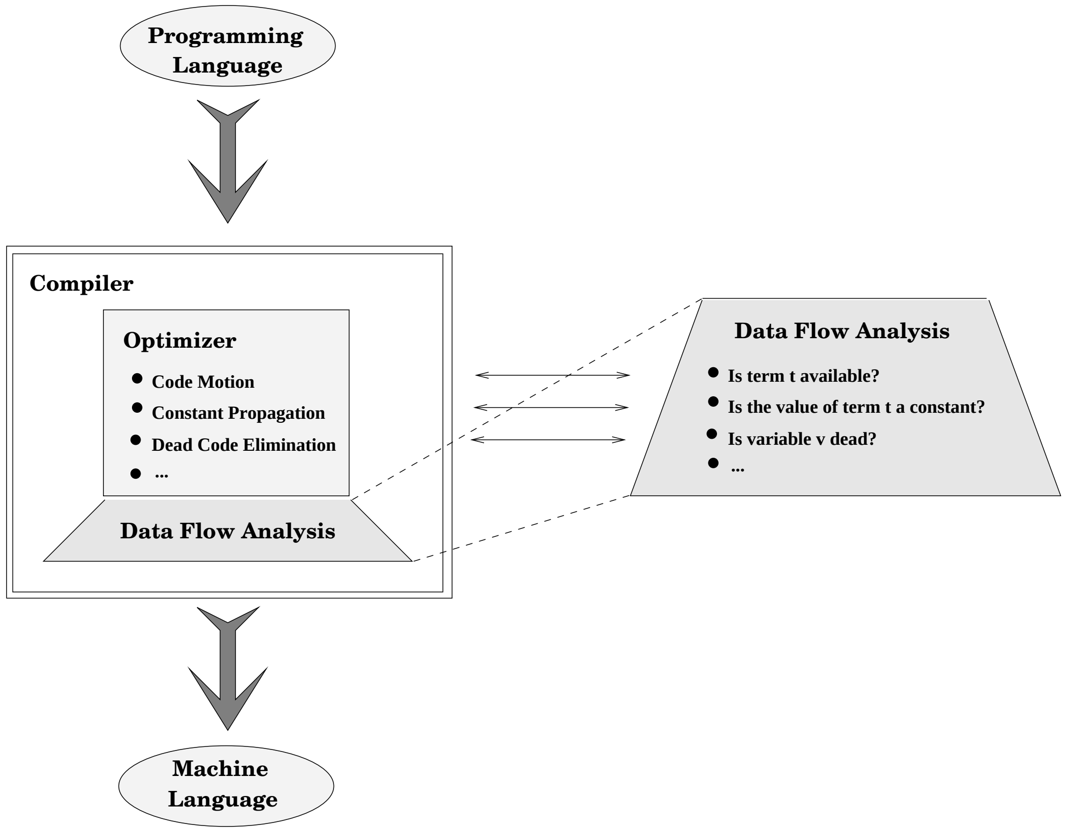
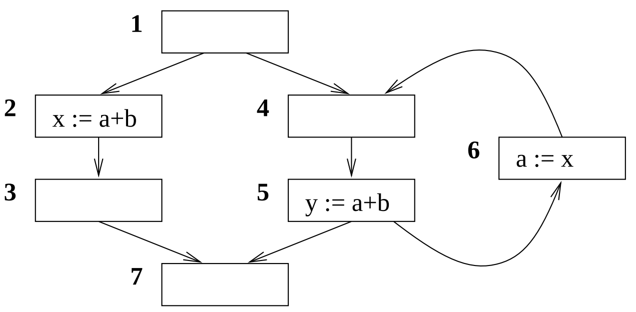
# Erinnerung und Motivation (1)



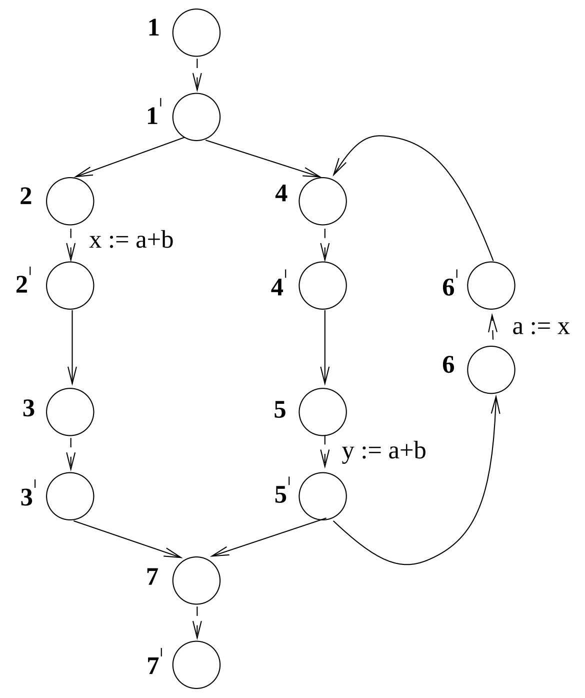
# Erinnerung und Motivation (2)

Knoten- vs. kantenbenannte Flussgraphen
(hier mit Einzelinstruktionsbenennung)

a)




b)



# Erinnerung und Motivation (3)

Wir unterscheiden...

- Intraprozedurale
- Interprozedurale
- Parallele
- Konditionale
- ...

Datenflussanalyse.

# Erinnerung und Motivation (4)

Ingredienzien *intraprozeduraler* Datenflussanalyse:

- *(Lokale) abstrakte Semantik*
  1. Ein *Datenflussanalyseverband* $\widehat{\mathcal{C}} = (\mathcal{C}, \sqcap, \sqcup, \sqsubseteq, \perp, \top)$
  2. Ein *Datenflussanalysefunktional* $[\![ \ ]\!] : E \to (\mathcal{C} \to \mathcal{C})$
  3. Anfangszusicherung $c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}$
- *Globalisierungsstrategien*
  1. "Meet over all Paths"-Ansatz ($MOP$)
  2. Maximaler Fixpunktansatz ($MaxFP$)
- *Generischer Fixpunktalgorithmus*

