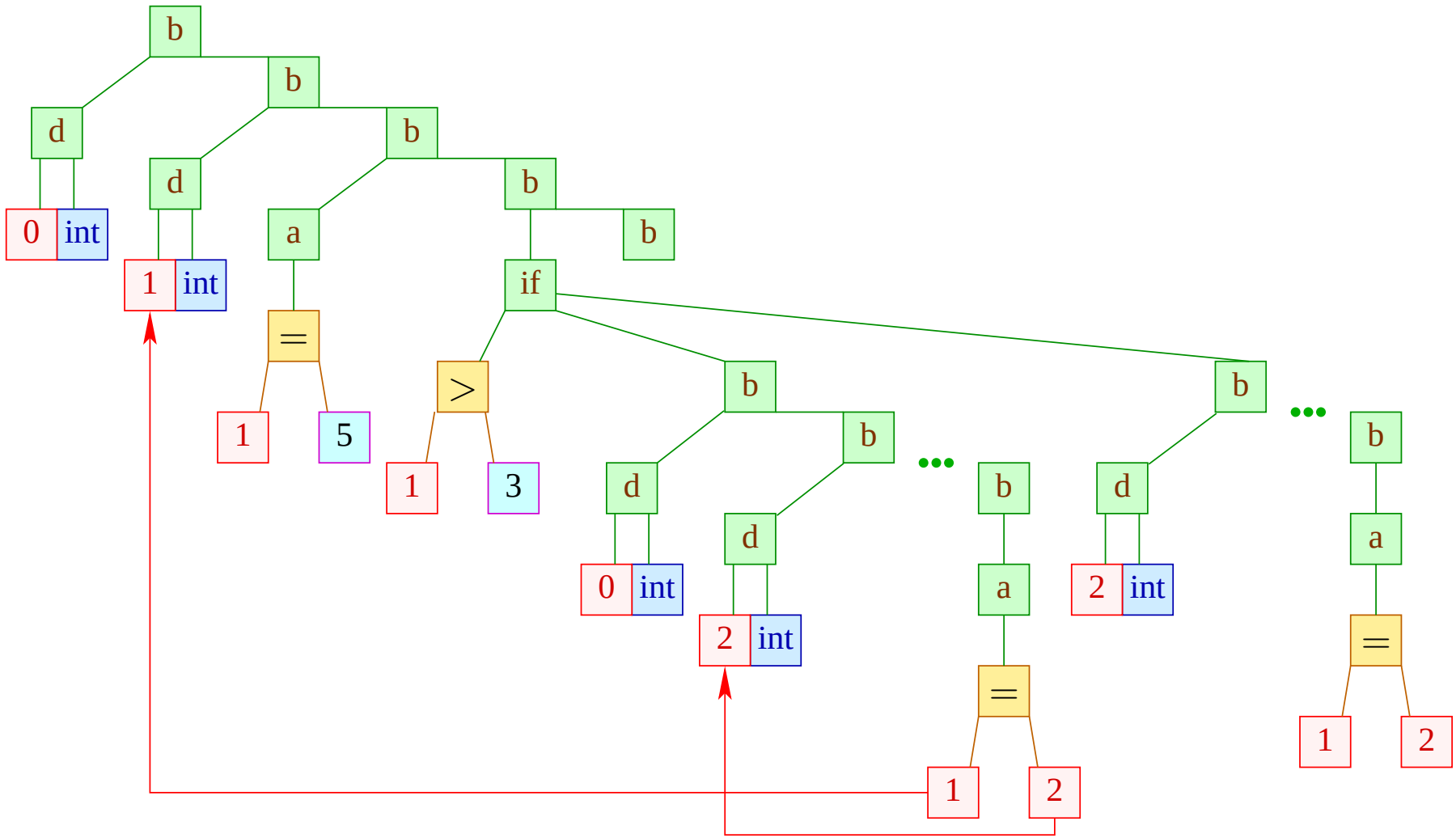
Beispiel:

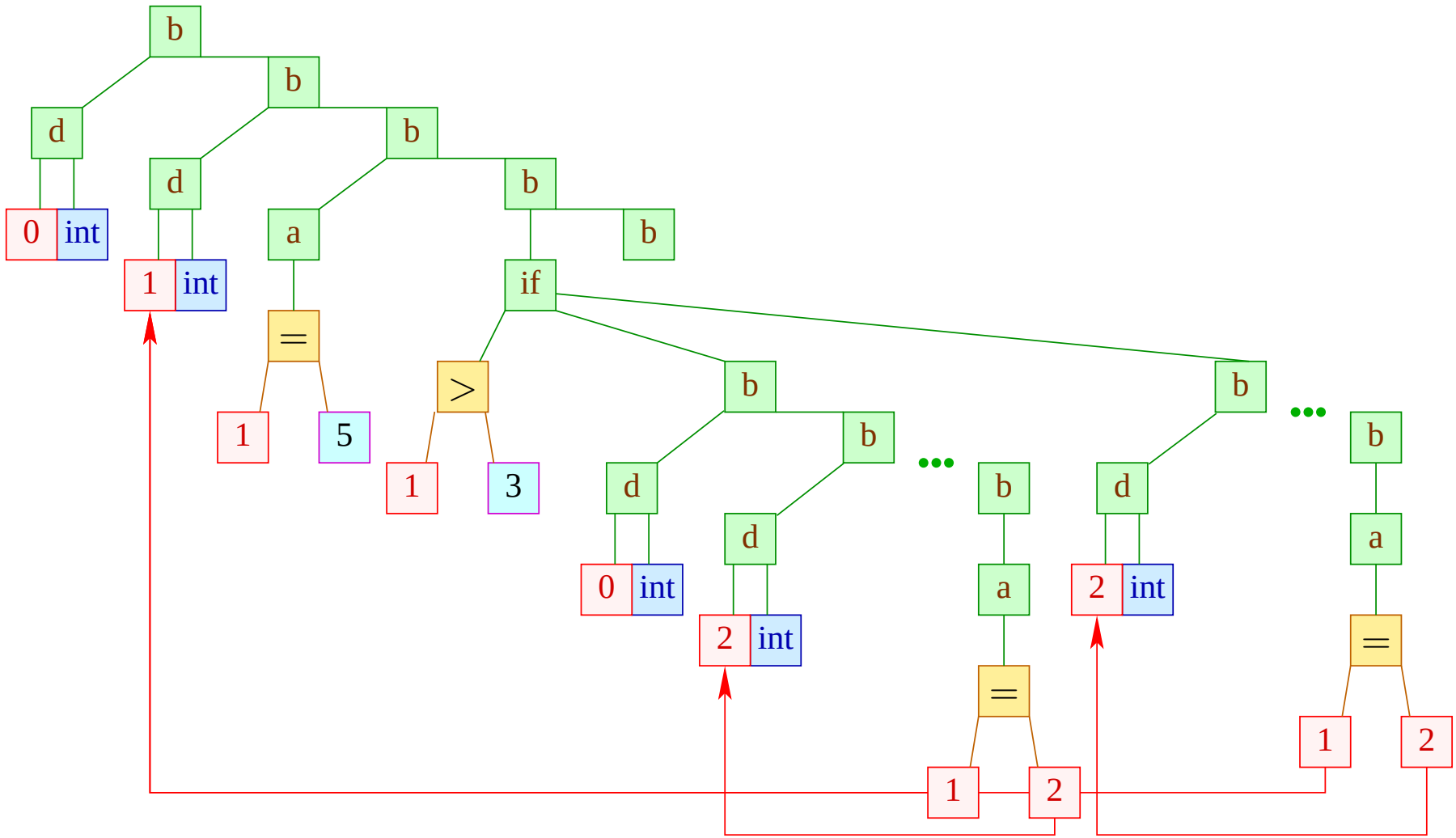
```
{ int a, b;
  a = 5;
  if (a > 3) {
        int a, c;
        a = 3;
        c = a + 1;
        b = c;
  } else {
        int c;
        c = a + 1;
        b = c;
    }
  b = a + b;
}
```

