Die Geheimnisse um targ k und return k lüften wir später.

17 Funktionsanwendungen

Funktions-Anwendungen entsprechen Funktions-Aufrufen in C. Notwendige Aktionen zur Auswertung von $e'\ e_0\ \ldots\ e_{m-1}$ sind:

- Anlegen eines Kellerrahmens;
- Parameter-Übergabe, d.h. bei:
  CBV: Auswerten der aktuellen Parameter;
  CBN: Anlegen von Abschlüssen für die aktuellen Parameter;
- Auswerten der Funktion e' zu einem F-Objekt;
- Anwenden der Funktion.

Folglich für CBN:

$$
\begin{array}{rcll}
\text{code}_V\ (e'\ e_0\ \ldots\ e_{m-1})\ \rho\ \text{kp} & = & \text{mark A} & // \text{ Anlegen des Rahmens} \\
 & & \text{code}_C\ e_{m-1}\ \rho\ (\text{kp}+3) & \\
 & & \text{code}_C\ e_{m-2}\ \rho\ (\text{kp}+4) & \\
 & & \ldots & \\
 & & \text{code}_C\ e_0\ \rho\ (\text{kp}+m+2) & \\
 & & \text{code}_V\ e'\ \rho\ (\text{kp}+m+3) & // \text{ Auswerten der Funktion} \\
 & & \text{apply} & // \text{ entspricht call} \\
 & A: & \ldots &
\end{array}
$$

Wenn wir CBV implementieren wollen, müssen die Argumente vor dem Funktions-Aufruf ausgewertet werden.

Dann benutzen wir code_V anstelle von code_C für die Argumente e_i :-)

Beispiel:

Für $(f\ 42)$, $\rho = \{f \mapsto (L, 2)\}$ und kp $= 2$ liefert das bei CBV:

2	mark A	6	mkbasic	7		apply
5	loadc 42	6	pushloc 4	3	A :	...

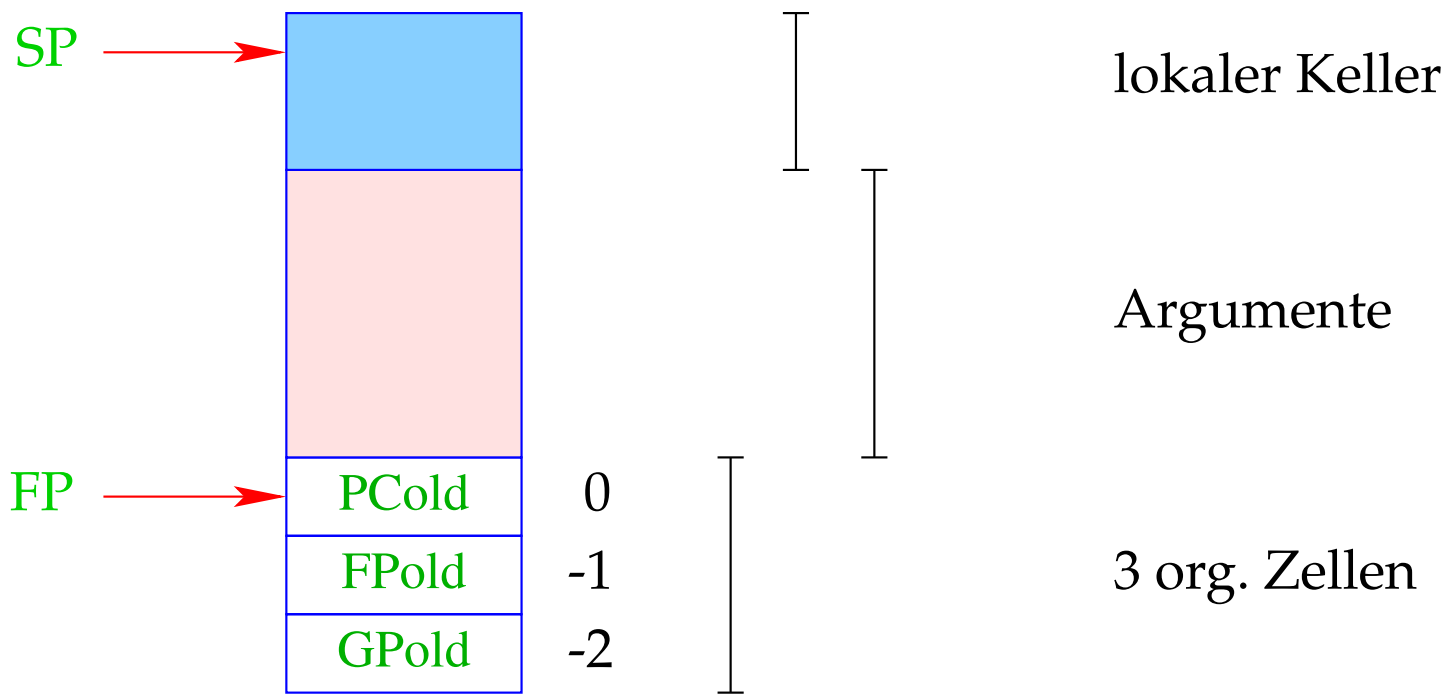
Ein etwas größeres Beispiel:

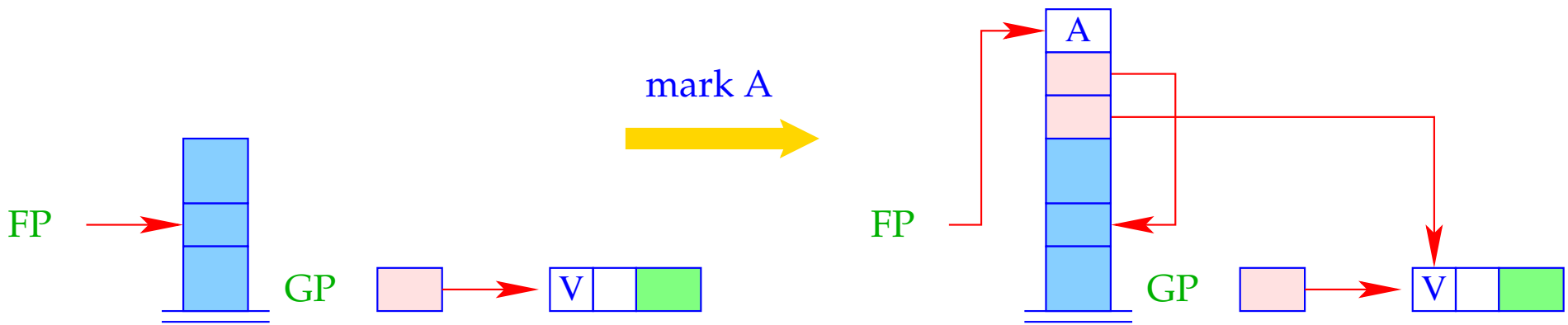
$$\textbf{let}\ a = 17;\ f = \textbf{fn}\ b \Rightarrow a + b\ \textbf{in}\ f\ 42$$

