Superblock-basierte High-Level WCET-Optimierungen

Dipl.-Inf. Timon Kelter

LS12 Informatik „Eingebettete Systeme“
Technische Universität Dortmund

DA-Betreuer: Prof. Dr. Peter Marwedel,
Dipl.-Inf. Paul Lokuciejewski

Einleitung

WCET: Worst-Case Execution Time

Warum WCET-Betrachtung?

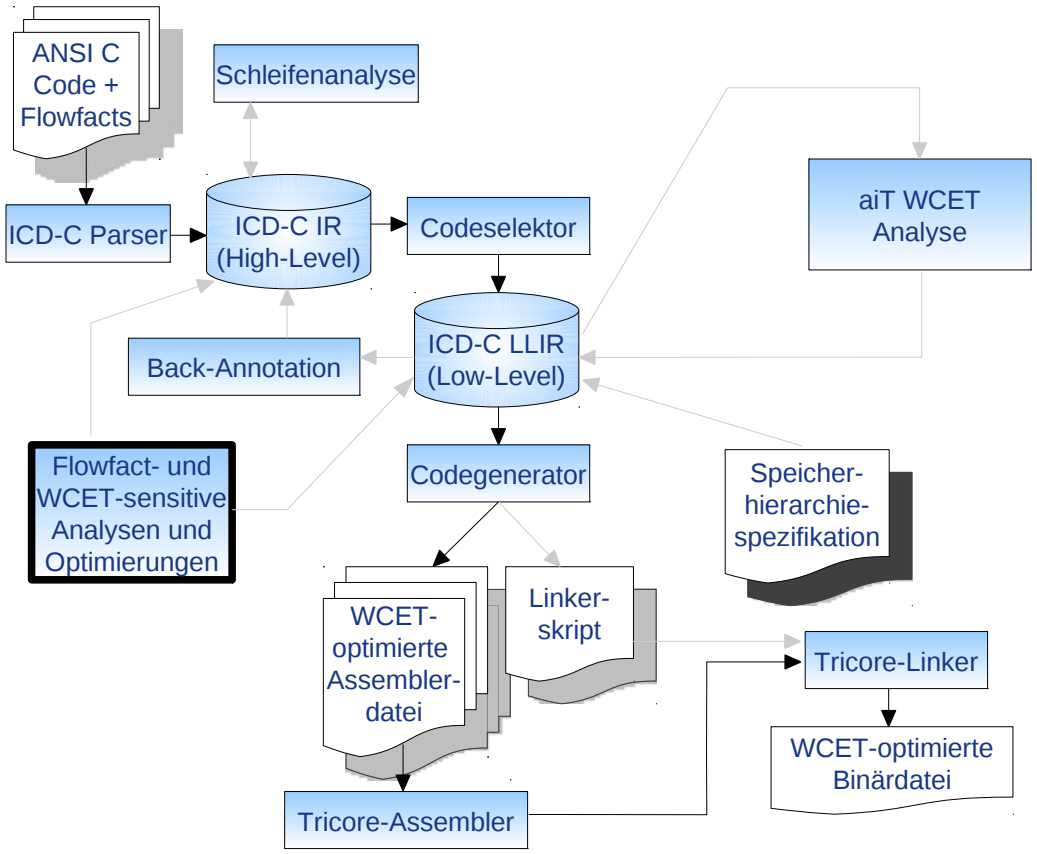
- Eingebettete Systeme
  → Echtzeitsysteme

- Schedulability Analysis

- Automatische WCET-Minimierung erstrebenswert

  →WCET-Aware C Compiler (**WCC**)

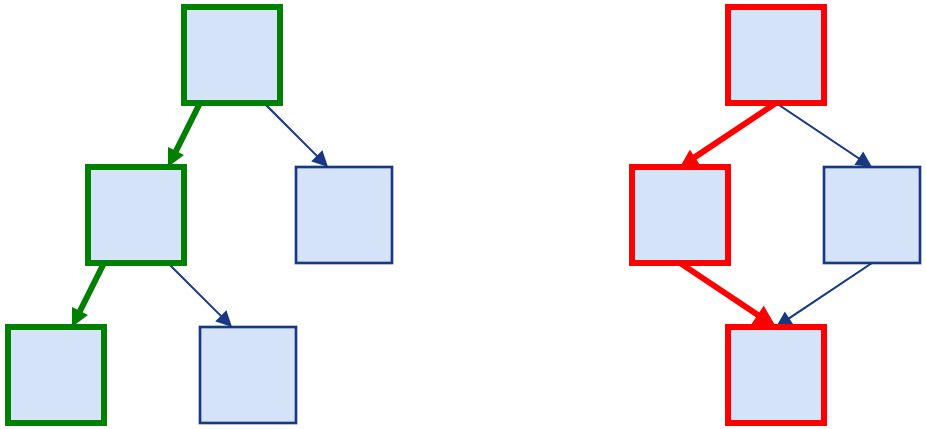
Aufbau des WCC



Definitionen

- **Trace**: schleifenfreie Folge von Basisblöcken
- **Superblock**: Trace, eingehende Kontrollflußkanten nur am Anfang erlaubt

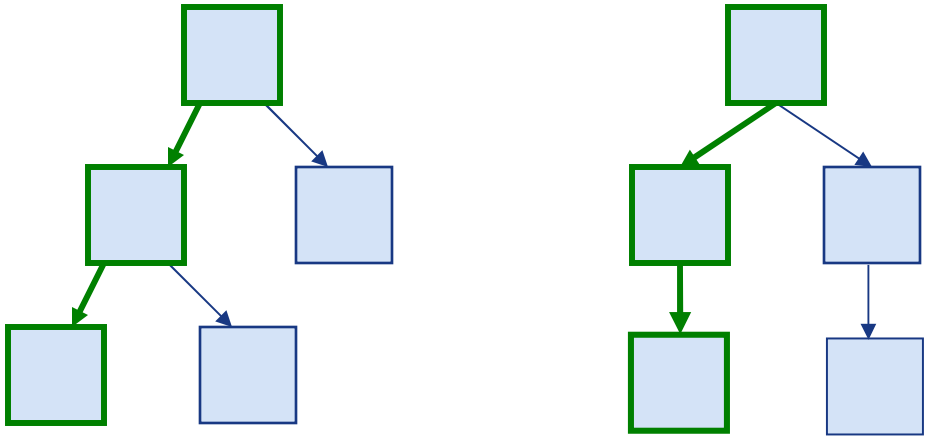
Beispiel:



Definitionen

- **Trace**: schleifenfreie Folge von Basisblöcken
- **Superblock**: Trace, eingehende Kontrollflußkanten nur am Anfang erlaubt

Beispiel:



Übertragung: High-Level

- Vorteile der High-Level Darstellung:
  - Vorarbeit für alle folgenden Optimierungen
    → an frühestmöglicher Stelle

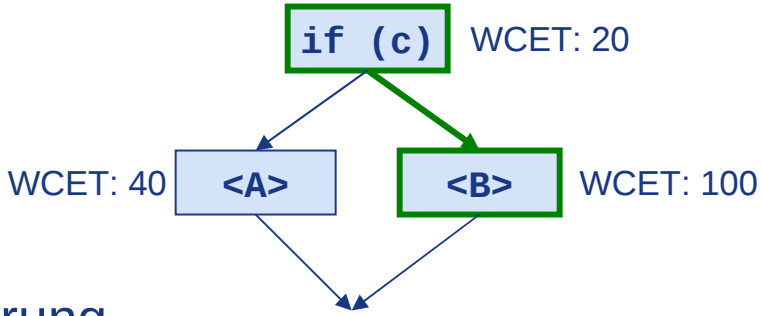
  Improved Superblock Optimization in GCC
  [Kidd & Hwu, 2006]
  „Implementing additional early structural transformation passes will give optimizers more freedom to move and simplify program code.“