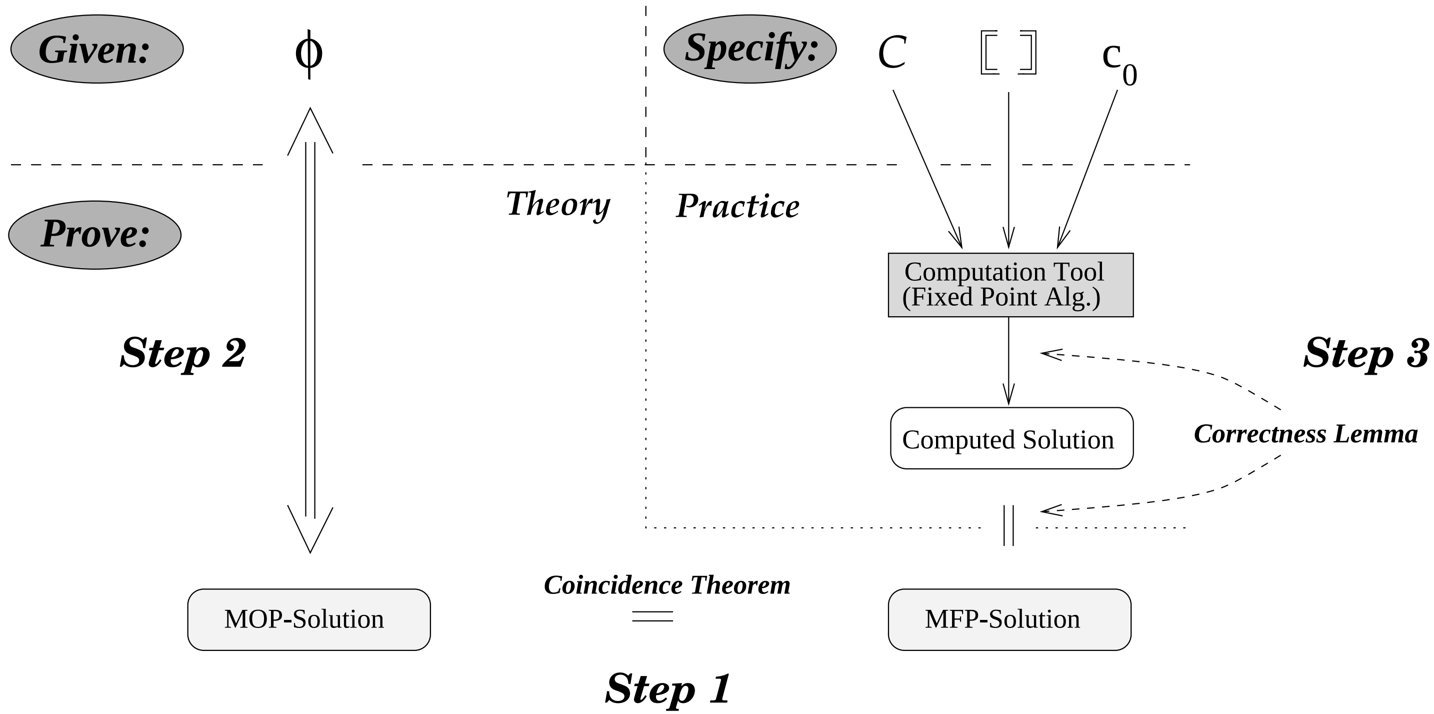
# Erinnerung und Motivation (5)

Hauptresultate:

- *Effektivitäts-* (*Terminierungs-*) Theorem
- *Sicherheits-* (*Korrektheits-*) Theorem
- *Koinzidenz-* (*Vollständigkeits-*) Theorem

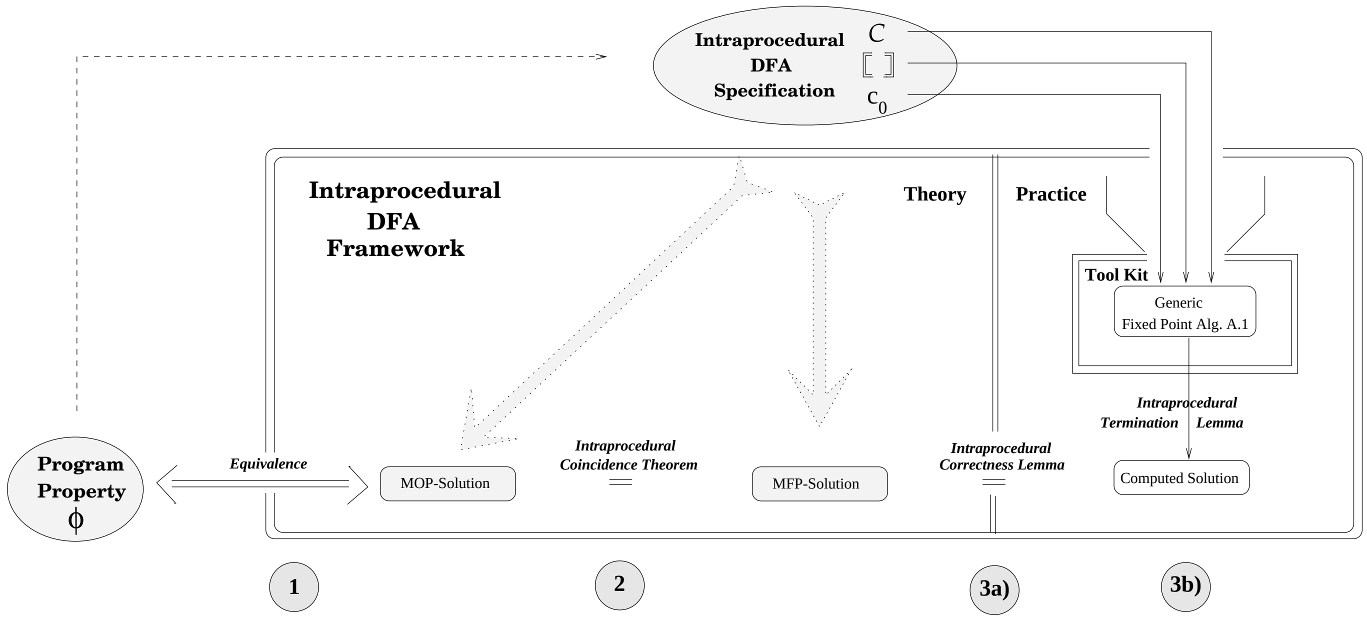
# Intraprozedurale Datenflussanalyse (1)

...im Überblick:



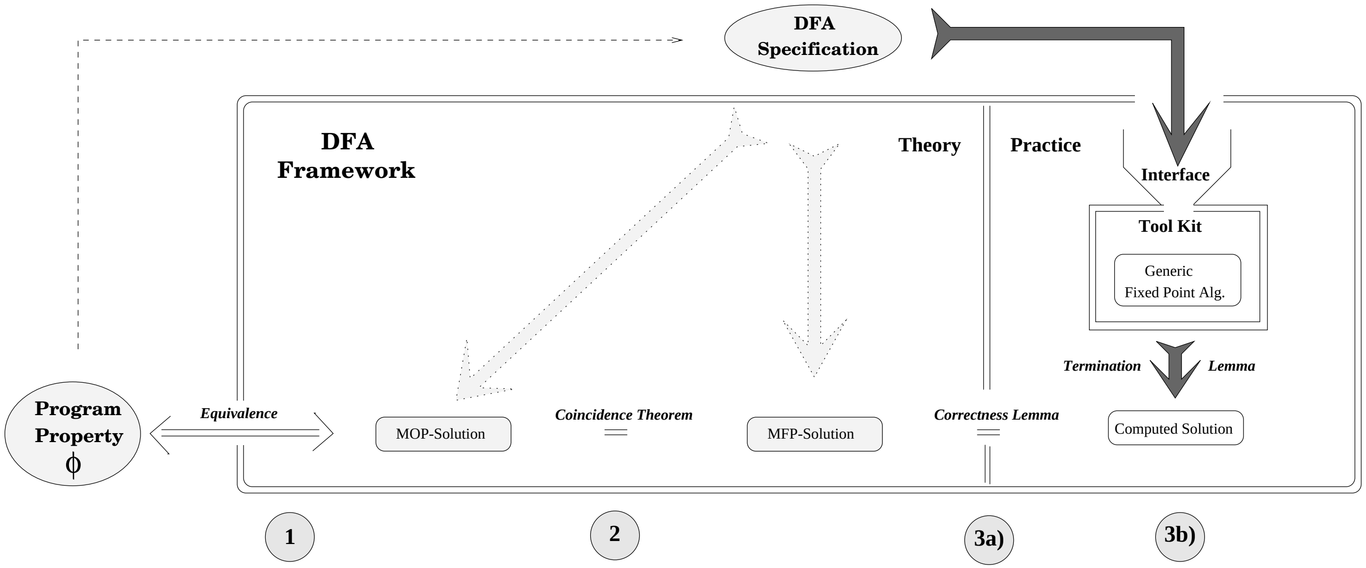
# Intraprozedurale Datenflussanalyse (2)