Bei CBV erhalten wir für $\mathrm{kp} = 0$:

0	loadc 17	2		jump B	2		getbasic	5		loadc 42
1	mkbasic	0	A:	targ 1	2		add	5		mkbasic
1	pushloc 0	0		pushglob 0	1		mkbasic	6		pushloc 4
2	mkvec 1	1		getbasic	1		return 1	7		apply
2	mkfunval A	1		pushloc 1	2	B:	mark C	3	C:	slide 2

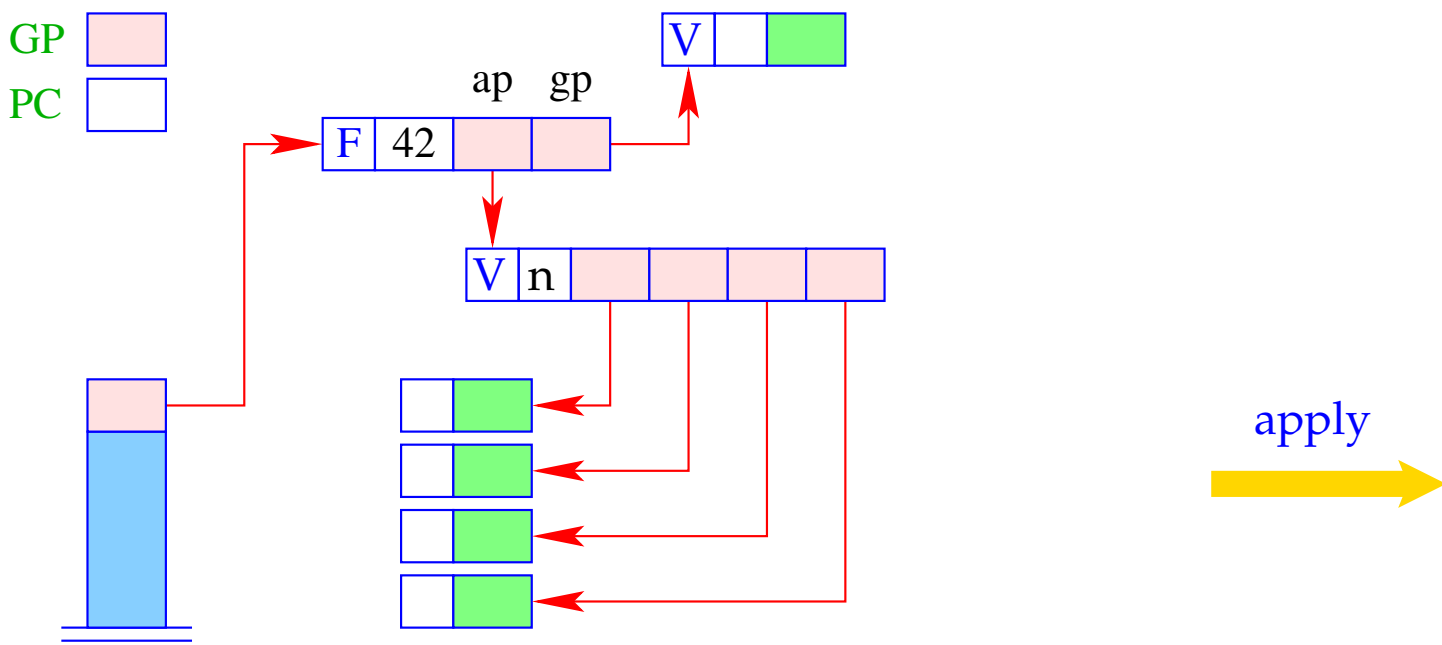
Vor der Implementierung der neuen Instruktionen müssen wir die Organisation eines Kellerrahmens festlegen:





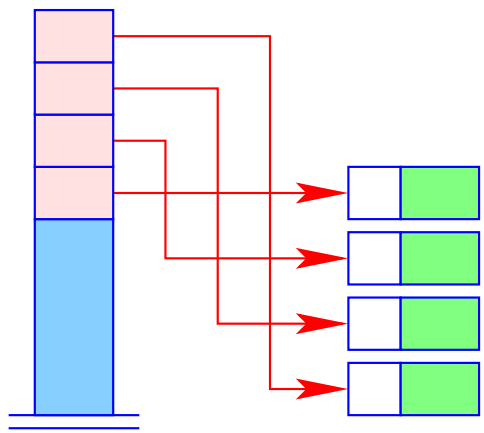
S[SP+1] = GP;
S[SP+2] = FP;
S[SP+3] = A;
FP = SP = SP + 3;

- Im Gegensatz zur CMa rettet hier bereits der mark-Befehl die Adresse, an der die Programm-Ausführung nach der Abarbeitung der Funktions-Anwendung fortfahren soll.
- Der apply-Befehl muss das F-Objekt, auf das (hoffentlich) oben auf dem Keller ein Verweis liegt, auspacken und an der dort angegebenen Adresse fortfahren.




```
h = S[SP];
if (H[h] != (F,_,_))
    Error "no fun";
else {
GP = h→gp; PC = h→cp;
for (i=0; i< h→ap→n; i++)
    S[SP+i] = h→ap→v[i];
SP = SP + h→ap→n – 1;
}
```

GP
PC
42
V



Achtung!

- Das 0-te Element des Argument-Vektors legen wir zuerst auf den Keller. Dieses muss also die äußerste Argument-Referenz darstellen.
- Das müssen wir berücksichtigen, wenn wir die Argumente einer unterversorgten Funktions-Anwendung zu einem F-Objekt einpacken!!!

18 Unter- und Überversorgung mit Argumenten

Der erste Befehl, der nach einem apply ausgeführt wird, ist targ k.

