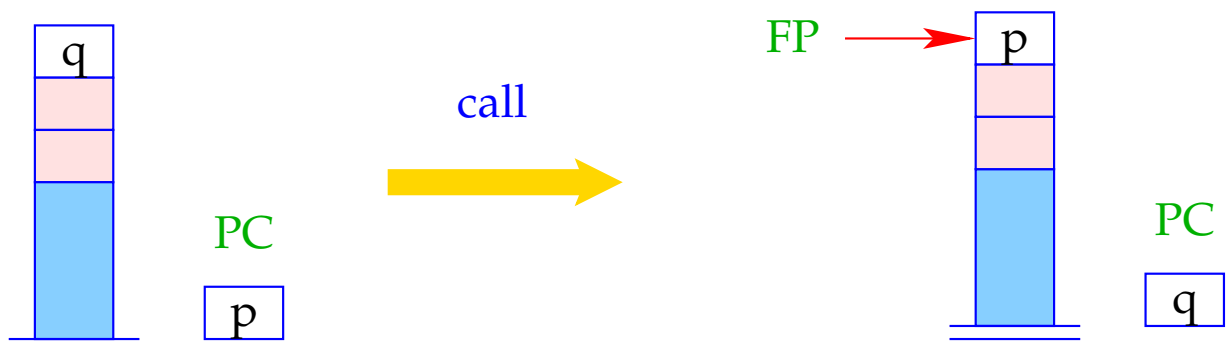
Der Befehl mark legt Platz für Rückgabewert und organisatorische Zellen an und rettet FP und EP.

S[SP+1] = EP;

S[SP+2] = FP;

SP = SP + 2;

Der Befehl call rettet die Fortsetzungs-Adresse und setzt FP und PC auf die aktuellen Werte.



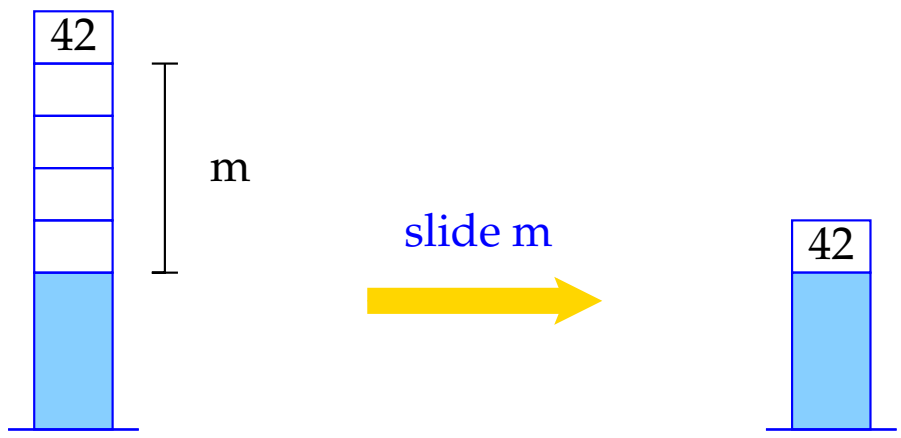
tmp = S[SP];

S[SP] = PC;

FP = SP;

PC = tmp;

Der Befehl slide kopiert den Rückgabewert an die korrekte Stelle:



tmp = S[SP];

SP = SP-m;

S[SP] = tmp;

Entsprechend übersetzen wir eine Funktions-Definition:

$$\text{code} \quad t\ \mathrm{f}\ (specs)\{V_defs \quad ss\} \quad \rho \quad =$$

```
_f:   enter q        //  setzen des EP
      alloc k        //  Anlegen der lokalen Variablen
      code ss ρf
      return         //  Verlassen der Funktion
```

wobei $\mathrm{q} = max + \mathrm{k}$ wobei

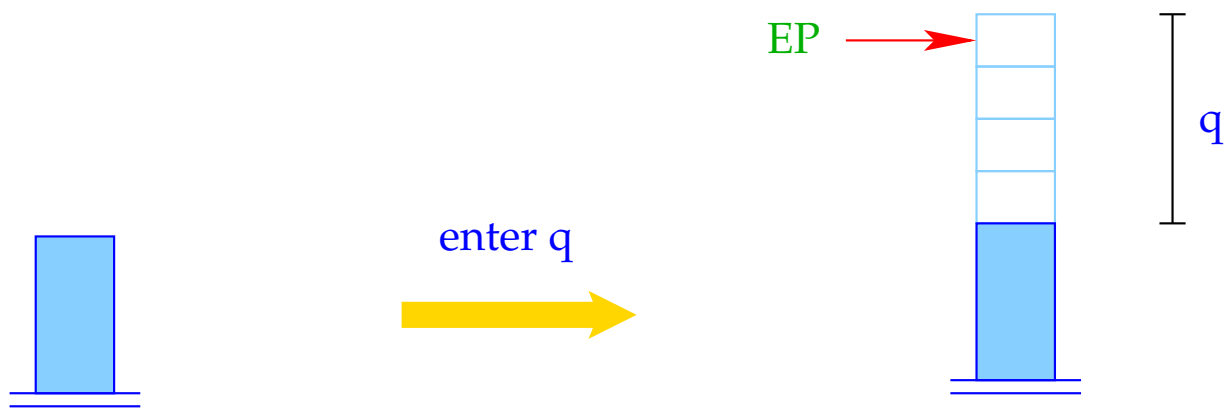
max = maximale Länge des lokalen Kellers