...im Überblick:



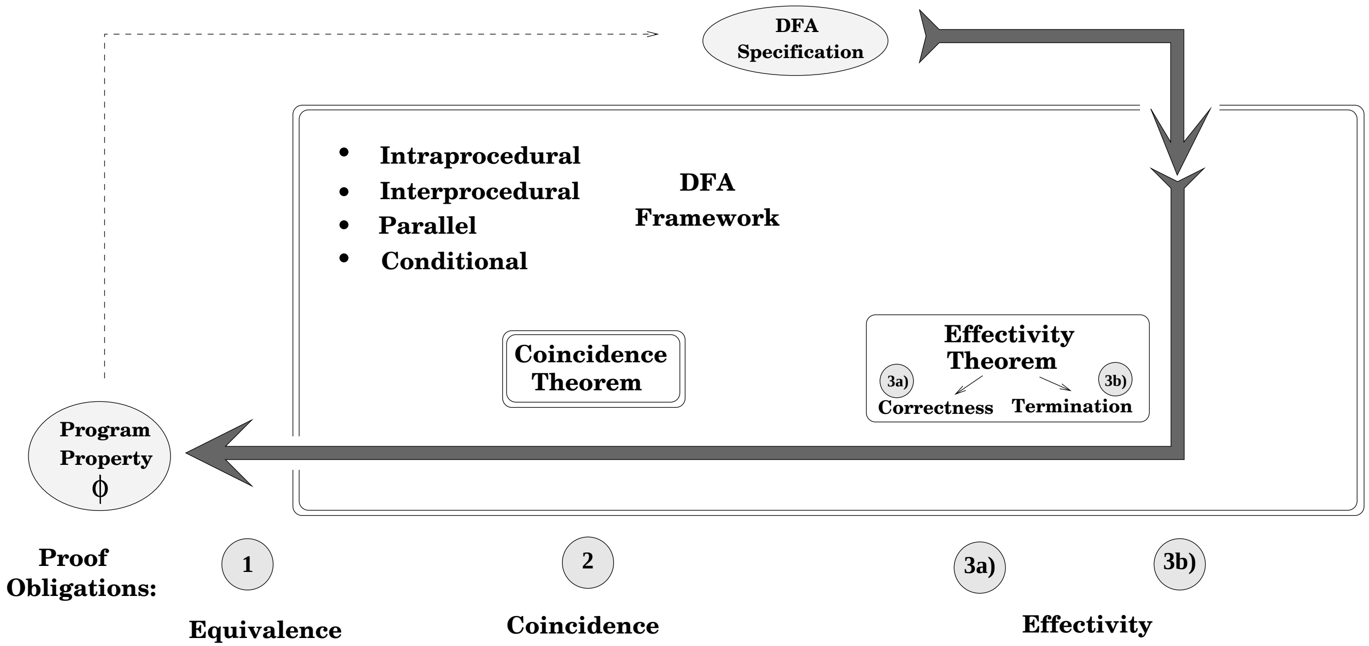
# DFA-Frameworks / DFA-Toolkits (1)

...das allgemeine Muster:



# DFA-Frameworks / DFA-Toolkits (2)

...das allgemeine Muster stärker abstrahiert:



# Ausblick

...auf

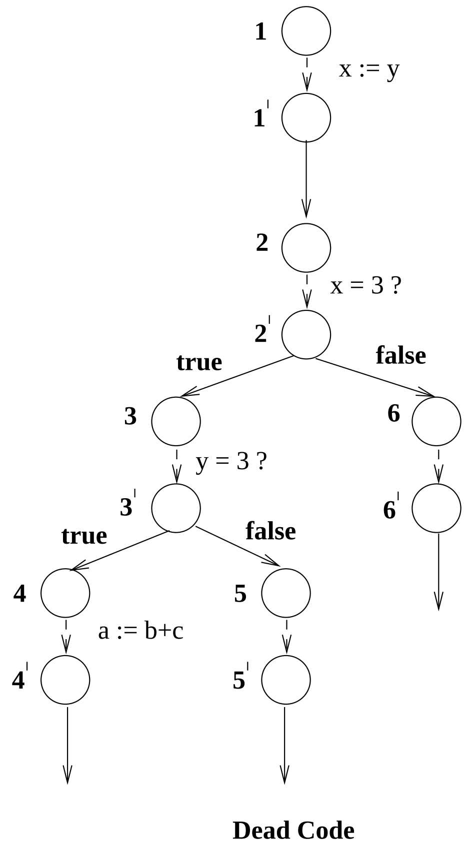
- konditionale,
- interprozedurale,
- parallele Datenflussanalyse

in...

- Rahmen- und
- Toolkit-Sicht.

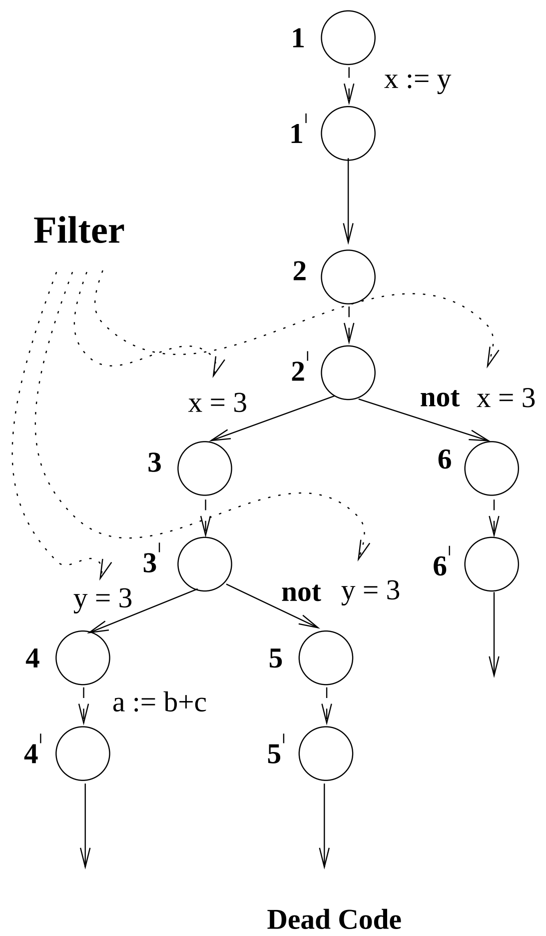
# Konditionale Datenflussanalyse (1)

Ein Anwendungsbeispiel zur Motivation...