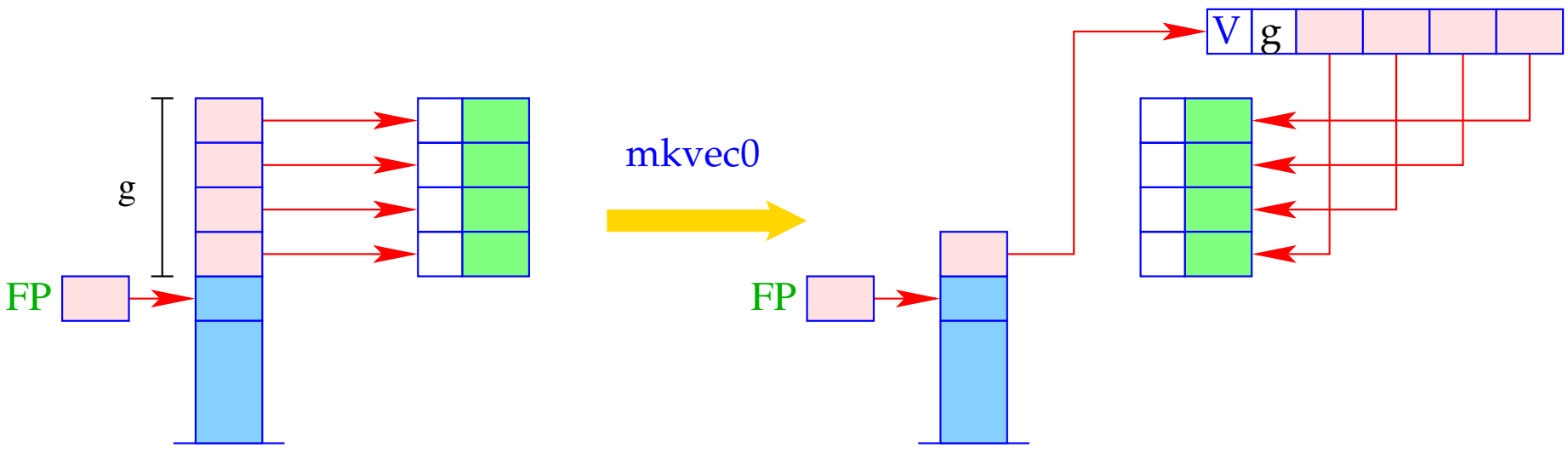
Er überprüft, ob bereits genügend Argumente vorliegen, um den Funktions-Rumpf auszuführen. Die Anzahl der Argumente ist: SP – FP .

Sind nicht genügend Argumente vorhanden, wird als Ergebnis ein neues F-Objekt zurückgeliefert. Andernfalls soll der Rumpf normal betreten werden.

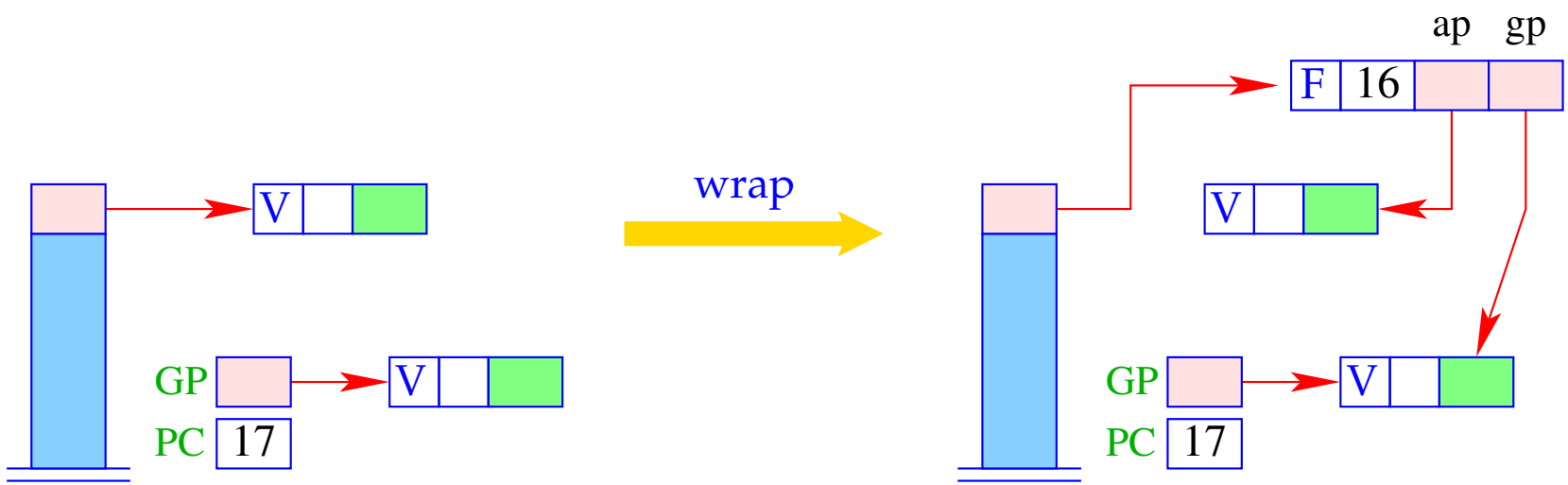
targ k ist ein komplizierter Befehl. Darum zerlegen wir seine Ausführung in mehrere Schritte:

```
targ k  =  if (SP – FP < k) {
              mkvec0;        // Anlegen des Argument – Vektors
              wrap;          // Anlegen des F – Objekts
              popenv;        // Aufgeben des Kellerrahmens
           }
```

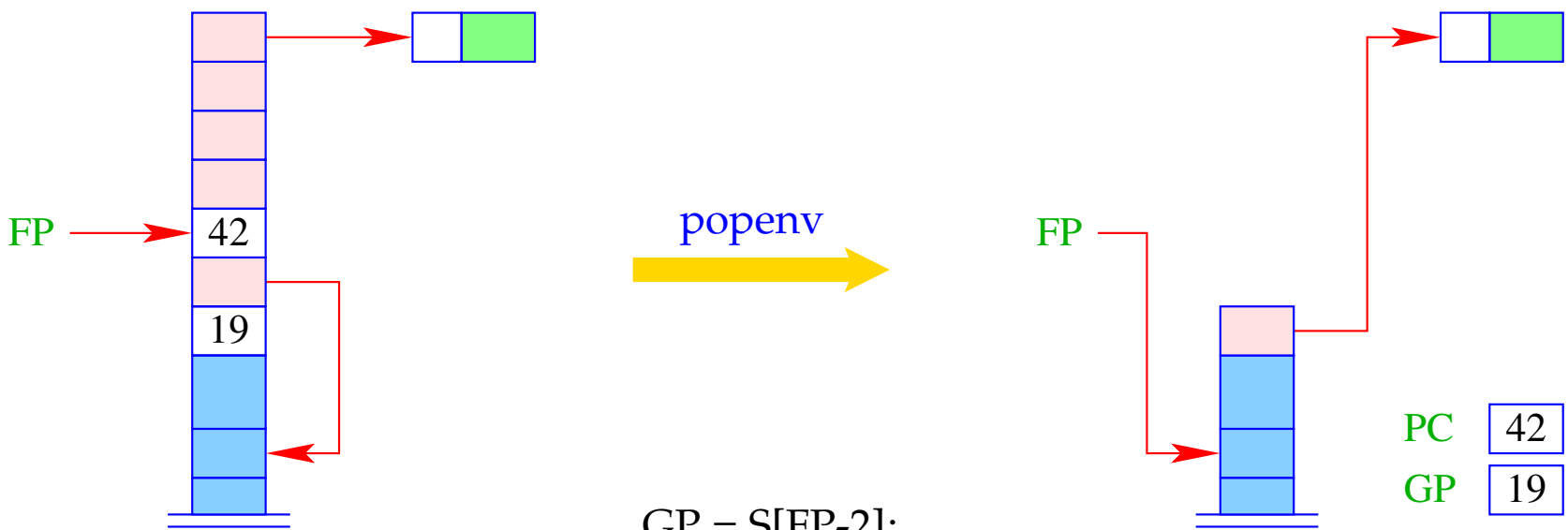
Die Zusammenfassung dieser festen Schritt-Abfolge zu einem Befehl kann als eine Art Optimierung verstanden werden :-)




```
g = SP–FP; h = new (V, g);
SP = FP+1;
for (i=0; i<g; i++)
    h→v[i] = S[SP + i];
S[SP] = h;
```

