Eingebettete Prozessorarchitekturen

4. Compilierung und Beispiele für VLIW-Prozessoren

Andreas Koch

FG Eingebettete Systeme und ihre Anwendungen
Informatik, TU Darmstadt

Wintersemester 2009/2010

Prüfungen

- Zuteilung der 1. Prüfungstermine
- 12.01.2010
- Vormittags 10:00 - 12:00: 6 Slots
- Nachmittags 14:00 - 16:00: 6 Slots

Quellenangabe

Alle Zeichnungen in diesem Abschnitt aus Kapitel 4

Bulldog: A Compiler for VLIW Architectures

von

John Ellis

Dort auch weiterführende Erklärungen!

Vorgehensweise

- CFG erstellen
  - Hier: Jeder Basisblock enthält nur eine Operation
- Profiling
- Spuren im CFG bilden
- Jede Spur einzeln bearbeiten
- Ablaufplan erstellen
- Spur in CFG durch ihren Ablaufplan ersetzen
- Kompensationscode in CFG einfügen

Kompensationscode
Definitionen

Split

Bedingter Sprung aus der Spur heraus

Join

Sprung von aussen in die Spur hinein

On-Trace-Edge

Auf der Spur weiterverlaufender Ast eines Splits

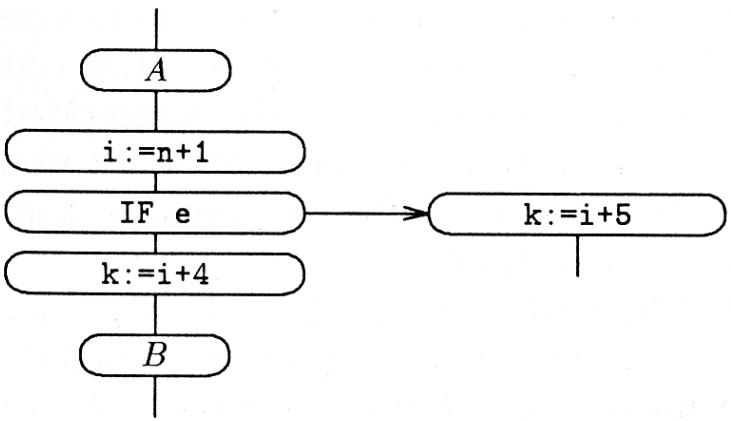
Off-Trace-Edge

Von der Spur abweichender Ast eines Splits

Splits
Ausgangssituation - Eine Operation verschoben

A. Koch

Eingabe-Spur



Ablaufplan

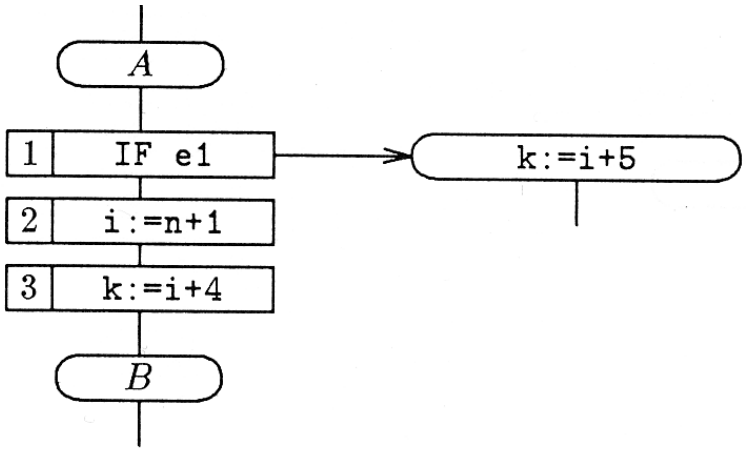
1	IF e1
2	i:=n+1
3	k:=i+4

Annahme: Alle Operationen brauchen einen Takt

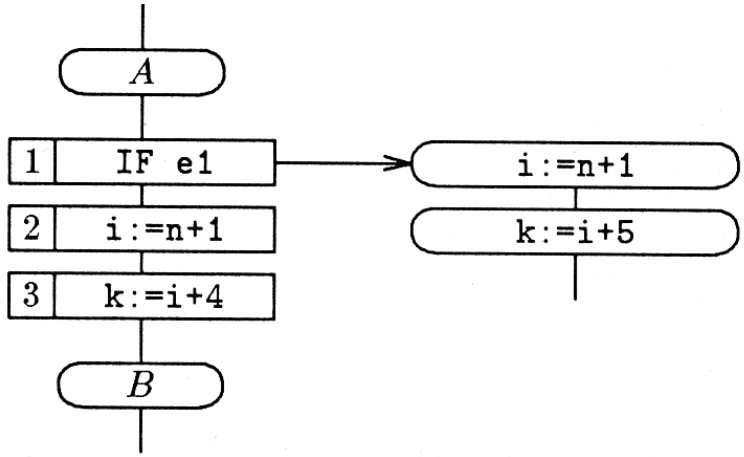
Splits
Eine verschobene Operation kompensieren

A. Koch

Einbauen des Ablaufplans in CFG



Kompensationscode



Eingefügt an Anfang von Off-Trace-Edge.