- Nachteile:
  - Back-Annotation nötig → Nicht vermeidbar

Übertragung: WCEP

- Naheliegende Idee: Traceselektion und Superblockbildung auf dem WCEP

  → Pfadwechsel

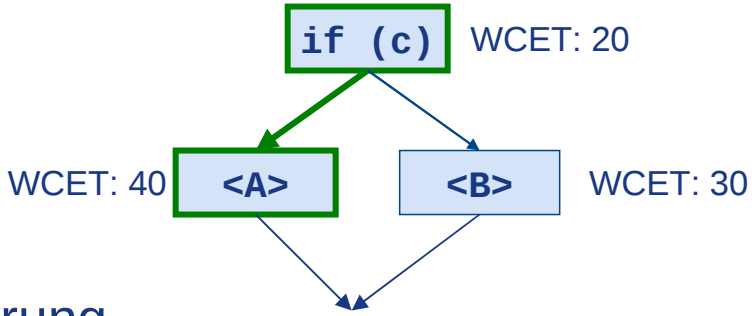


- Erhoffte Effekte:
  - gezielte Pfadoptimierung
    → über Basisblockgrenzen hinaus
    → auf dem WCEP
  - positive Effekte für WCET-Analysetechniken (weniger Verschmelzungspunkte im CFG)

Übertragung: WCEP

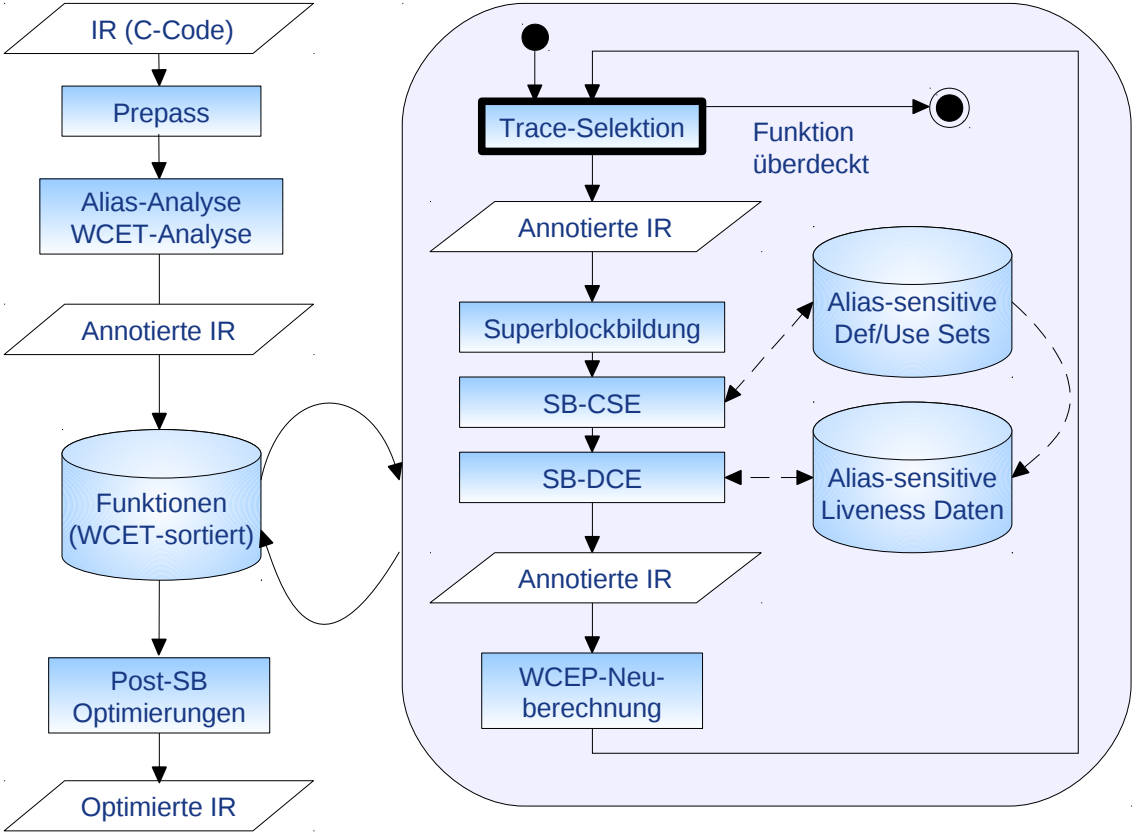
- Naheliegende Idee: Traceselektion und Superblockbildung auf dem WCEP

  → Pfadwechsel



- Erhoffte Effekte:
  - gezielte Pfadoptimierung
    → über Basisblockgrenzen hinaus
    → auf dem WCEP
  - positive Effekte für WCET-Analysetechniken (weniger Verschmelzungspunkte im CFG)

Überblick


IR (C-Code)
Prepass
Alias-Analyse
WCET-Analyse
Annotierte IR
Funktionen
(WCET-sortiert)
Post-SB
Optimierungen
Optimierte IR
Trace-Selektion
Funktion
überdeckt
Annotierte IR
Superblockbildung
SB-CSE
SB-DCE
Annotierte IR
WCEP-Neu-
berechnung
Alias-sensitive
Def/Use Sets
Alias-sensitive
Liveness Daten

Traceselektion

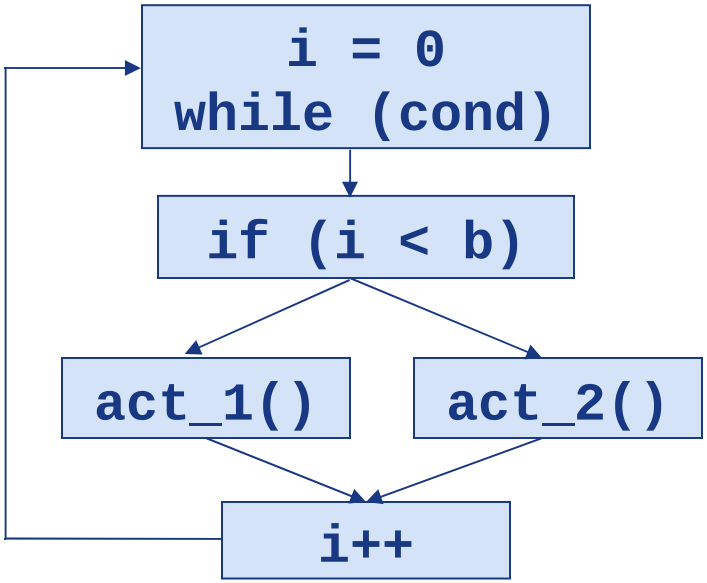
Aufgabe:

- Bestimme: Schleifenfreie Basisblockfolge
  für Umbau zu Superblock
- Also: Arbeite innerhalb einer Schleife
  Innere Schleifen reduzieren

- Betrachte nur **WCEP**
  → Lösung trivial?