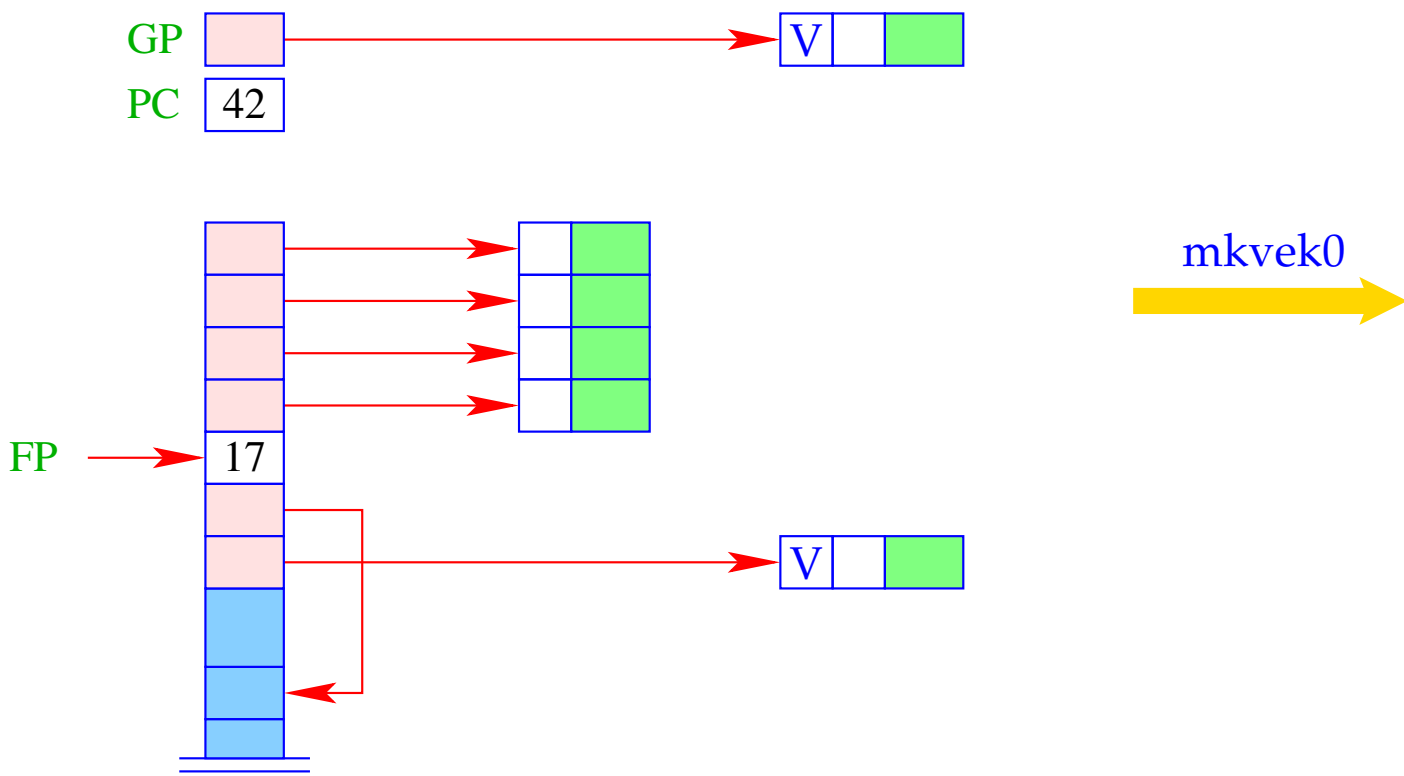


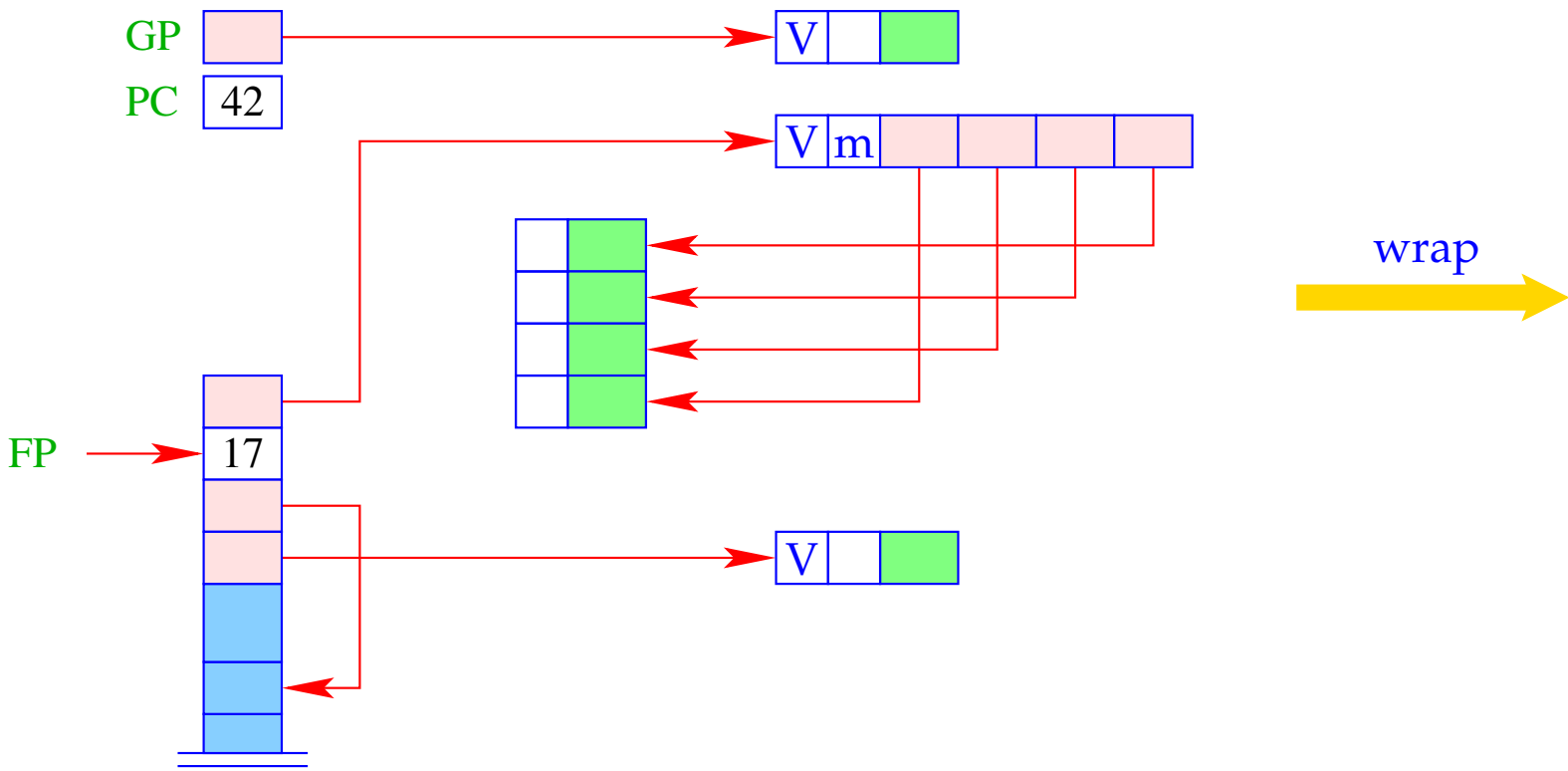
S[SP] = new (F, PC–1, S[SP], GP);