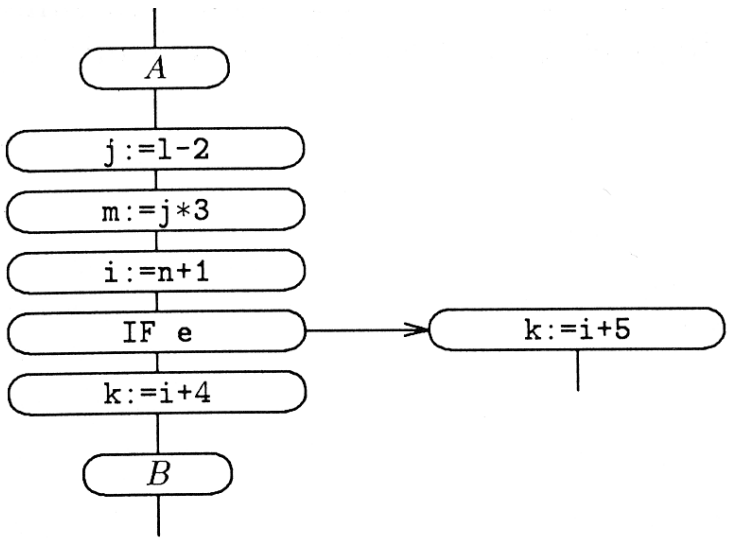
Fehler: `i:=n+1` kommt nicht bei `k` an

Splits

Ausgangssituation - Mehrere Operationen verschoben

A. Koch

Eingabe-Spur

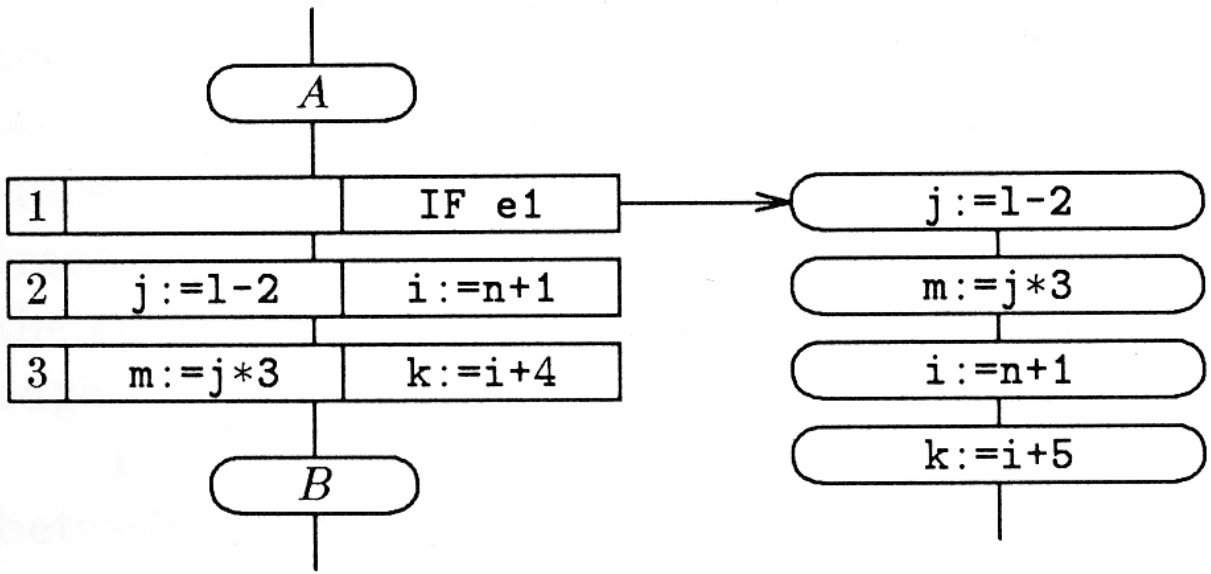


Ablaufplan

1		IF e1
2	j:=1-2	i:=n+1
3	m:=j*3	k:=i+4

Splits
Mehrere verschobene Operation kompensieren

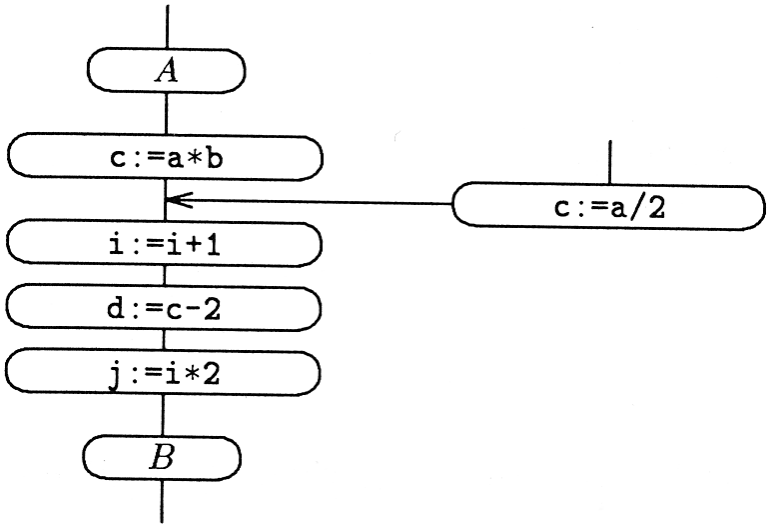
A. Koch



- Kopiere alle verschobenen Operationen in Off-Trace-Edge
- In der Auftretensreihenfolge aus Original-Spur

Joins
Ausgangssituation

Eingabe-Spur



Ablaufplan

1	`c:=a*b`	`i:=i+1`
2	`d:=c-2`	`j:=i*2`

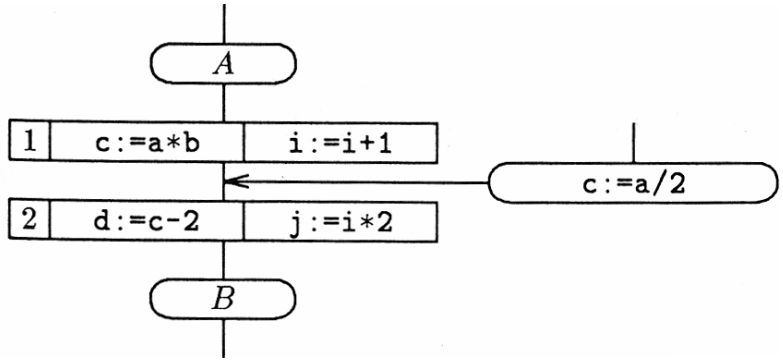
A. Koch

- Wie Ablaufplan in CFG einbauen?