Traceselektion – Daten

Informationen im CFG:



Knoten:

WCET (Summe)

WCEC (Summe)

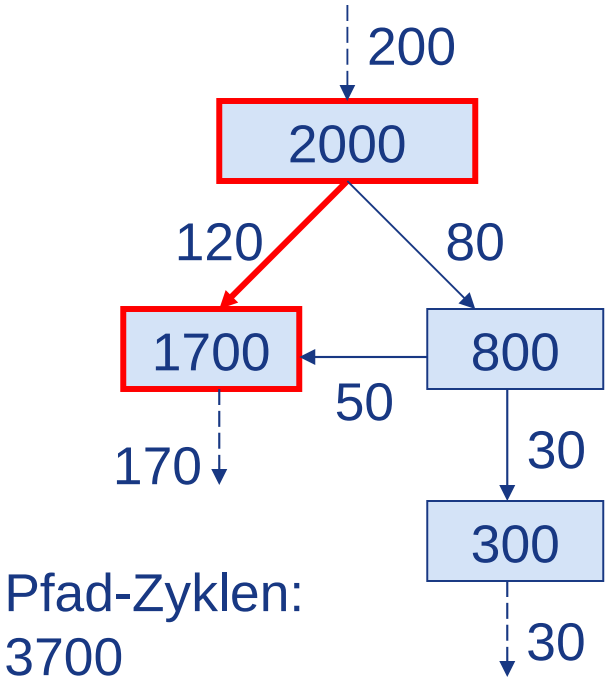
Codegröße

Kanten:

WCEC (Summe)

Traceselektion - Bisher

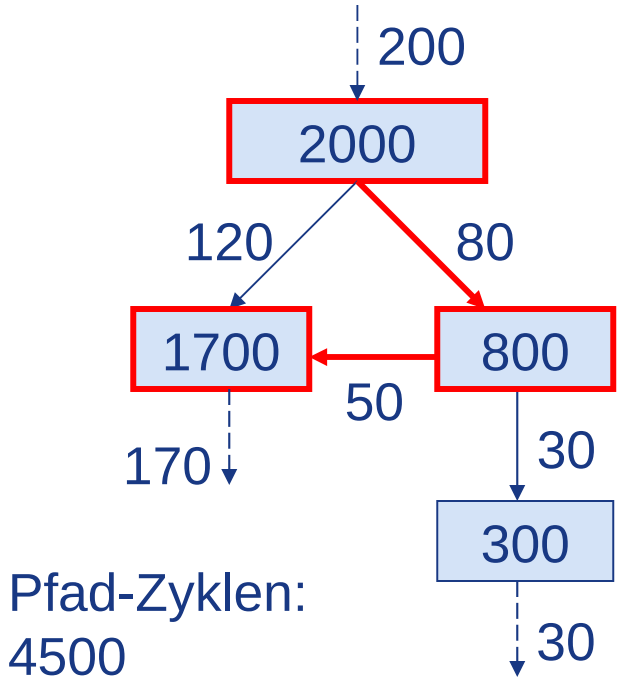
Bsp.: Kantenbasiert: [Chang, 1988]



- Beginn mit schwerstem Knoten
- Verlängere abwechselnd nach unten/oben
- Immer den Knoten mit maximaler Kanten-ausführungshäufigkeit auswählen

Traceselektion - Bisher

Bsp.: Kantenbasiert: [Chang, 1988]

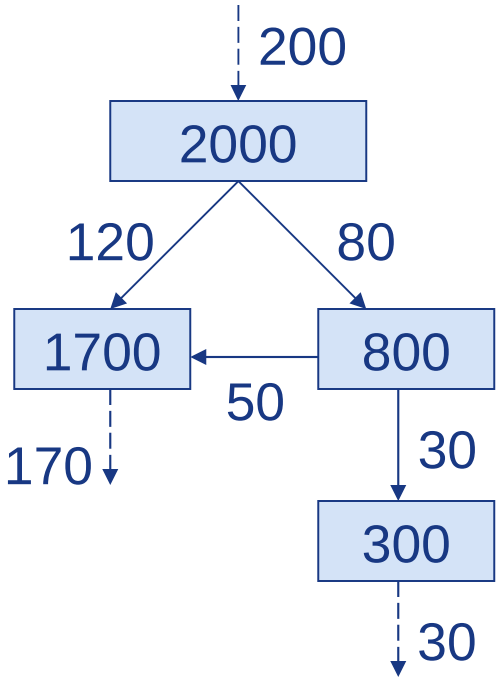


Pfad-Zyklen:
4500

→Keine Garantie, den längstmöglichen Pfad zu erhalten

Traceselektion - Neu

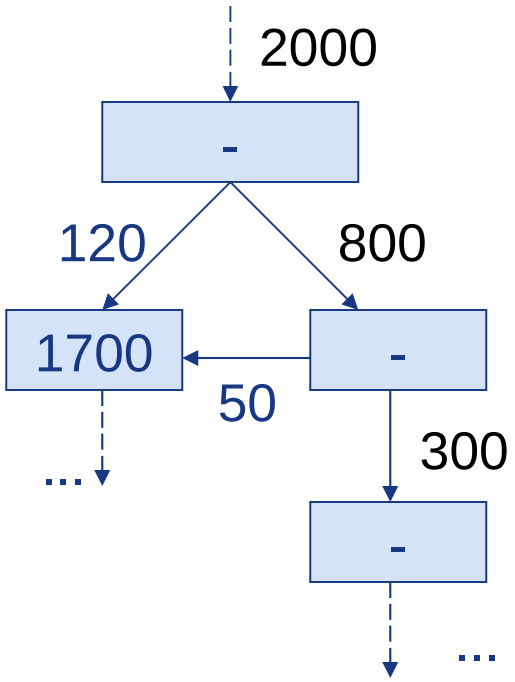
Longest Path Algorithmus:



$$Kantenlänge[(u,v)] = WCET(v) \cdot \frac{WCEC(u,v)}{WCEC(v)}$$

Traceselektion - Neu

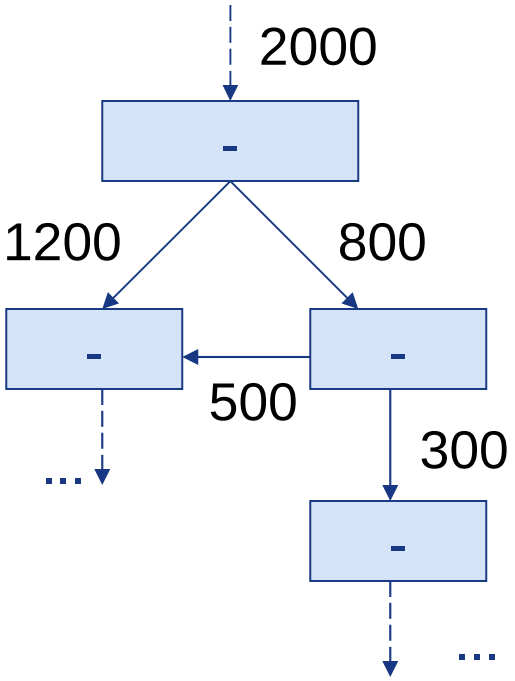
Longest Path Algorithmus:



$$Kantenlänge[(u,v)] = WCET(v) \cdot \frac{WCEC(u,v)}{WCEC(v)}$$

Traceselektion - Neu

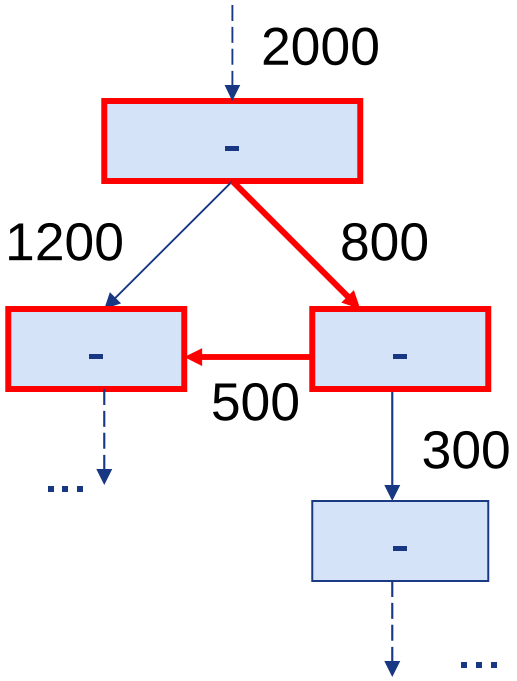
Longest Path Algorithmus:



$$Kantenlänge[(u,v)] = WCET(v) \cdot \frac{WCEC(u,v)}{WCEC(v)}$$

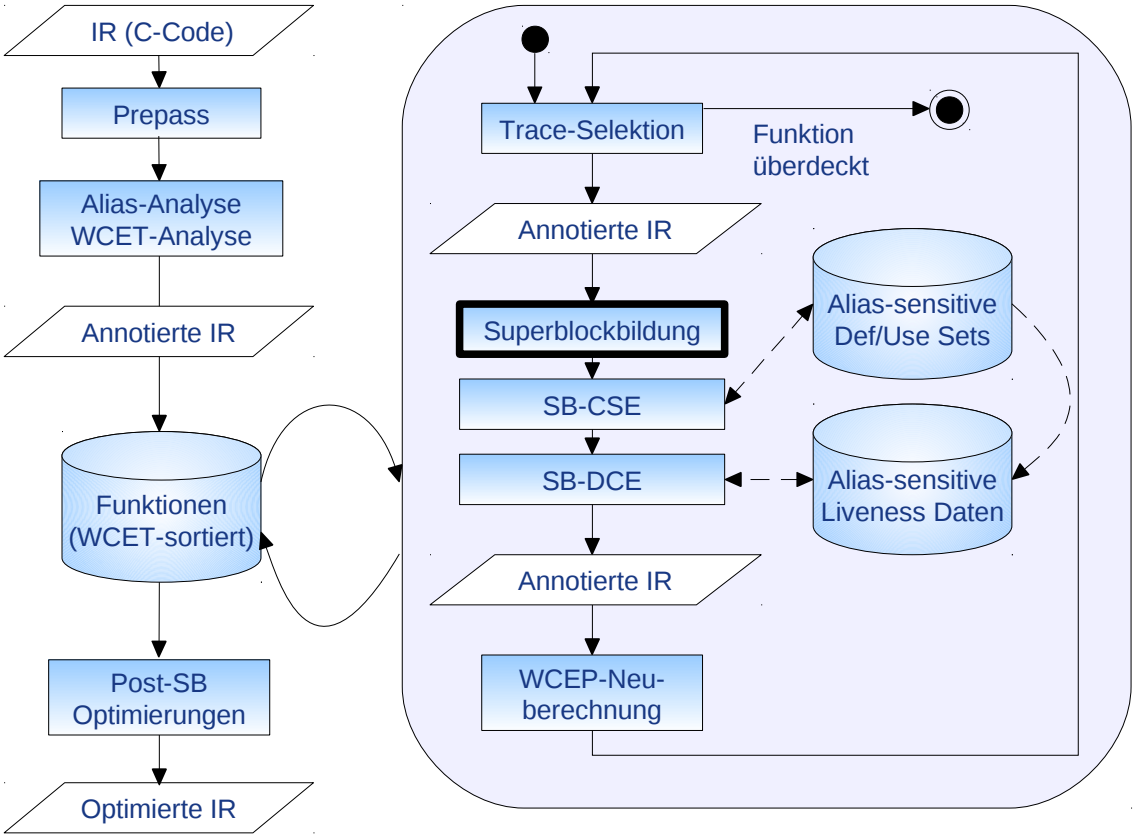
Traceselektion - Neu

Longest Path Algorithmus:



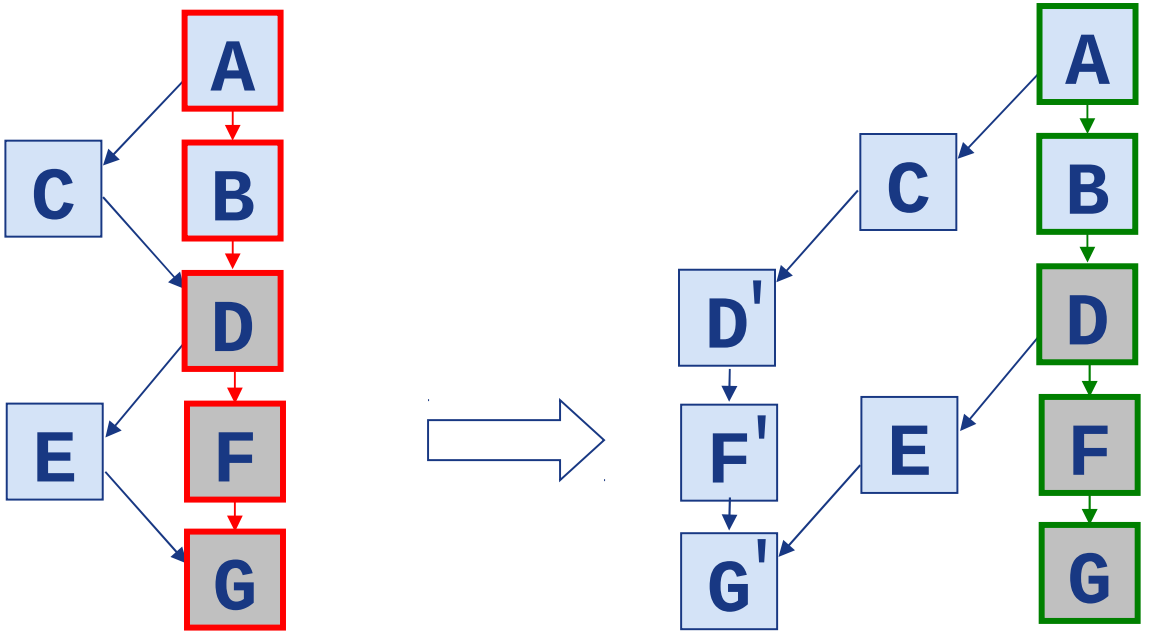
- Berechne längsten Pfad „Quelle → Senke“
- Neue Traces = Nicht überdeckte Teilstücke
- Codegrößenwachstum vorhersagen & begrenzen

Überblick


IR (C-Code)
Prepass
Alias-Analyse
WCET-Analyse
Annotierte IR
Funktionen
(WCET-sortiert)
Post-SB
Optimierungen
Optimierte IR
Trace-Selektion
Funktion
überdeckt
Annotierte IR
Superblockbildung
SB-CSE
SB-DCE
Annotierte IR
WCEP-Neu-
berechnung
Alias-sensitive
Def/Use Sets
Alias-sensitive
Liveness Daten