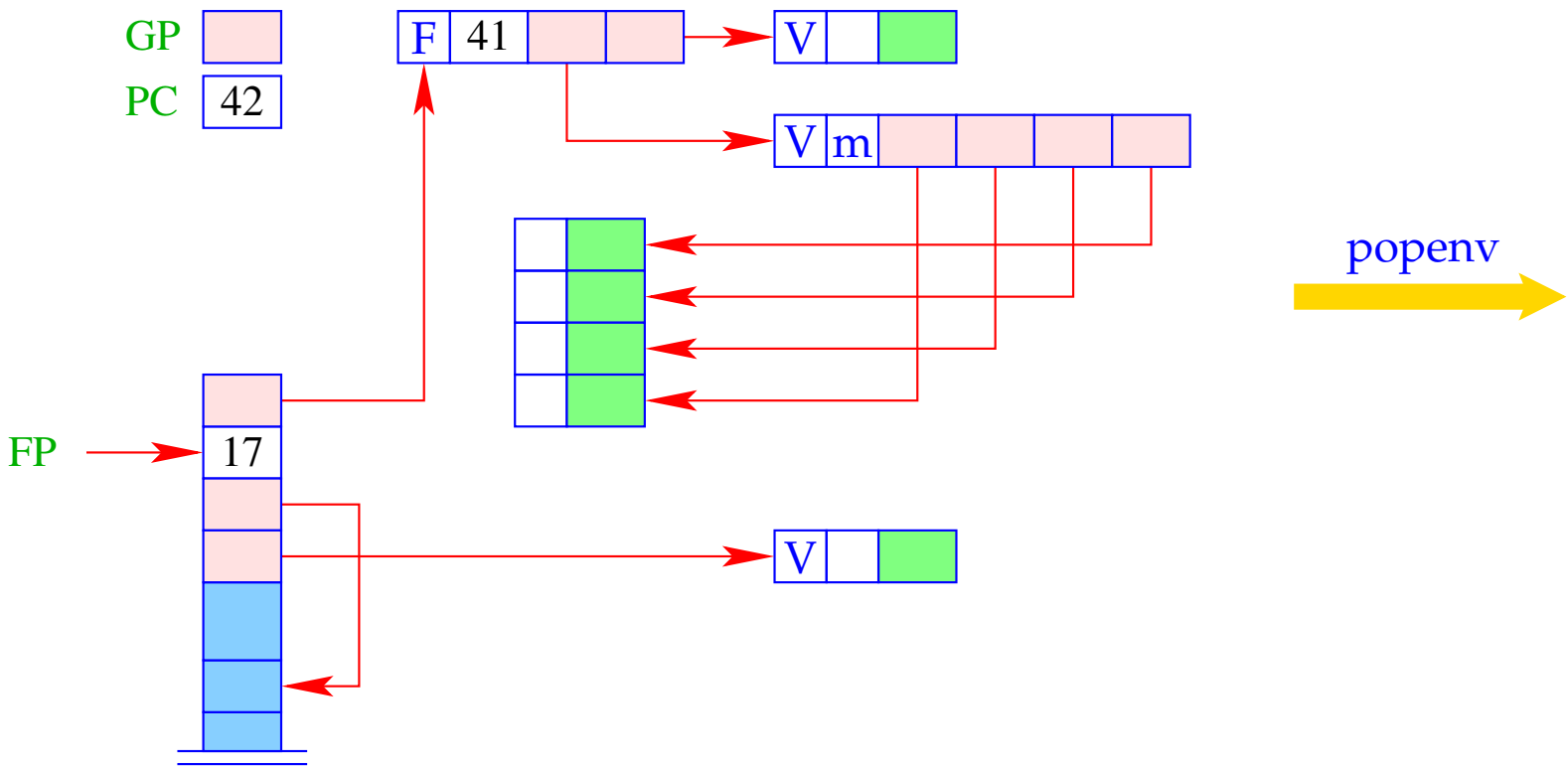


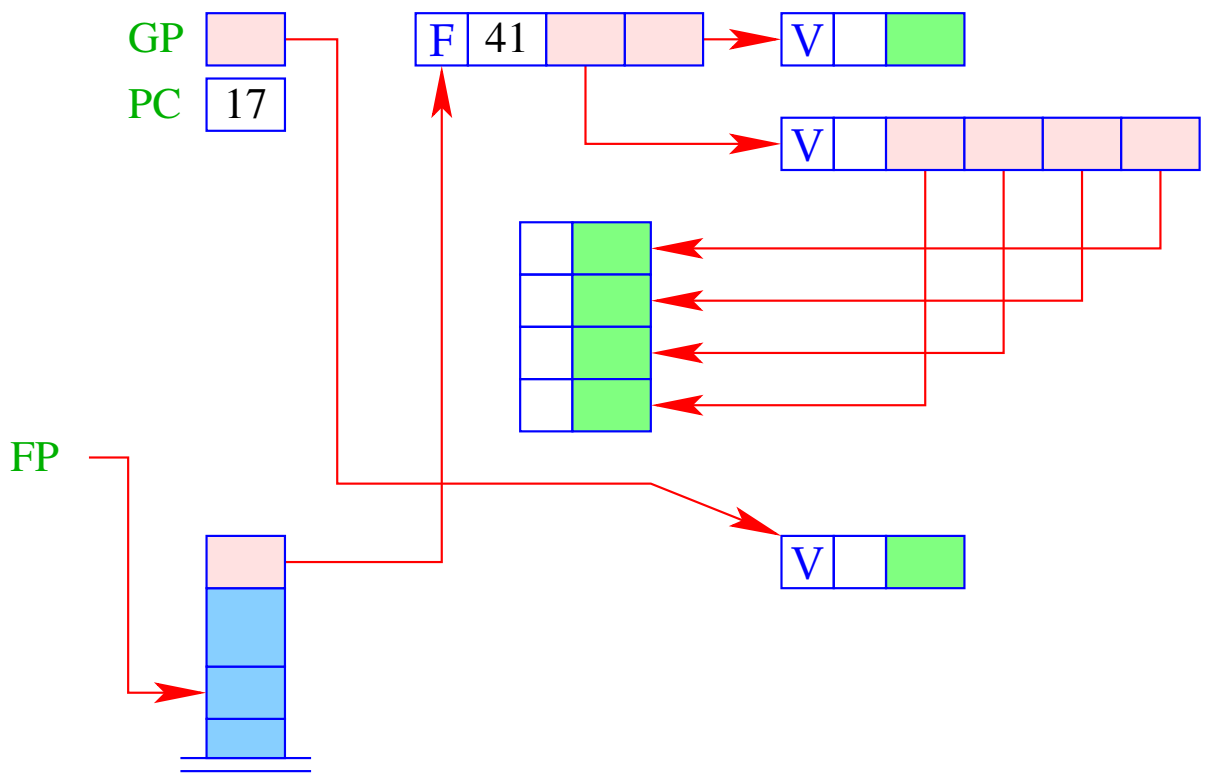
GP = S[FP-2];
S[FP-2] = S[SP];
PC = S[FP];
SP = FP - 2;
FP = S[FP-1];

Insgesamt erhalten wir damit für targ k:




GP
PC
42
V
V
m
wrap
FP
17
V

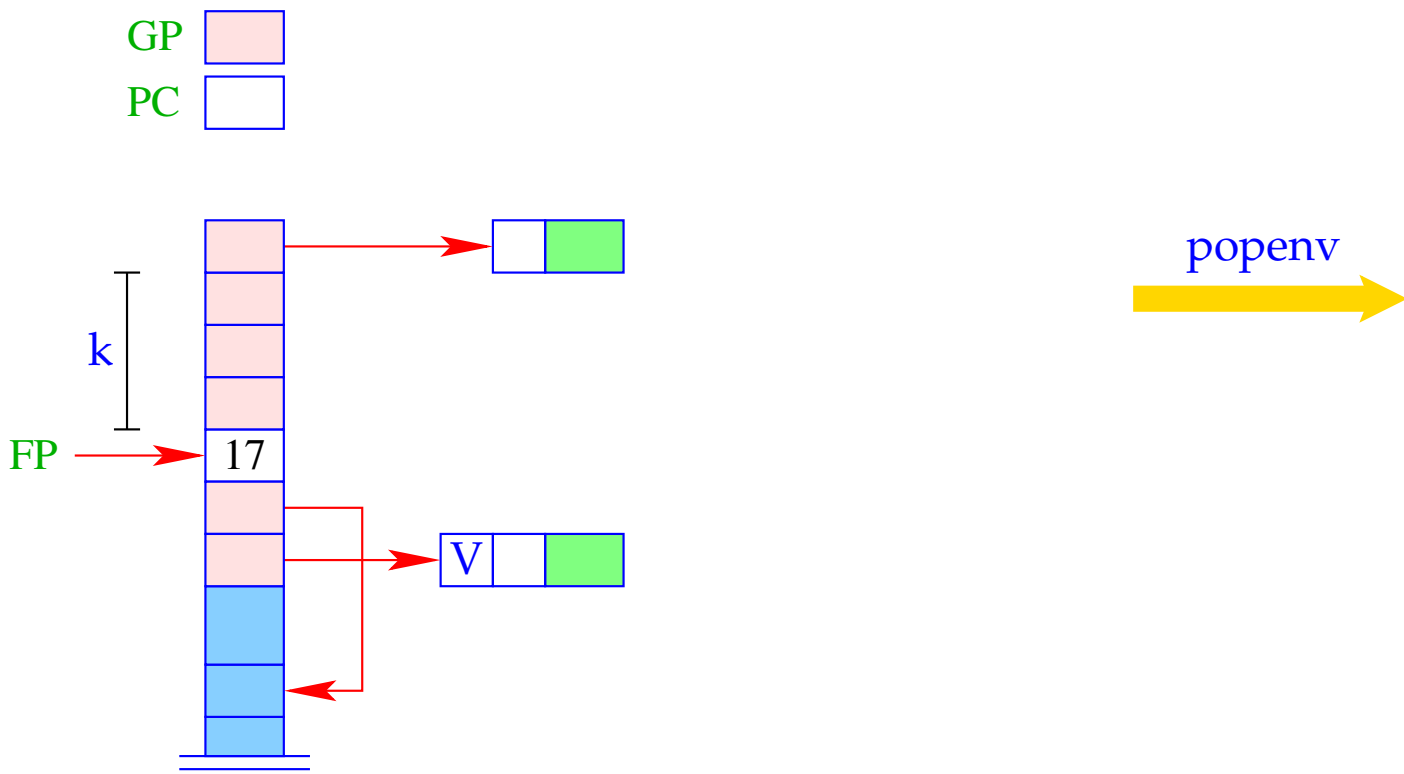

GP
PC
42
F
41
V
V
m
popenv
FP
17
V

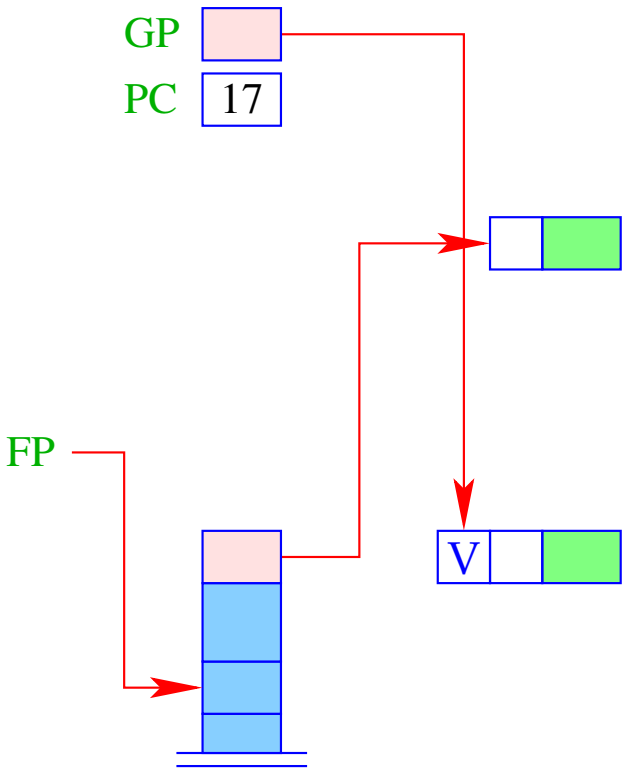

GP
PC
17
F
41
V
V
V
FP

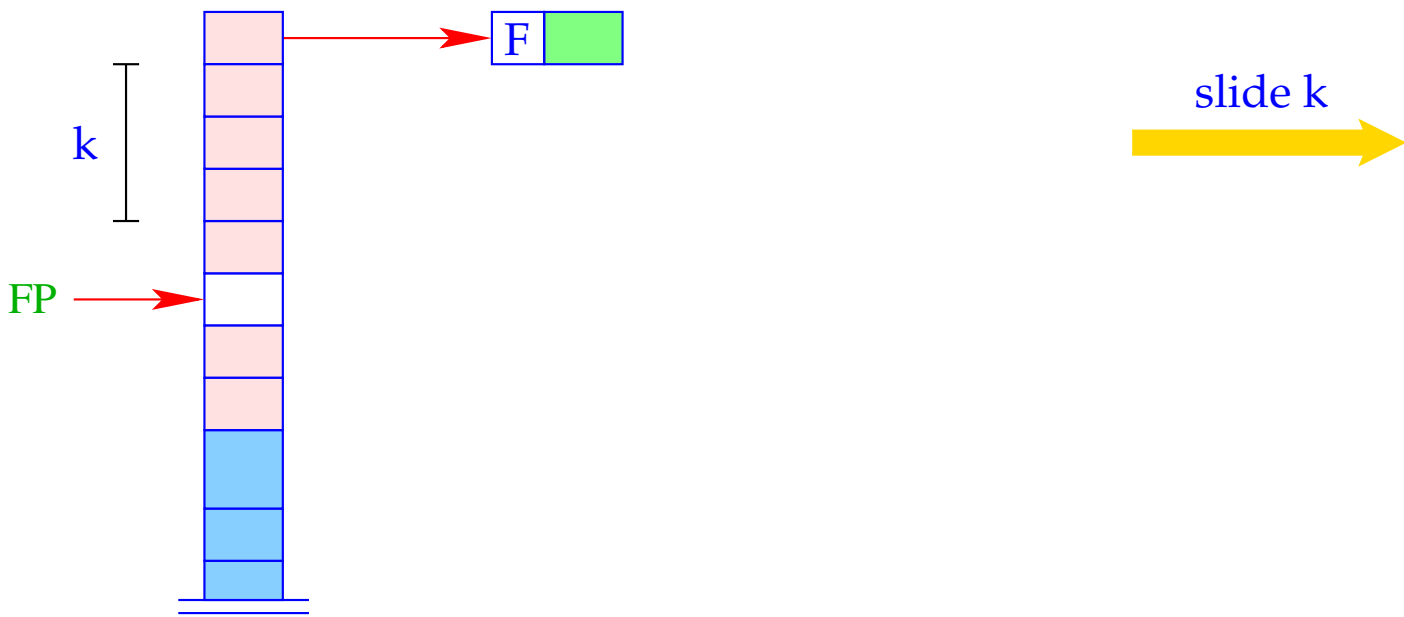
- Liegt exakt die richtige Argument-Anzahl vor, kann nach Abarbeitung des Rumpfs der Kellerrahmen aufgegeben werden.
- Liegt sogar Überversorgung mit Argumenten vor, muss der Rumpf sich offenbar erneut zu einer Funktion ausgewertet haben, die nun die restlichen Argumente konsumiert ...
- Für diese Überprüfung ist return k zuständig:

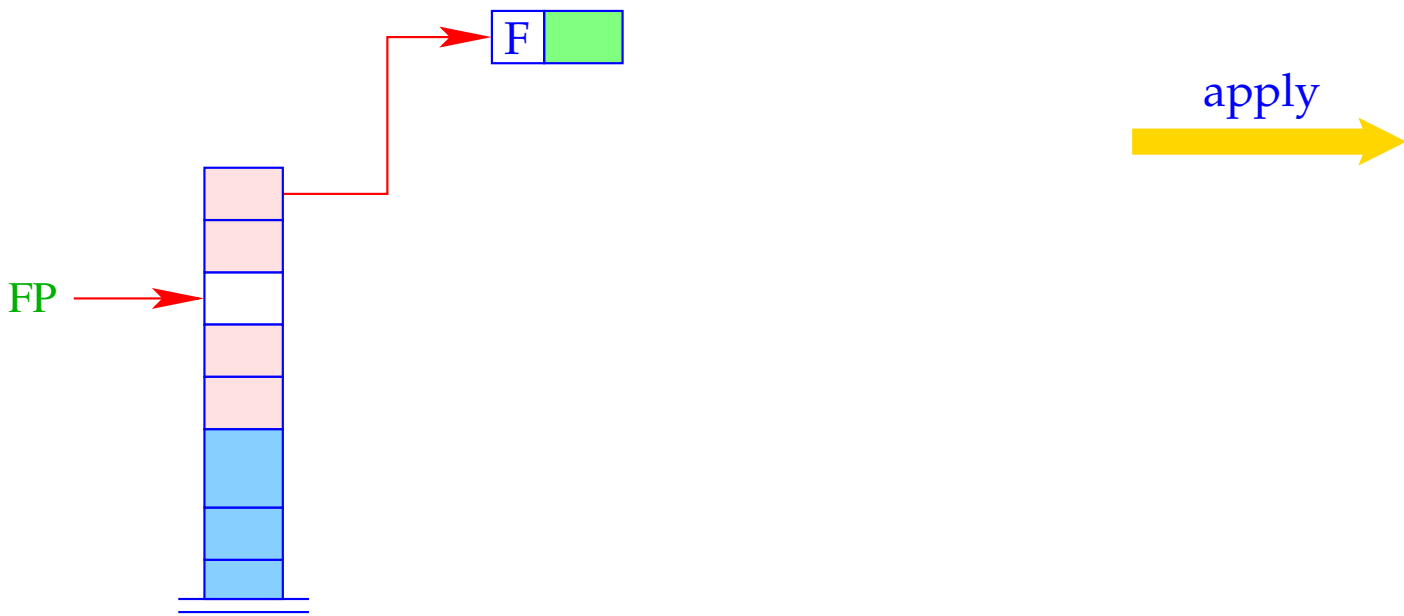
```
return k  =  if (SP − FP ≡ k + 1)
               popenv;            // Aufgeben des Kellerrahmens
             else {               // Es gibt noch weitere Argumente
               slide k;
               apply;             // erneuter Aufruf
             }
```

Damit erhalten wir etwa bei der Ausführung von return k:


GP
PC
k
FP
17
V
popenv


GP
PC
17
FP
V


F
k
FP
slide k


F
apply
FP

19 letrec-Ausdrücke

Sei $e \equiv \textbf{letrec}\ y_1 = e_1; \ldots; y_n = e_n\ \textbf{in}\ e_0$ ein **letrec**-Ausdruck. Die Übersetzung von e muss eine Befehlsfolge liefern, die

- lokale Variablen $y_1, \ldots, y_n$ anlegt;
- im Falle von
  CBV: $e_1, \ldots, e_n$ auswertet und die y_i an deren Werte bindet;
  CBN: Abschlüsse für $e_1, \ldots, e_n$ herstellt und die y_i daran bindet;
- den Ausdruck e_0 auswertet und schließlich dessen Wert zurück liefert.