0	a
1	b
2	c

Der zugehörige Syntaxbaum ...


b
d
0
int
b
d
1
int
b
a
=
1
5
b
if
>
1
3
b
d
0
int
b
d
2
int
...
b
a
=
1
2
b
d
2
int
...
b
a
=
1
2


b
d
b
0
int
d
b
1
int
a
b
a
b
=
if
1
5
>
b
b
b
1
3
d
b
d
b
a
0
int
d
a
2
int
=
2
int
=
1
2
1
2


b
d
b
0
int
d
b
1
int
a
b
b
a
if
=
b
b
b
1
5
>
b
b
d
d
b
d
b
1
3
0
int
2
int
a
2
int
a
=
=
1
2
1
2
1
2

Diskussion:

- Der Durchlauf ist hier einfach links-rechts DFS.
- Benutzt man eine Listen-Implementierung der Keller und eine rekursive Implementierung, kann man auf das Beseitigen der jeweils neuen Definitionen verzichten :-)
- Anstelle erst die Namen durch Nummern zu ersetzen und dann die Zuordnung von Benutzungen zu Definitionen vorzunehmen, kann man auch gleich eindeutige Nummern vergeben :-))

Diskussion:

- Der Durchlauf ist hier einfach links-rechts DFS.
- Benutzt man eine Listen-Implementierung der Keller und eine rekursive Implementierung, kann man auf das Beseitigen der jeweils neuen Definitionen verzichten :-)
- Anstelle erst die Namen durch Nummern zu ersetzen und dann die Zuordnung von Benutzungen zu Definitionen vorzunehmen, kann man auch gleich eindeutige Nummern vergeben :-))

Achtung:

- Manche Programmiersprachen verbieten eine Mehrfach-Deklaration des selben Namens innerhalb eines Blocks ;-)
- Dann muss man für jede Deklaration einen Pointer auf den Block verwalten, zu dem sie gehört.
- Gibt es eine weitere Deklaration des gleichen Namens mit dem selben Pointer, muss ein Fehler gemeldet werden :-))

Erweiterung:

- Hat man mehrere wechselseitig rekursive Funktionsdefinitionen in einem Block, müssen deren Namen vor Durchmustern der Rümpfe in die Tabelle eingetragen werden ...

$$
\begin{array}{lll}
\textbf{fun} & \mathsf{odd}\,0 & = & \textbf{false} \\
\mid & \mathsf{odd}\,1 & = & \textbf{true} \\
\mid & \mathsf{odd}\,x & = & \mathsf{even}\,(x-1) \\
\textbf{and} & \mathsf{even}\,0 & = & \textbf{true} \\
\mid & \mathsf{even}\,1 & = & \textbf{false} \\
\mid & \mathsf{even}\,x & = & \mathsf{odd}\,(x-1)
\end{array}
$$

- Hat man eine objektorientierte Sprache mit Vererbung zwischen Klassen, sollte die übergeordnete Klasse vor der Unterklasse besucht werden :-)
- Bei Überladung muss simultan eine Typüberprüfung vorgenommen werden ...

3.2 Typ-Überprüfung

In modernen (imperativen / objektorientierten / funktionalen) Programmiersprachen besitzen Variablen und Funktionen einen Typ, z.B. **int**, **struct** { **int** x; **int** y; }.

Typen sind nützlich für:

- die Speicherverwaltung;
- die Vermeidung von Laufzeit-Fehlern :-)

In imperativen /objektorientierten Programmiersprachen muss der Typ bei der Deklaration spezifiziert und vom Compiler die typ-korrekte Verwendung überprüft werden :-)

Typen werden durch Typ-Ausdrücke beschrieben.