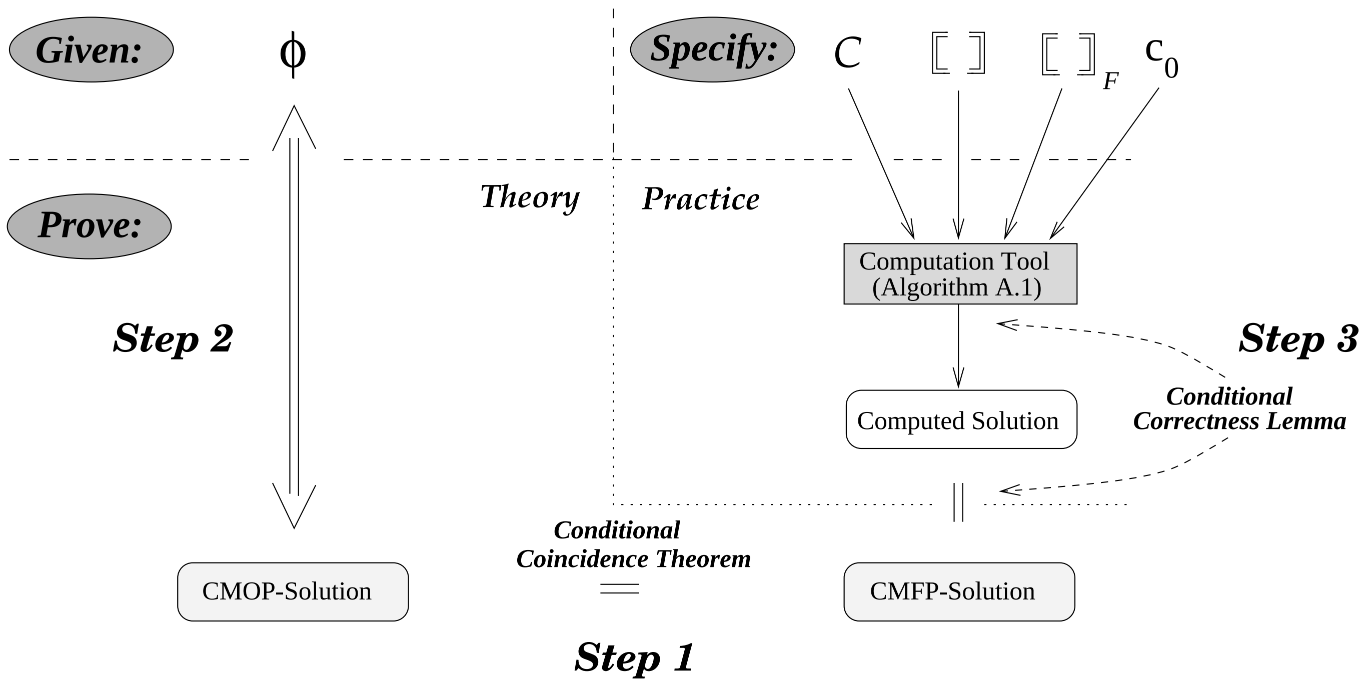
# Konditionale Datenflussanalyse (2)

Technische Umsetzung: Mittels *Filterfunktionen*...



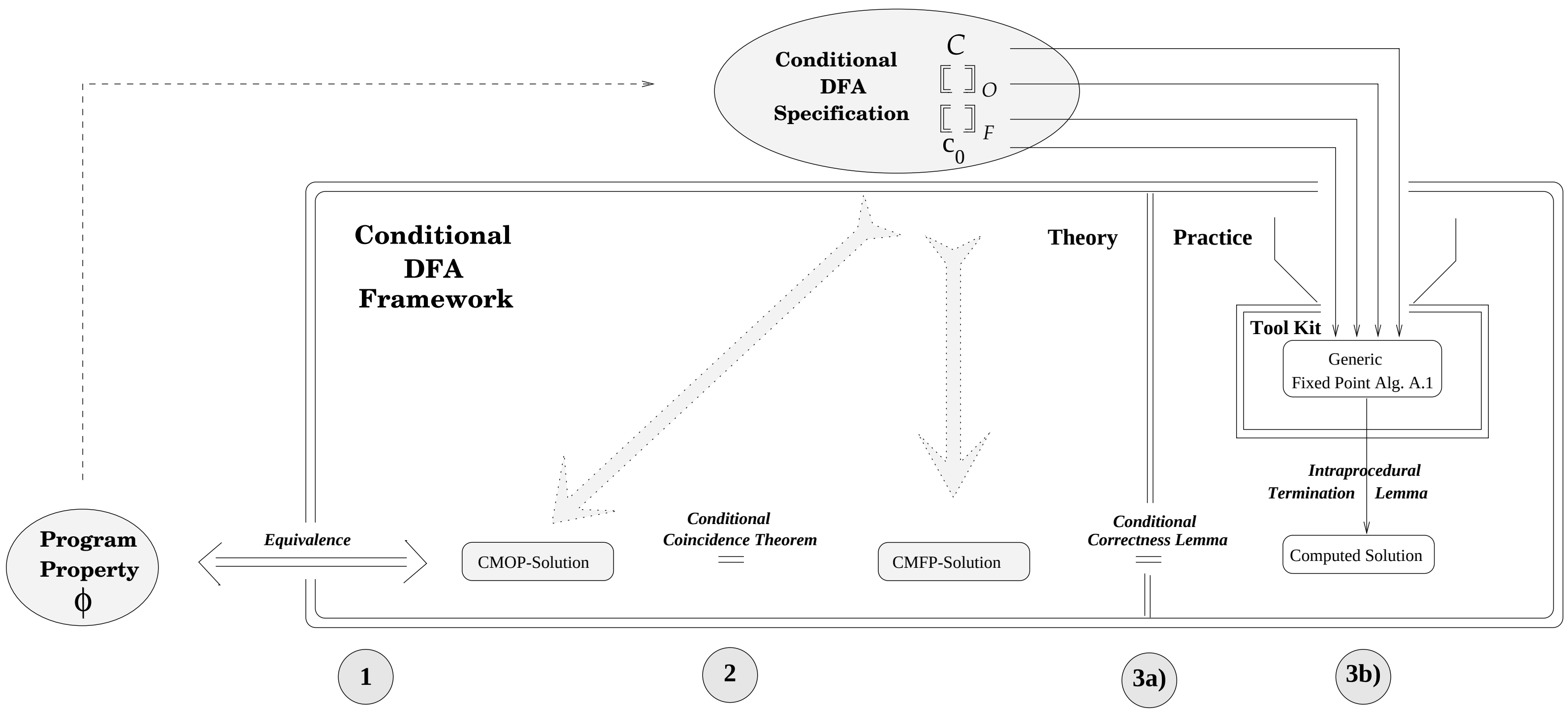
# Konditionale Datenflussanalyse (3)

Der *konditionale* DFA-Rahmen im Überblick:



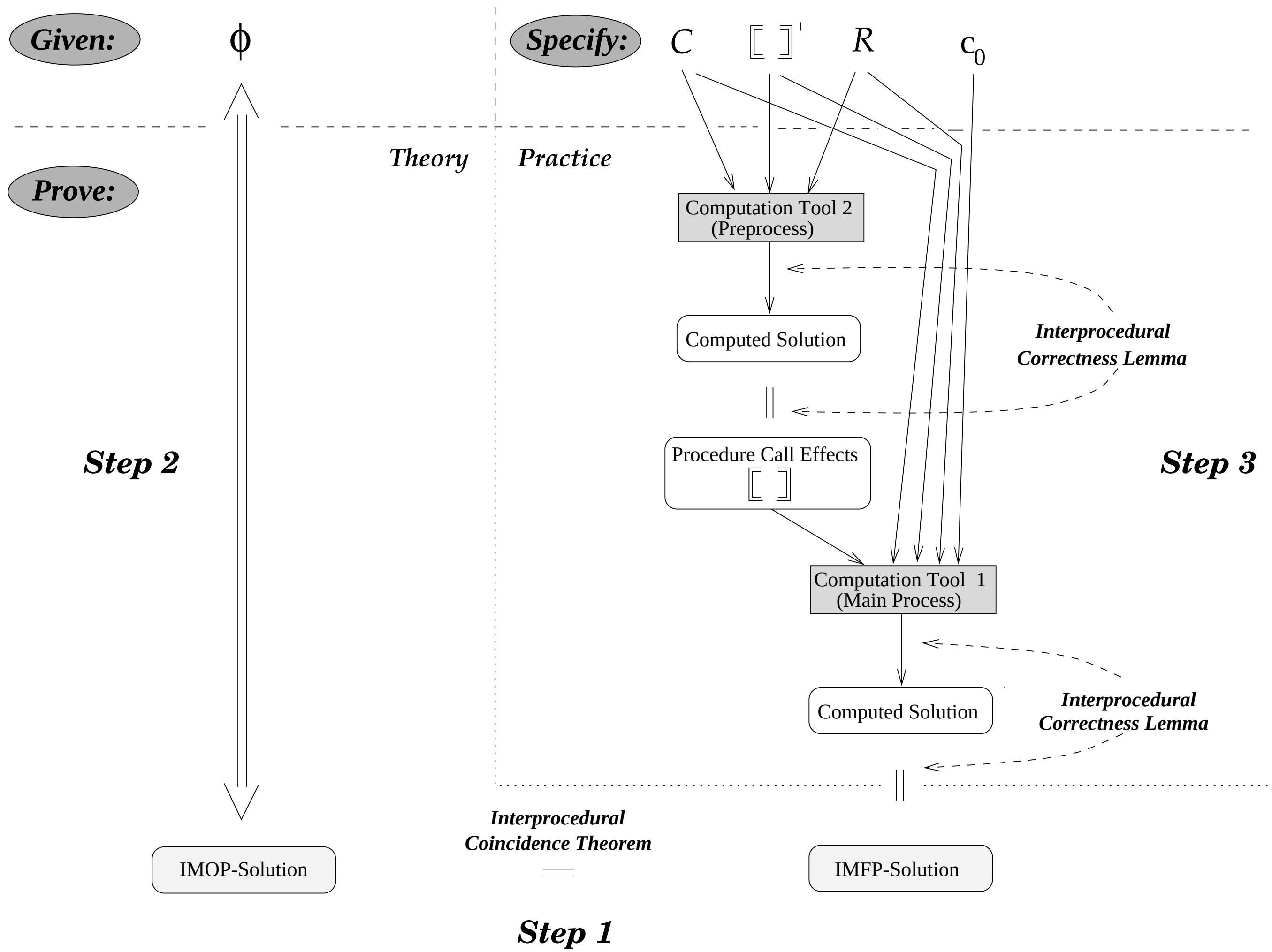
# Konditionale Datenflussanalyse (4)

Der *konditionale* DFA-Rahmen in der Toolkit-Sicht:



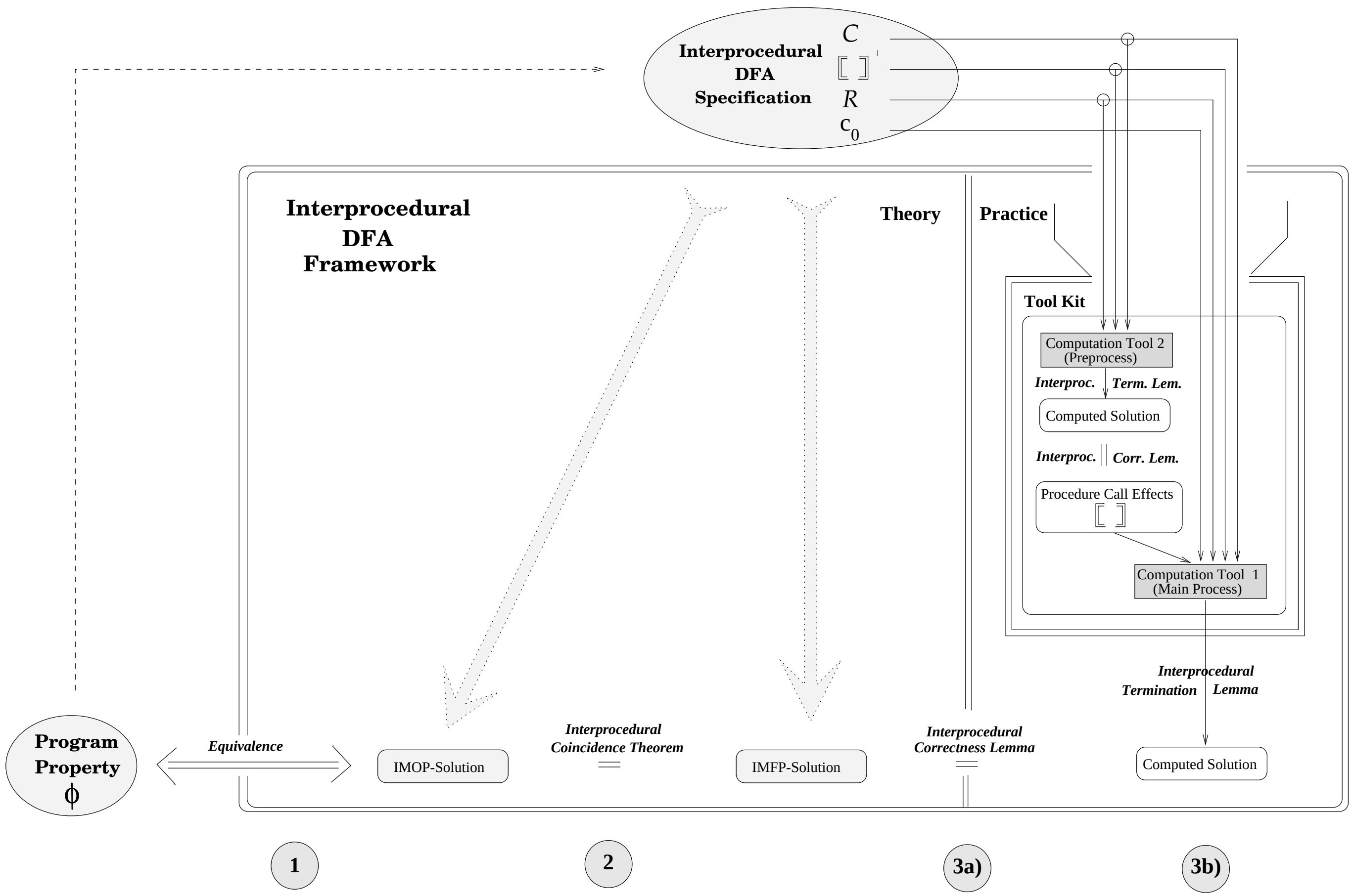
# Interprozedurale Datenflussanalyse (1)