k = Platz für die lokalen Variablen

ρ_{f} = Adress-Umgebung für f

// *berücksichtigt specs, V_defs* und ρ

Der Befehl enter q setzt den EP auf den neuen Wert. Steht nicht mehr genügend Platz zur Verfügung, wird die Programm-Ausführung abgebrochen.

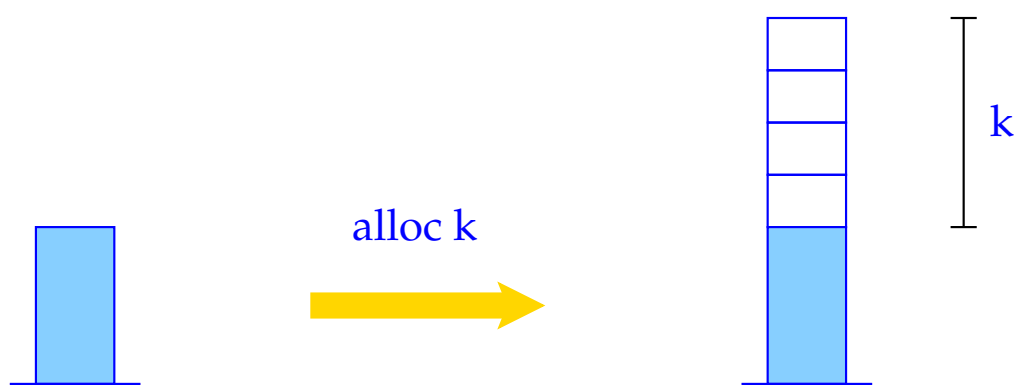


EP = SP + q;

if (EP $\geq$ NP)

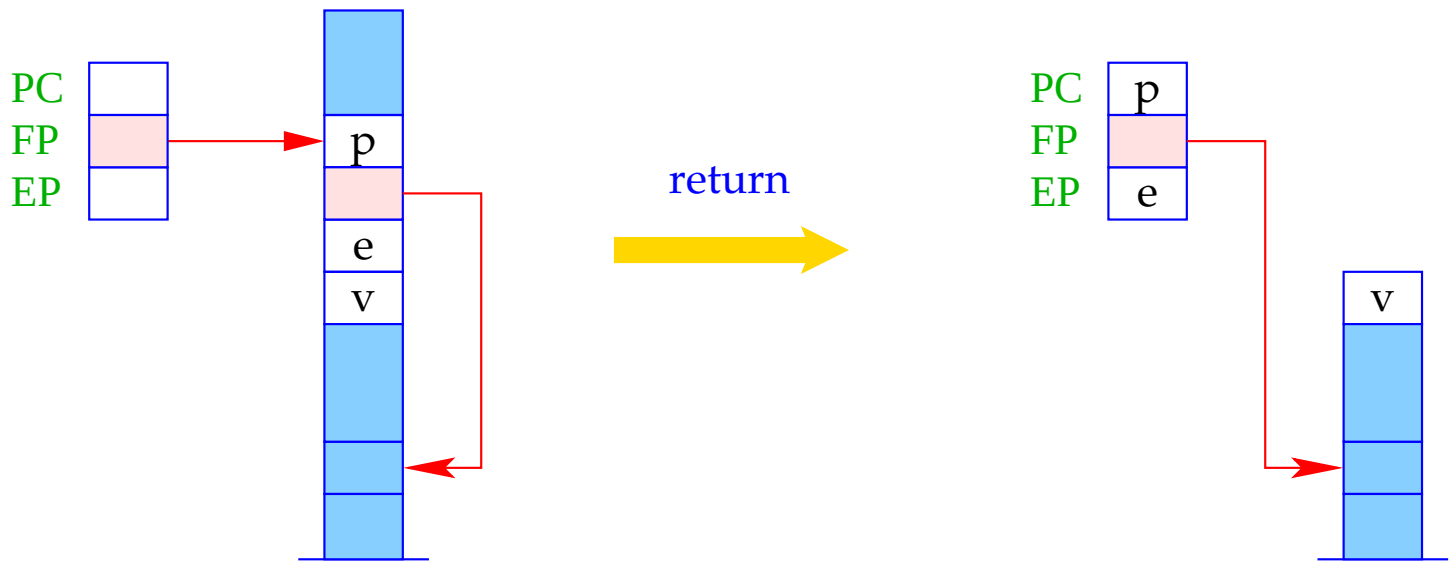
Error ("Stack Overflow");

Der Befehl alloc k reserviert auf dem Keller Platz für die lokalen Variablen.