Die Menge T der Typausdrücke enthält:

(1) Basis-Typen: **int**, **boolean**, **float**, **void** ...

(2) Typkonstruktoren, angewendet auf Typen, z.B.:

- Verbunde: **struct** $\{ t_1\ a_1; \ldots t_k\ a_k; \}$
- Zeiger: $t\ *$
- Felder: $t\ []$

  Achtung:
  In C muss zusätzlich eine Größe spezifiziert werden; die Variable muss dann zwischen t und $[n]$ stehen :-(

- Funktionen: $t\ (t_1, \ldots, t_k)$

  Achtung:
  In C muss die Variable zwischen t und $(t_1, \ldots, t_k)$ stehen.

  In SML dagegen würde man diesen Typ anders herum schreiben:
  $t_1 * \ldots * t_k \rightarrow t$:-)

  Wir benutzen: $(t_1, \ldots, t_k)$ als Tupel-Typen.

(3) Typ-Namen.

Typ-Namen sind nützlich:

- als Abkürzung :-)

  In C kann man diese mithilfe von **typedef** einführen:

  typedef t x ;

- zur Konstruktion rekursiver Typen ...

Beispiel:

```
struct list0 {
        int info;
        struct list1 * next;
    } ;
```

```
struct list1 {
        int info;
        struct list0 * next;
    } ;
```

Aufgabe:

Gegeben: eine Menge von Typ-Deklarationen $\Gamma = \{t_1\ x_1; \ldots t_m\ x_m;\}$

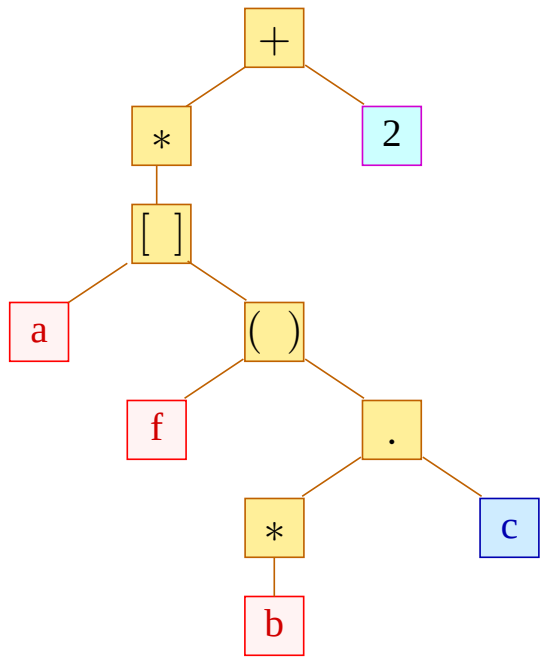
Überprüfe: Kann ein Ausdruck e mit dem Typ t versehen werden?

Beispiel:

```
struct list {int info; struct list *next;};
int f(struct list *l) {return 1;};
struct {struct list *c;} *b;
int *a[11];
```

Betrachte den Ausdruck:

$$*\mathsf{a}[f(\mathsf{b} \rightarrow \mathsf{c})] + 2;$$



Idee:

- Traversiere den Syntaxbaum bottom-up.
- Für Bezeichner sagt uns Γ den richtigen Typ :-)
- Konstanten wie 2 oder 0.5 sehen wir den Typ direkt an ;-)
- Die Typen für die inneren Knoten erschießen wir mithilfe von Typ-Regeln.

Formal betrachten wir Aussagen der Form:

$$\Gamma \vdash e : t$$

// (In der Typ-Umgebung Γ hat e den Typ t)

Axiome:

Const: $\Gamma \vdash c : t_c$ (t_c Typ der Konstante c)

Var: $\Gamma \vdash x : \Gamma(x)$ (x Variable)

Regeln:

Ref: $$\frac{\Gamma \vdash e : t}{\Gamma \vdash \& e : t *}$$

Deref: $$\frac{\Gamma \vdash e : t *}{\Gamma \vdash * e : t}$$