Der *interprozedurale* DFA-Rahmen im Überblick:



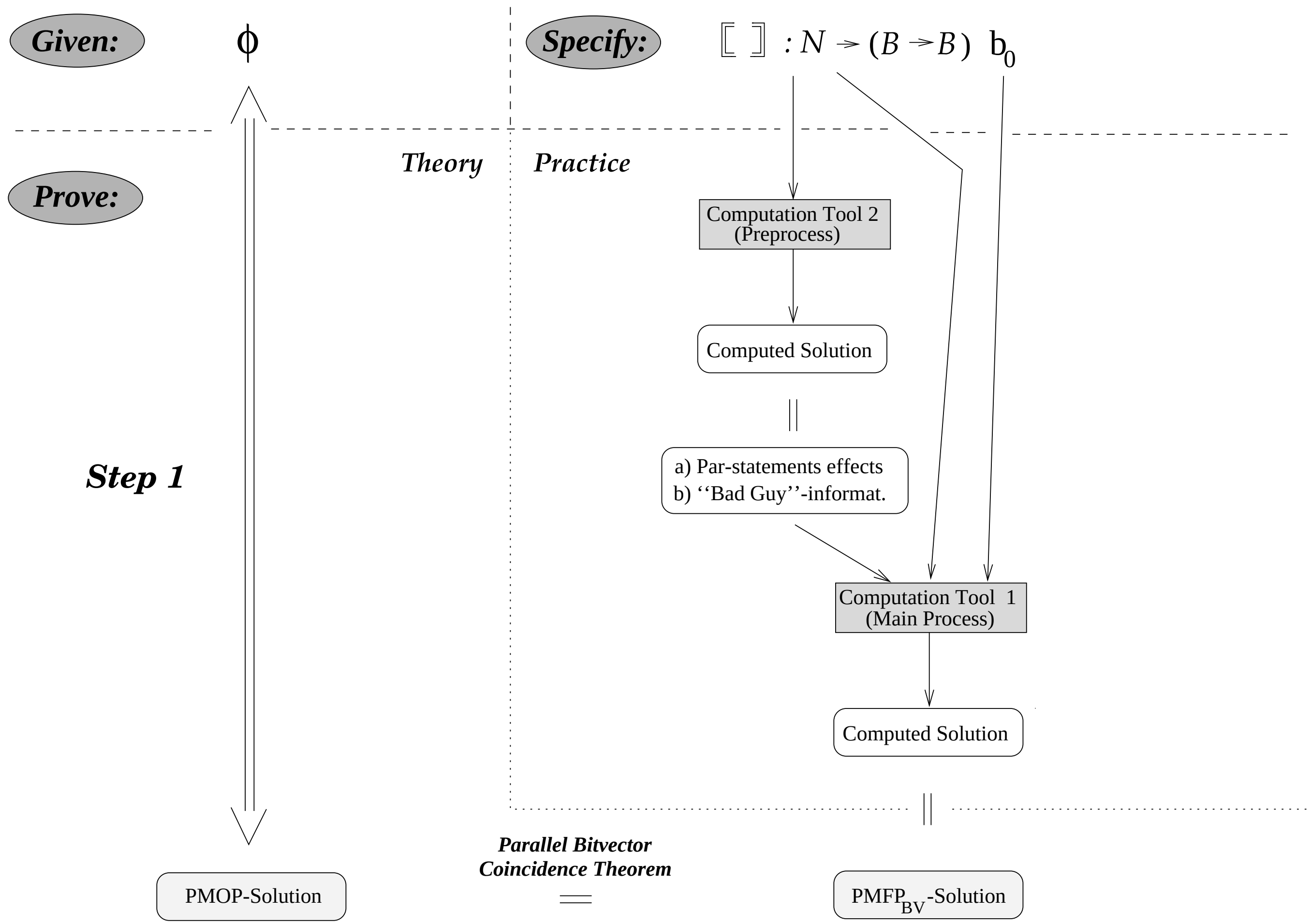
# Interprozedurale Datenflussanalyse (2)

Der *interprozedurale* DFA-Rahmen in der Toolkit-Sicht:



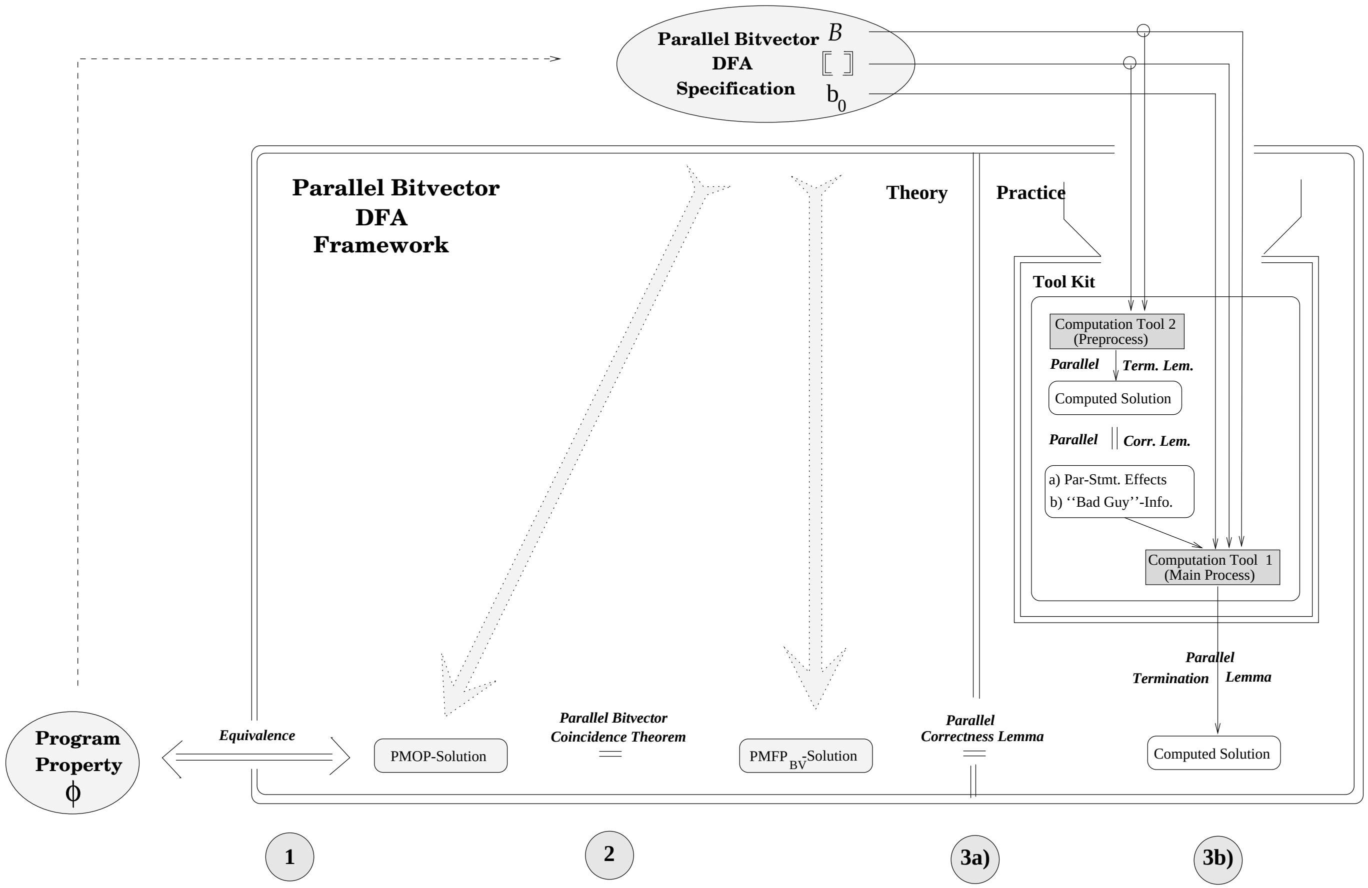
# Parallele Datenflussanalyse (1)