SP = SP + k;

Der Befehl return gibt den aktuellen Keller-Rahmen auf. D.h. er restauriert die Register PC, EP und FP:



PC = S[FP]; EP = S[FP-2];

if (EP $\geq$ NP) Error ("Stack Overflow");

SP = FP-3; FP = S[SP+2];

9.4 Zugriff auf Variablen, formale Parameter und Rückgabe von Werten

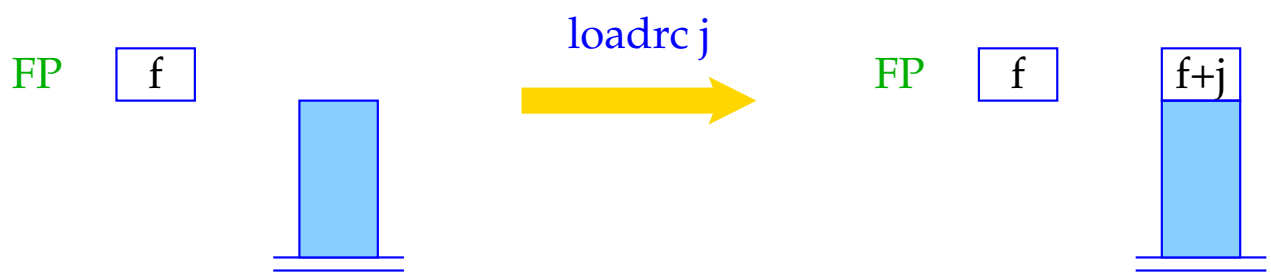
Zugriffe auf lokale Variablen oder formale Parameter erfolgen relativ zum aktuellen FP.

Darum modifizieren wir code_L für Variablen-Namen.

Für $\rho\ x = (tag, j)$ definieren wir

$$\text{code}_\text{L}\ x\ \rho = \begin{cases} \text{loadc j} & tag = G \\ \text{loadrc j} & tag = L \end{cases}$$

Der Befehl loadrc j berechnet die Summe von FP und j.



SP++;

S[SP] = FP+j;

Als Optimierung führt man analog zu loada j und storea j die Befehle loadr j und storer j ein:

loadr j	=	loadrc j load
bla; storer j	=	loadrc j; bla store

Der Code für **return** e; entspricht einer Zuweisung an eine Variable mit Relativadresse -3.

$$\text{code}\ \textbf{return}\, e;\ \rho \quad = \quad \begin{array}{l} \text{code}_{\text{R}}\ e\ \rho \\ \text{storer -3} \\ \text{return} \end{array}$$

Beispiel: Für die Funktion

```
int fac (int x) {
   if (x ≤ 0) return 1;
   else return x * fac (x − 1);
}
```

erzeugen wir:

```
_fac:  enter q     loadc 1      A:  loadr -3        mul
       alloc 0     storer -3        loadr -3        storer -3
       loadr -3    return           loadc 1         return
       loadc 0     jump B           sub          B: return
       leq                          mark
       jumpz A                      loadc _fac
                                    call
```

Dabei ist $\rho_{\text{fac}} : x \mapsto (L, -3)$ und $\mathrm{q} = 1 + 5 = 6$.

10 Übersetzung ganzer Programme

Vor der Programmausführung gilt:

$$\mathrm{SP} = -1 \qquad \mathrm{FP} = \mathrm{EP} = 0 \qquad \mathrm{PC} = 0 \qquad \mathrm{NP} = \mathrm{MAX}$$

Sei $p \equiv V_defs \quad F_def_1 \ldots F_def_n$, ein Programm, wobei F_def_i eine Funktion f_i definiert, von denen eine main heißt.

Der Code für das Programm p enthält:

- Code für die Funktions-Definitionen F_def_i;
- Code zum Anlegen der globalen Variablen;
- Code für den Aufruf von main();
- die Instruktion halt.

Dann definieren wir:

$$
\begin{array}{lcll}
\text{code } p\ \emptyset & = & & \text{enter } (\mathrm{k}+6) \\
 & & & \text{alloc } (\mathrm{k}+1) \\
 & & & \text{loadc } 0 \\
 & & & \text{mark} \\
 & & & \text{loadc _main} \\
 & & & \text{call} \\
 & & & \text{slide } (\mathrm{k}+1) \\
 & & & \text{halt} \\
 & & _\mathrm{f}_1: & \text{code } F_def_1\ \rho \\
 & & & \vdots \\
 & & _\mathrm{f}_n: & \text{code } F_def_n\ \rho
\end{array}
$$

wobei $\emptyset \quad \widehat{=} \quad$ leere Adress-Umgebung;

$\rho \quad \widehat{=} \quad$ globale Adress-Umgebung;

$\mathrm{k} \quad \widehat{=} \quad$ Platz für globale Variablen