Superblockbildung

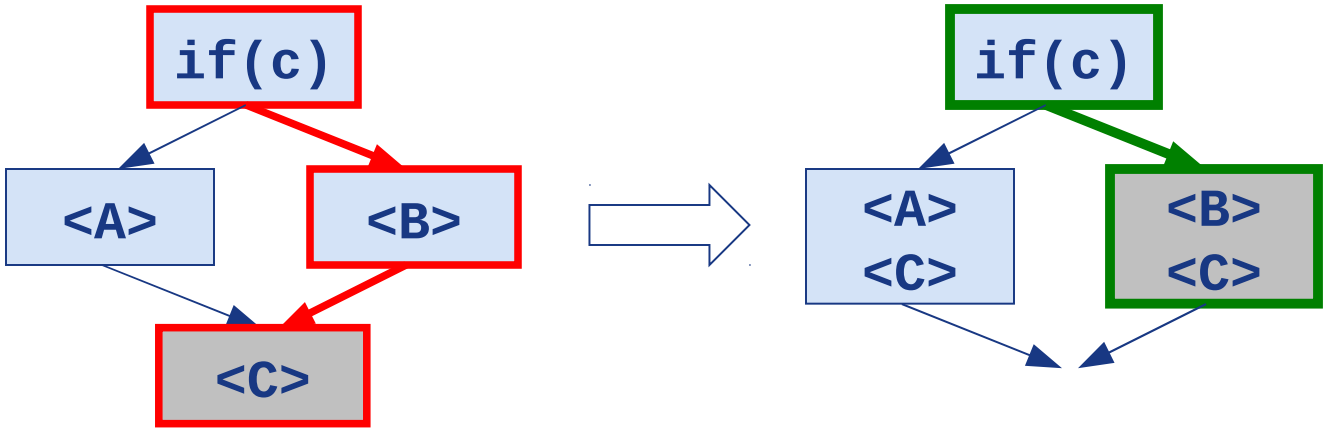
- **Low-Level: Basisblockbasiert**



Superblockbildung

- **High-Level: Syntaxbasiert**

  → Kopiere gesehenes Trace-Endstück



switch-Konvertierung

- **Problemfall:**

```
switch( x ) {
 case 0: ...; break;
 case 1: ...; break;
 case 2: ...; break;
 case 3: ...; break;
 default: ...; break;
}
<A>;
```

- **Größenzunahme:**

```
switch( x ) {
 case 0: ...; <A>; break;
 case 1: ...; <A>; break;
 case 2: ...; <A>; break;
 case 3: ...; <A>; break;
 default: ...; <A>; break;
}
```

switch-Konvertierung

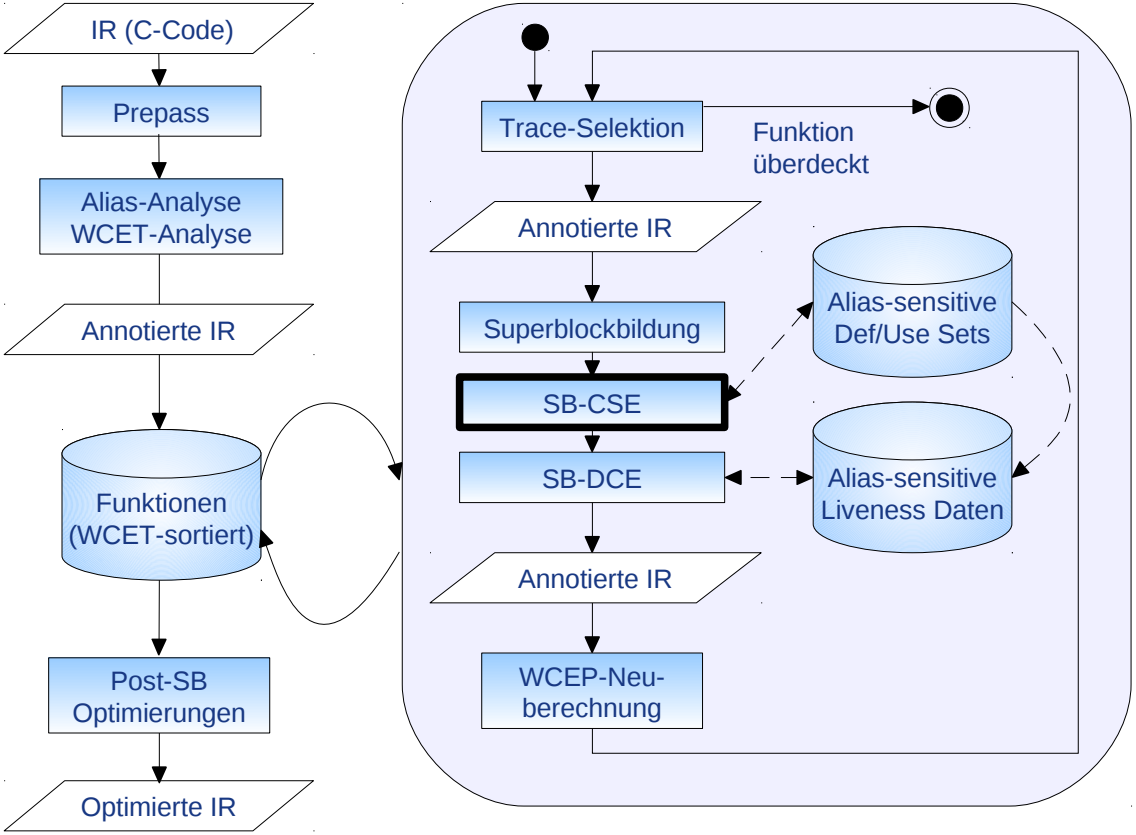
- **Problemfall:**

```
switch( x ) {
 case 0: ...; break;
 case 1: ...; break;
 case 2: ...; break;
 case 3: ...; break;
 default: ...; break;
}
<A>;
```

- **Besser:**

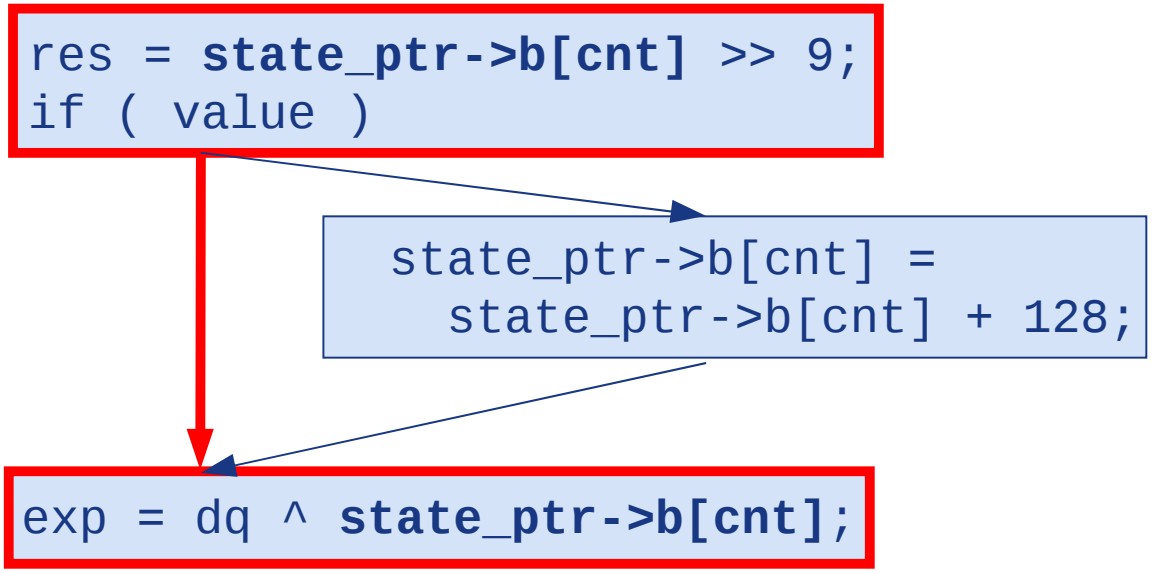
```
if ( x == 2 ) {
   ...; <A>;
} else {
   switch ( x ) {
    case 0: ...; break;
    case 1: ...; break;
    case 3: ...; break;
    default: ...; break;
   }
   <A>; }
```