Der *parallele* DFA-Rahmen im Überblick:



# Parallele Datenflussanalyse (2)

Der *parallele* DFA-Rahmen in der Toolkit-Sicht:



# In der Folge

...zweierlei:

- Beispiele konkreter Datenflussanalyse (-probleme)
- Basisblöcke vs. Einzelinstruktionen: Vor- und Nachteile

# Basisblöcke (1)

...und die ihnen gemeinhin aus ihrer Verwendung zugeschriebenen Vorteile (“Folk Knowledge”):

- *Performanz*: “...weil weniger Knoten in die teure iterative Fixpunktberechnung involviert sind”.

- *Kompaktheit*: “...weil größere Programme in den Hauptspeicher passen”.

# Basisblöcke (2)

...und die in der Folge aus ihrer Verwendung behaupteten Nachteile:

- *Höhere konzeptuelle Komplexität*: ... Basisblöcke führen zu einer unerwünschten *Hierarchisierung*, die sowohl theoretische Überlegungen wie Implementierungen erschwert.

- *Notwendigkeit von Prä- und Postprozessen:*: ... oft erforderlich, um die hierarchieinduzierten Zusatzprobleme zu behandeln (z.B. bei *dead code elimination*, *constant propagation*, ...); oder "trickbehaftete" Formulierungen nötig macht, um sie umzugehen (z.B. bei *partial redundancy elimination*).

- *Eingeschränkte Allgemeinheit*: ... bestimmte praktisch relevante Analysen und Optimierungen sind nur schwer oder gar nicht auf Basisblockebene auszudrücken (z.B. *faint variable analysis and elimination*).

# *MOP* -Ansatz (Einzelinstruktionen)

... für kantenbenannte Einzelinstruktionsgraphen:

**Die *MOP*-Lösung:**

$$\forall\, c_s \in \mathcal{C} \;\; \forall\, n \in N.\;\; \mathit{MOP}_{(\llbracket\;\rrbracket_\iota, c_s)}(n) =_{df} \bigsqcap \{\, \llbracket\, p\,\rrbracket_\iota(c_s) \mid p \in \mathbf{P}_G[s,n]\,\}$$

# $\mathit{MaxFP}$ -Ansatz (Einzelinstruktionen)

... für kantenbenannte Einzelinstruktionsgraphen:

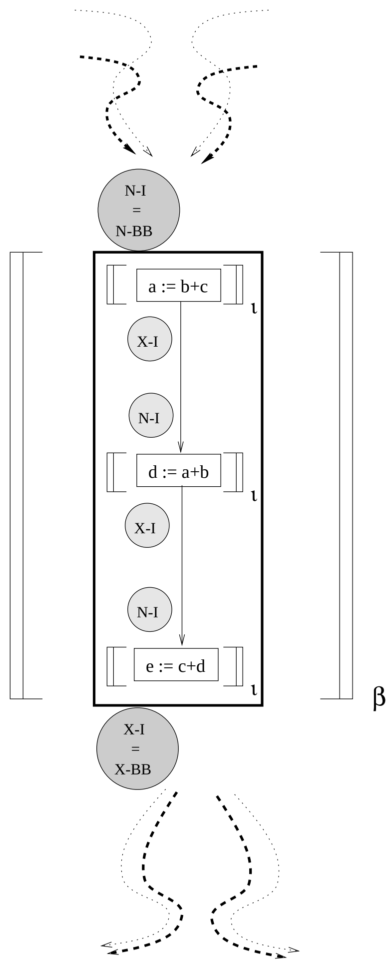
**Die $\mathit{MaxFP}$-Lösung:**

$$\forall\, c_s \in \mathcal{C}\ \forall\, n \in N.\ \mathit{MaxFP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_s)}(n) =_{df} \mathtt{info}_{c_s}(n)$$

wobei $\mathsf{info}_{c_s}$ die größte Lösung des folgenden Gleichungssystems bezeichnet:

$$\mathbf{info}(n) = \begin{cases} c_s & \text{falls } n = s \\ \bigsqcap \{\, [\![\, (m,n)\, ]\!]_\iota(\mathbf{info}(m)) \mid m \in \mathit{pred}_G(n) \,\} & \text{sonst} \end{cases}$$

# Hierarchisierung durch Basisblöcke



# $\mathit{MOP}$ -Ansatz (Basisblöcke) (1)

... für knotenbenannte Basisblockgraphen:

**The $\mathit{MOP}$-Solution: (Basisblockebene)**

$$\forall\, c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}\ \forall\, \mathbf{n} \in \mathbf{N}.\ \mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} (\ N\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}),\ X\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n})\ )$$

mit

$$N\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} \bigsqcap \{\, \llbracket\, p\, \rrbracket_\beta(c_{\mathbf{s}}) \mid p \in \mathbf{P_G}[\mathbf{s}, \mathbf{n}[\, \}$$

$$X\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} \bigsqcap \{\, \llbracket\, p\, \rrbracket_\beta(c_{\mathbf{s}}) \mid p \in \mathbf{P_G}[\mathbf{s}, \mathbf{n}]\, \}$$

# *MOP* -Ansatz (Basisblöcke) (2)

... für knotenbenannte Basisblockgraphen:

**The *MOP*-Solution: (Instruktionsebene)**

$$\forall\, c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}\ \forall\, n \in N.\ \mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) =_{df} (\ N\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n),\ X\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n)\ )$$

mit

$$N\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) \quad =_{df} \quad \begin{cases} N\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathtt{block}(n)) & \text{falls } n = \mathit{start}(\mathtt{block}(n)) \\ \llbracket\, p\, \rrbracket_\iota (N\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathtt{block}(n))) & \text{sonst } (p \text{ Präfixpfad} \\ & \text{von } \mathit{start}(\mathtt{block}(n)) \\ & \text{bis (ausschl.) } n) \end{cases}$$

$$X\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) \quad =_{df} \quad \llbracket\, p\, \rrbracket_\iota (N\text{-}\mathit{MOP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathtt{block}(n))) \quad (p \text{ Präfix von } \mathit{start}(\mathtt{block}(n)) \text{ bis (einschl.) } n)$$