Achtung!

In einem **letrec**-Ausdruck können wir bei der Definition der Werte bereits Variablen verwenden, die erst später angelegt werden! $\Longrightarrow$ Vor der eigentlichen Definition werden Dummy-Werte auf den Stack gelegt.

Für CBN erhalten wir:

$$
\begin{array}{lcll}
\text{code}_V\ e\ \rho\ \text{kp} & = & \text{alloc n} & // \text{ legt lok. Variablen an} \\
 & & \text{code}_C\ e_1\ \rho'\ (\text{kp} + n) & \\
 & & \text{rewrite n} & \\
 & & \ldots & \\
 & & \text{code}_C\ e_n\ \rho'\ (\text{kp} + n) & \\
 & & \text{rewrite 1} & \\
 & & \text{code}_V\ e_0\ \rho'\ (\text{kp} + n) & \\
 & & \text{slide n} & // \text{ gibt lok. Variablen auf}
\end{array}
$$

wobei $\rho' = \rho \oplus \{y_i \mapsto (L, \text{kp} + i) \mid i = 1, \ldots, n\}$.

Im Falle von CBV benutzen wir für die Ausdrücke $e_1, \ldots, e_n$ ebenfalls code_V.

Achtung:

Rekursive Definition von Basiswerten ist bei CBV undefiniert!!!

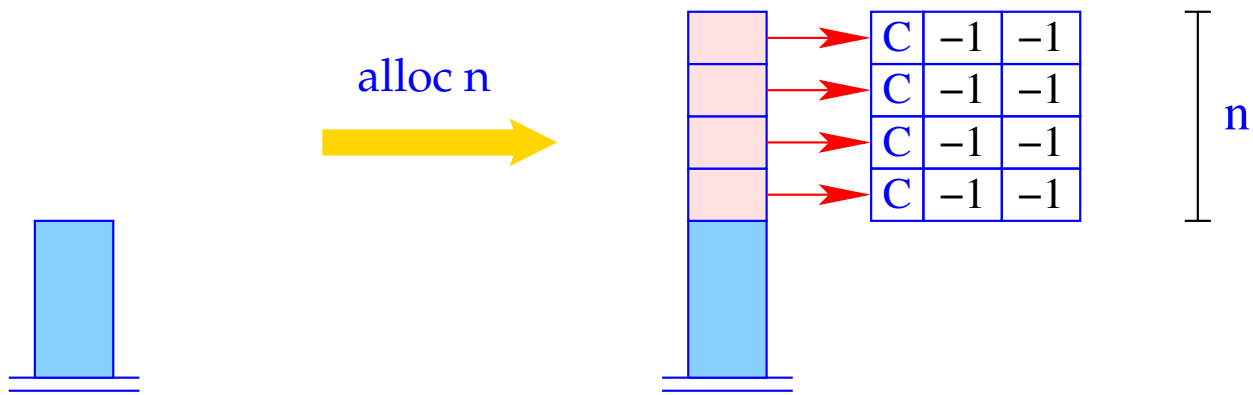
Beispiel:

Betrachte den Ausdruck

$$e \equiv \textbf{letrec } f = \textbf{fn } x, y \Rightarrow \textbf{if } y \leq 1 \textbf{ then } x \textbf{ else } f(x * y)(y - 1) \textbf{ in } f1$$

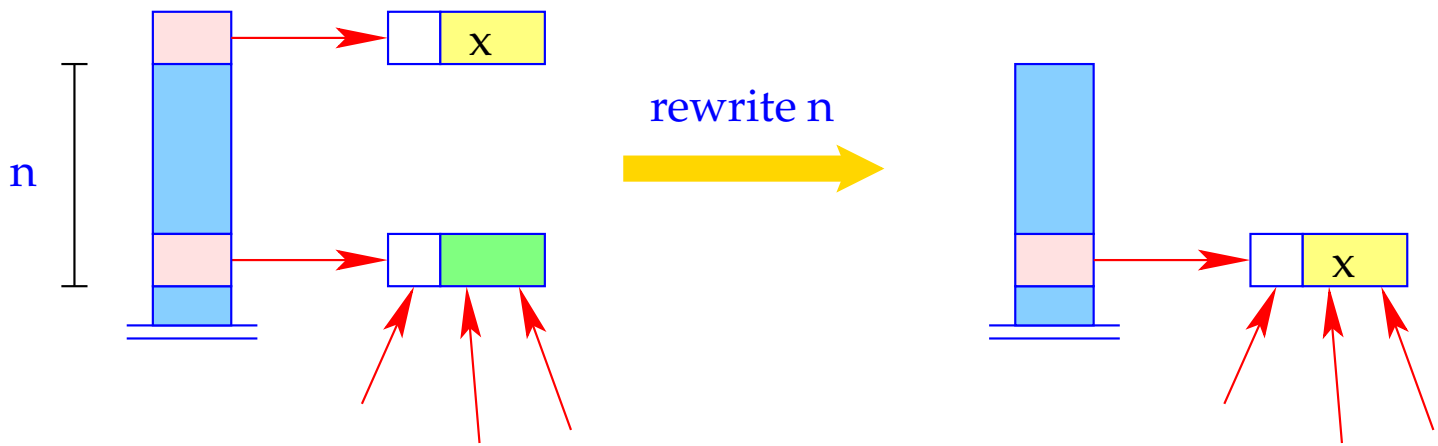
für $\rho = \emptyset$ und kp $= 0$. Dann ergibt sich (für CBV):

0	alloc 1	0	A:	targ 2	4		loadc 1
1	pushloc 0	0		...	5		mkbasic
2	mkvec 1	1		return 2	5		pushloc 4
2	mkfunval A	2	B:	rewrite 1	6		apply
2	jump B	1		mark C	2	C:	slide 1




```
for (i=1; i≤n; i++)
    S[SP+i] = new (C,-1,-1);
SP = SP + n;
```

Die Instruktion alloc n reserviert n Zellen auf dem Keller und initialisiert diese mit n Dummy-Knoten.



H[S[SP-n]] = H[S[SP]];
SP = SP - 1;

- Die Referenz S[SP – n] bleibt erhalten!
- Was überschrieben wird, ist nur ihr Inhalt!