Überblick


IR (C-Code)
Prepass
Alias-Analyse
WCET-Analyse
Annotierte IR
Funktionen
(WCET-sortiert)
Post-SB
Optimierungen
Optimierte IR
Trace-Selektion
Funktion
überdeckt
Annotierte IR
Superblockbildung
SB-CSE
SB-DCE
Annotierte IR
WCEP-Neu-
berechnung
Alias-sensitive
Def/Use Sets
Alias-sensitive
Liveness Daten

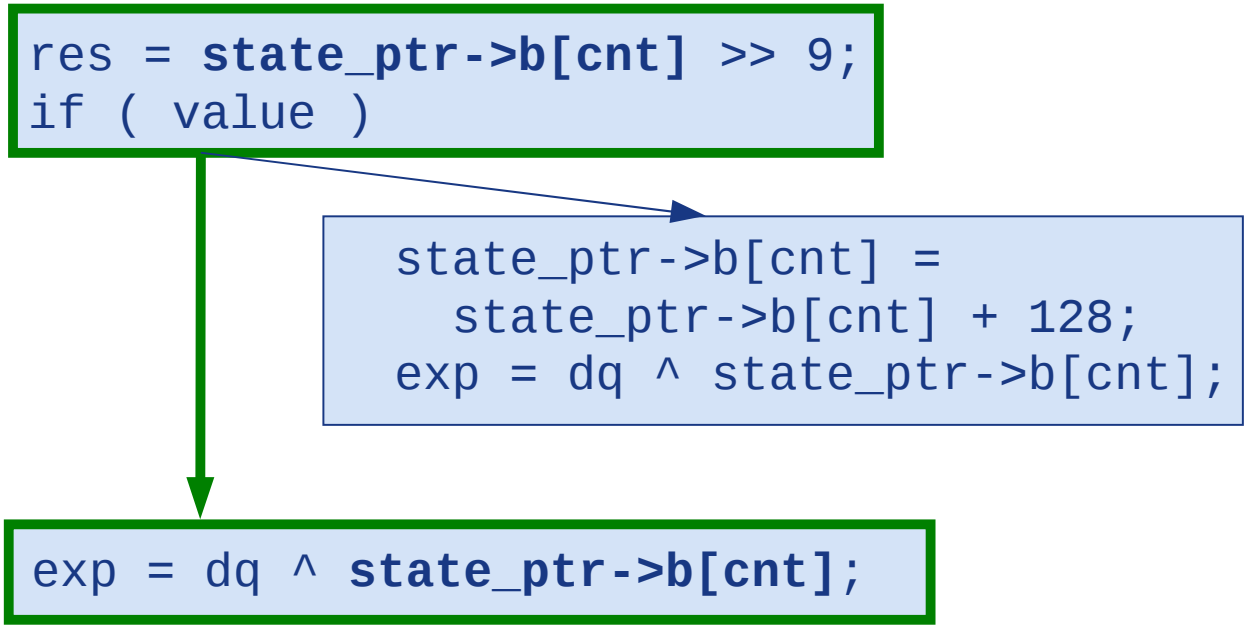
SB Common Subexpr. Elimination

- Nach der Traceselektion:



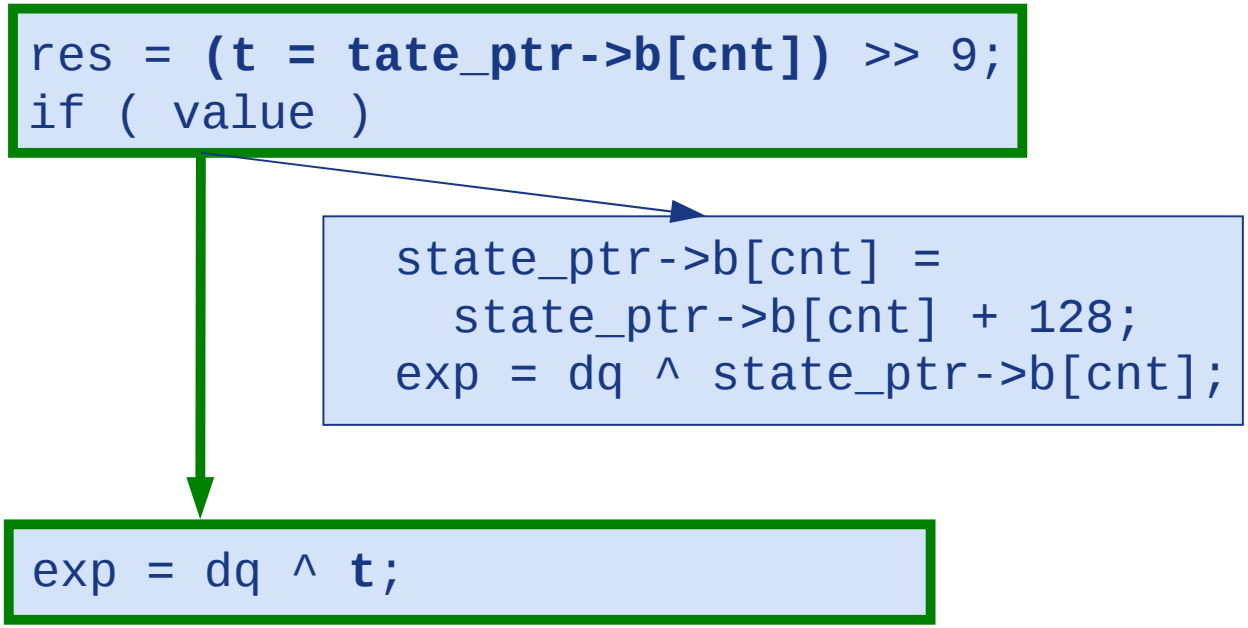
SB Common Subexpr. Elimination

- Nach der Superblockbildung:

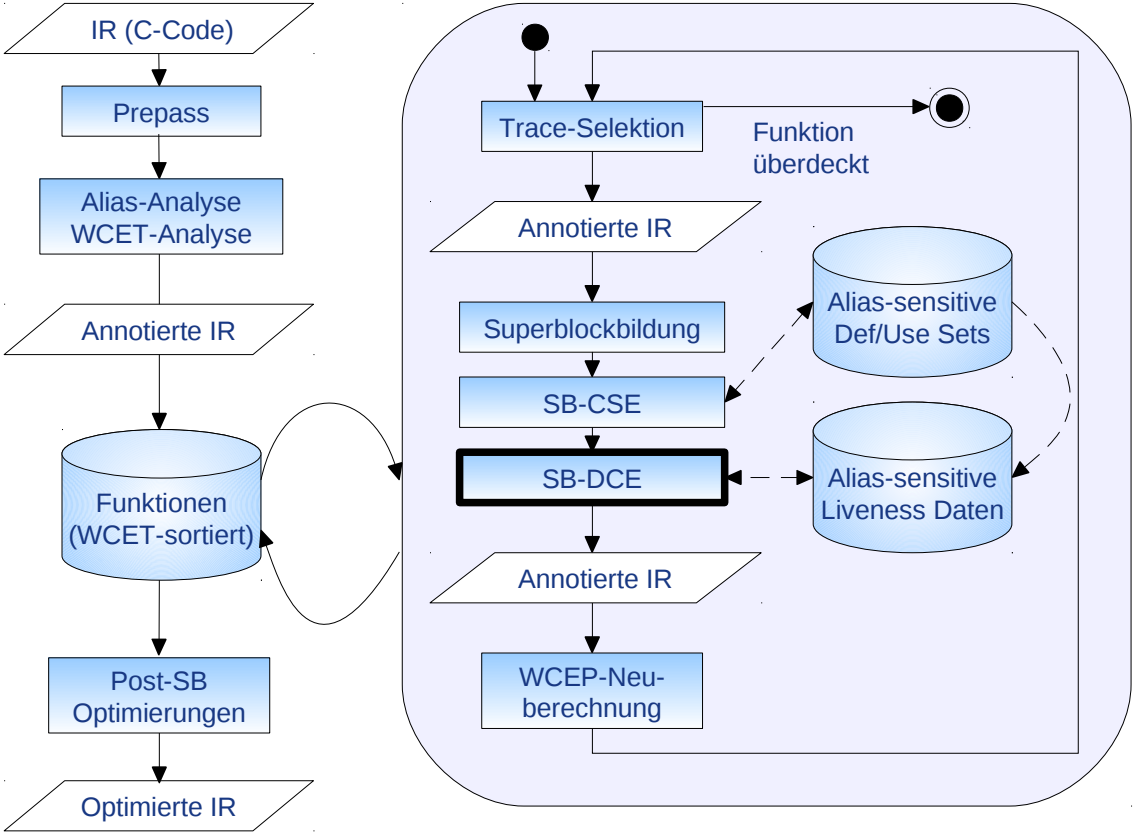


SB Common Subexpr. Elimination

- Nach der Superblockbildung:

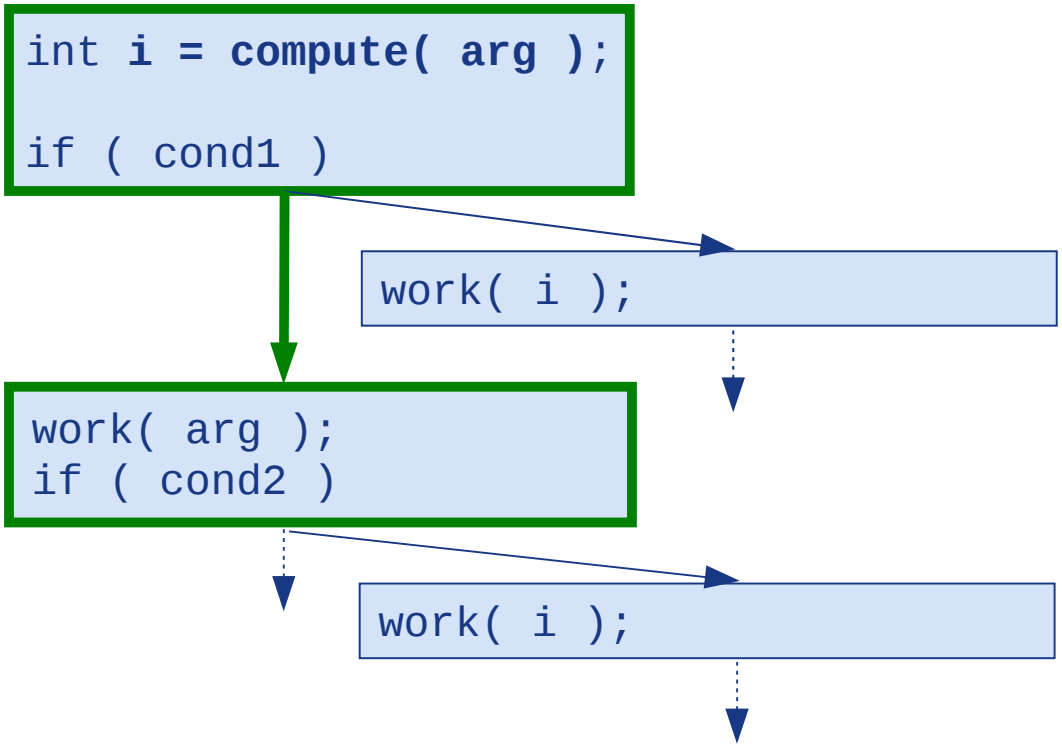


Überblick


IR (C-Code)
Prepass
Alias-Analyse
WCET-Analyse
Annotierte IR
Funktionen
(WCET-sortiert)
Post-SB
Optimierungen
Optimierte IR
Trace-Selektion
Funktion
überdeckt
Annotierte IR
Superblockbildung
SB-CSE
SB-DCE
Annotierte IR
WCEP-Neu-
berechnung
Alias-sensitive
Def/Use Sets
Alias-sensitive
Liveness Daten

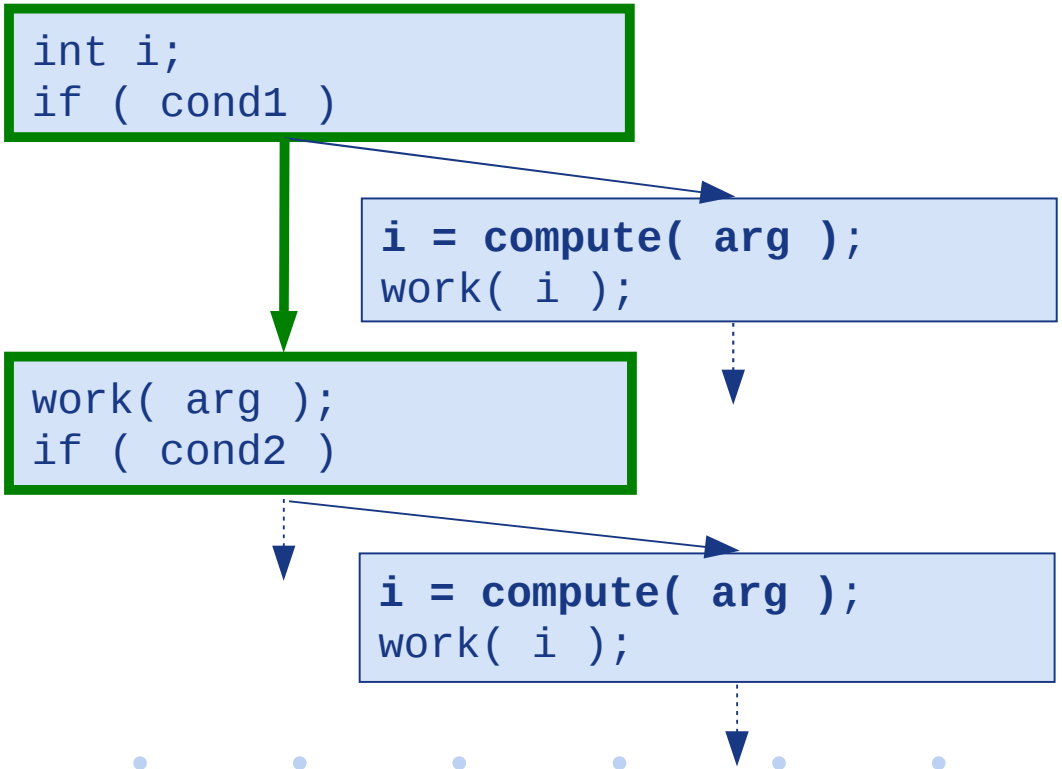
SB Dead Code Elimination

- Nach der Trace- und Superblockbildung:

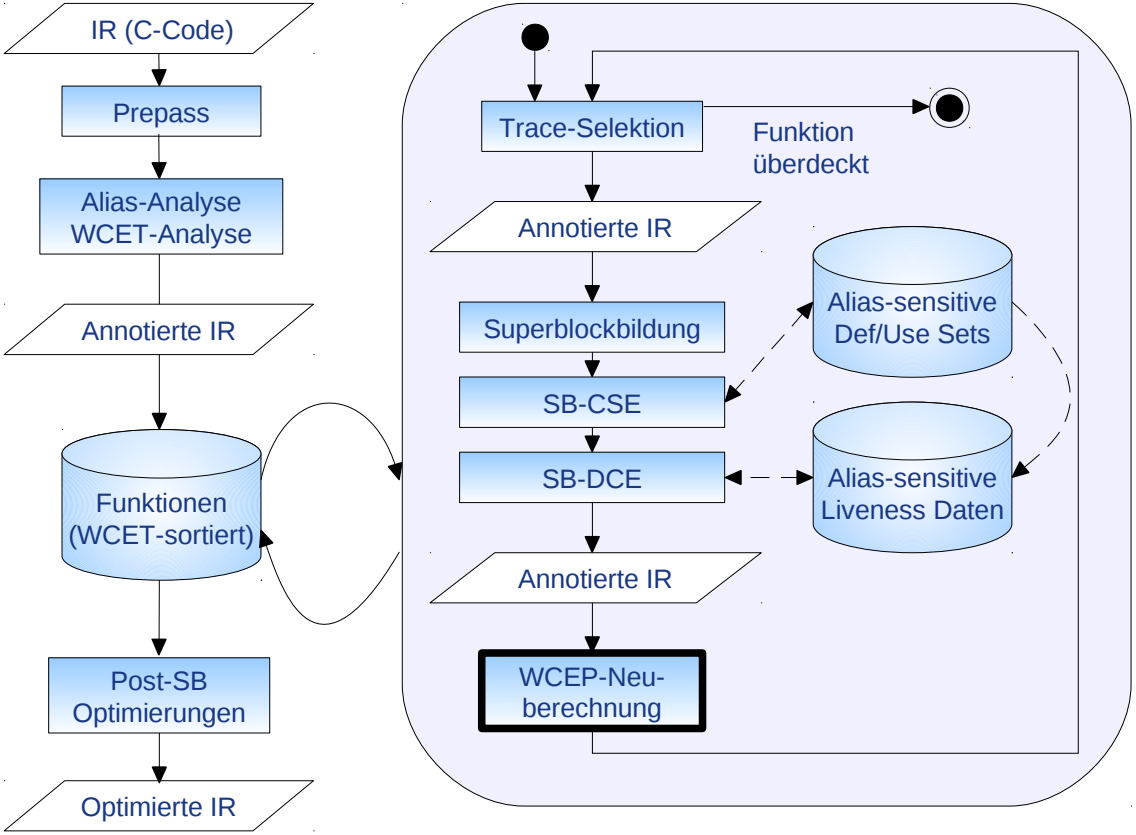


SB Dead Code Elimination

- Nach der SB-DCE:



Überblick


IR (C-Code)
Prepass
Alias-Analyse
WCET-Analyse
Annotierte IR
Funktionen
(WCET-sortiert)
Post-SB
Optimierungen
Optimierte IR
Trace-Selektion
Funktion
überdeckt
Annotierte IR
Superblockbildung
SB-CSE
SB-DCE
Annotierte IR
WCEP-Neu-
berechnung
Alias-sensitive
Def/Use Sets
Alias-sensitive
Liveness Daten

WCET Neuberechnung

- Wozu eine Neuberechnung?
  → WCET / WCEC Daten werden ungültig
  - Superblockbildung
  - Optimierungen

- aiT sehr rechenintensiv
  → nur für jede k-te Neuberechnung nutzen
  → alle anderen Neuberechnungen ersetzen durch Block-WCET-Schätzung und IPET-Lösung (ILP)

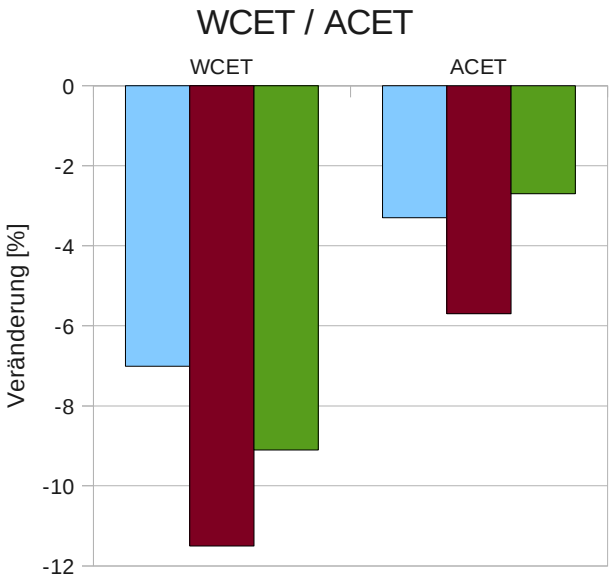
Auswertung - SB-Bildung

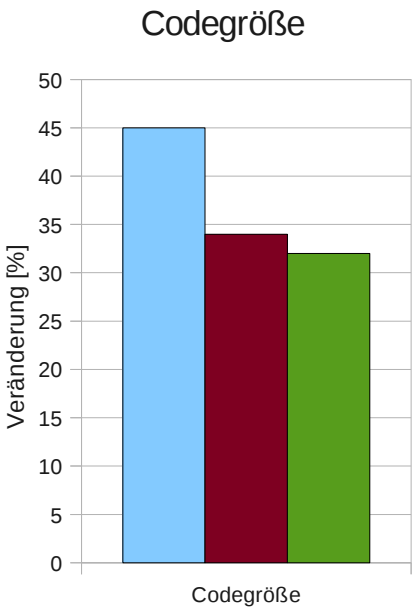
- Superblockbildung + Opt.-Level O3

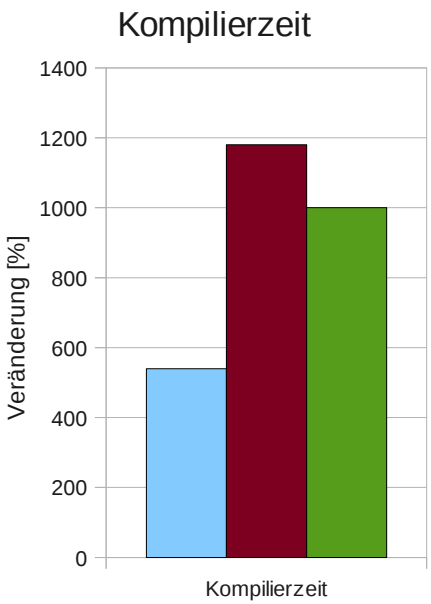
Stufe	WCET	ACET	Codeg.	K.-Zeit
O3	100%	100%	100%	100%
+ SB-Form o. CGK	96,38%	97,16%	208%	2650%
+ SB-Form m. CGK	93,99%	96,76%	134%	640%
ohne Erweiterungen (`switch`-Konv., ...)	97,29%	97,59%	137%	

- 55 Realworld-Benchmarks (DSPstone, MediaBench, MiBench, MRTC, UTDSP)

Auswertung – SB-CSE/DCE







Ende

Fragen?