# *MaxFP* -Ansatz (Basisblöcke) (1)

... für knotenbenannte Basisblockgraphen:

**Die *MaxFP*-Lösung: (Basisblockebene)**

$\forall\, c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}\, \forall\, \mathbf{n} \in \mathbf{N}.\ MaxFP_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} (\, N\text{-}MFP_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}),\ X\text{-}MFP_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}$

mit

$N\text{-}MFP_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} \mathsf{pre}^{\beta}_{c_{\mathbf{s}}}(\mathbf{n})$ und $X\text{-}MFP_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} \mathsf{post}^{\beta}_{c_{\mathbf{s}}}(\mathbf{n})$

wobei $\mathsf{pre}^{\beta}_{c_{\mathbf{s}}}$ und $\mathsf{post}^{\beta}_{c_{\mathbf{s}}}$ die größten Lösungen folgenden Gleichungssystems bezeichnen:

$$
\begin{array}{lcl}
\mathbf{pre(n)} & = & \begin{cases} c_{\mathbf{s}} & \text{falls } \mathbf{n} = \mathbf{s} \\ \bigsqcap \{\, \mathbf{post(m)} \mid \mathbf{m} \in pred_{\mathbf{G}}(\mathbf{n}) \,\} & \text{sonst} \end{cases} \\
\mathbf{post(n)} & = & [\![\, \mathbf{n} \,]\!]_\beta(\mathbf{pre(n)})
\end{array}
$$

# $\mathit{MaxFP}$ -Ansatz (Basisblöcke) (2)

**Die $\mathit{MaxFP}$-Lösung: (Instruktionsebene)**

$\forall\, c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}\; \forall\, n \in N.\; \mathit{MaxFP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) =_{df} (\, N\text{-}\mathit{MFP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n),\; X\text{-}\mathit{MFP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n)$

mit

$N\text{-}\mathit{MFP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) =_{df} \mathsf{pre}^\iota_{c_{\mathbf{s}}}(n)$ und $X\text{-}\mathit{MFP}_{(\llbracket\ \rrbracket_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) =_{df} \mathsf{post}^\iota_{c_{\mathbf{s}}}(n)$

wobei $\mathsf{pre}^\iota_{c_{\mathbf{s}}}$ und $\mathsf{post}^\iota_{c_{\mathbf{s}}}$ die grßten Lösungen des folgenden Gleichungssystems bezeichnen:

$$\mathbf{pre}(n) = \begin{cases} \mathsf{pre}^\beta_{c_{\mathbf{s}}}(\texttt{block}(n)) & \text{falls } n = \mathit{start}(\texttt{block}(n)) \\ \mathbf{post}(m) & \text{sonst } (m \text{ ist eindeutig bestimmter} \\ & \quad \text{Vorgänger von } n \text{ in } \texttt{block}(n)) \end{cases}$$

$$\mathbf{post}(n) = \llbracket\, n\, \rrbracket_\iota(\mathbf{pre}(n))$$

# Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (1)

## Verfügbarkeit für knotenbenannte BB-Graphen:

### Phase I: Die Basisblockebene

Lokale Prädikate: (assoziiert mit BB-Knoten)

- BB-XCOMP$_\beta(t)$: $\beta$ contains an instruction $\iota$ computing $t$, and neither $\iota$ nor any instruction of $\beta$ following $\iota$ modifies an operand of $t$.

- BB-TRANSP$_\beta(t)$: $\beta$ contains no instruction modifying an operand of $t$.

# Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (2)

Das Gleichungssystem von Phase I:

$$\text{BB-N-AVAIL}_\beta = \begin{cases} \mathit{false} & \text{if } \beta = \mathbf{s} \\ \prod\limits_{\hat{\beta} \in pred(\beta)} \text{BB-X-AVAIL}_{\hat{\beta}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{BB-X-AVAIL}_\beta = \text{BB-N-AVAIL}_\beta \cdot \text{BB-TRANSP}_\beta + \text{BB-XCOMP}_\beta$$

# Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (3)

## Phase II: Die Instruktionsebene

Lokale Prädikate: (assoziiert mit EI-Knoten)

- **COMP**$_\iota(t)$: $\iota$ computes $t$.
- **TRANSP**$_\iota(t)$: $\iota$ does not modify an operand of $t$.
- BB-N-AVAIL$^\star$, BB-X-AVAIL$^\star$: greatest solution of the equation system of Phase I.

Das Gleichungssystem von Phase II:

$$\text{N-AVAIL}_\iota = \begin{cases} \text{BB-N-AVAIL}^\star_{\texttt{block}(\iota)} & \text{if } \iota = start(\texttt{block}(\iota)) \\ \text{X-AVAIL}_{pred(\iota)} & \text{otherwise (note that } |\,pred(\iota)\,| = 1) \end{cases}$$

$$\text{X-AVAIL}_\iota = \begin{cases} \text{BB-X-AVAIL}^\star_{\texttt{block}(\iota)} & \text{if } \iota = end(\texttt{block}(\iota)) \\ (\text{N-AVAIL}_\iota + \textbf{COMP}_\iota) \cdot \textbf{TRANSP}_\iota & \text{otherwise} \end{cases}$$

# Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (4)

## Verfügbarkeit für knotenbenannte EI-Graphen:

Lokale Prädikate: (assoziiert mit Knoten)

- **COMP**$_\iota(t)$: $\iota$ computes $t$.
- **TRANSP**$_\iota(t)$: $\iota$ does not modify an operand of $t$.

Das Gleichungssystem:

$$\text{N-AVAIL}_\iota = \begin{cases} \mathit{false} & \text{if } \iota = s \\ \prod_{\widehat{\iota} \in pred(\iota)} \text{X-AVAIL}_{\widehat{\iota}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{X-AVAIL}_\iota = (\text{N-AVAIL}_\iota + \mathbf{COMP}_\iota) \cdot \mathbf{TRANSP}_\iota$$

# Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (5)

## Verfügbarkeit für kantenbenannte EI-Graphen:

Lokale Prädikate: (assoziiert mit EI-Kanten)

- **COMP**$_\varepsilon(t)$: instruction $\iota$ of edge $\varepsilon$ computes $t$.
- **TRANSP**$_\varepsilon(t)$: instruction $\iota$ of edge $\varepsilon$ does not modify an operand of $t$.

The Equation System:

$$\texttt{Avail}_n \;=\; \begin{cases} \mathit{false} & \text{if } n = s \\ \prod\limits_{m \in pred(n)} (\texttt{Avail}_m + \mathbf{COMP}_{(m,n)}) \cdot \mathbf{TRANSP}_{(m,n)} & \text{otherwi} \end{cases}$$

# Vorschau auf die weiteren Vorlesungstermine...

**Achtung: Abweichende Zeit am 23.01.2007!**

- Di, 23.01.2007, Vorlesung von 16:00 Uhr bis 17:00 Uhr, Bibliothek E185/1

- Di, 30.01.2007, Vorlesung von 17:45 Uhr bis 19:15 Uhr, Bibliothek E185/1