- Join vor Takt 1?
  - **`c:=a*b`** überschreibt **`c:=a/2`**
- Join vor Takt 2?
  - Rechnet nicht mehr **`i:=i+1`**
- Nach Takt 2?
  - Berechnungen für **`i`**, **`d`**, **`j`** fehlen

Joins
Kompensationscode

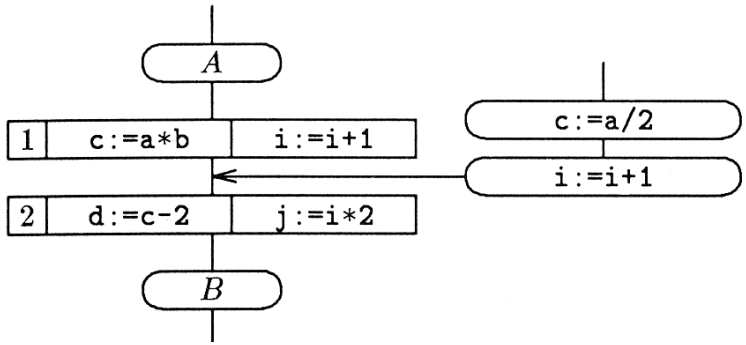
A. Koch

Wahl des Einsprungpunktes



- So früh wie möglich, aber:
- Keine Operation, die vorher vor Join lag
- . . . darf nun dahinter liegen

Mit Kompensationscode

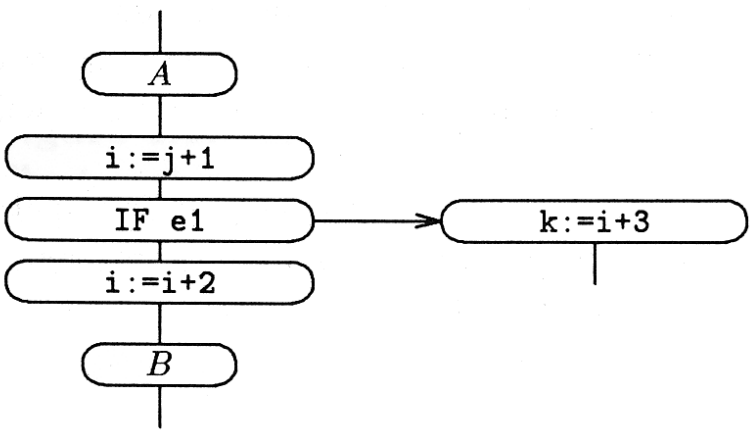


- Einfügen in Join-Kante
- Auch mit mehreren Instruktionen machbar
- Alle in Originalreihenfolge einkopieren

Verschieben vor Splits?
Ausgangssituation

A. Koch

Eingabe-Spur

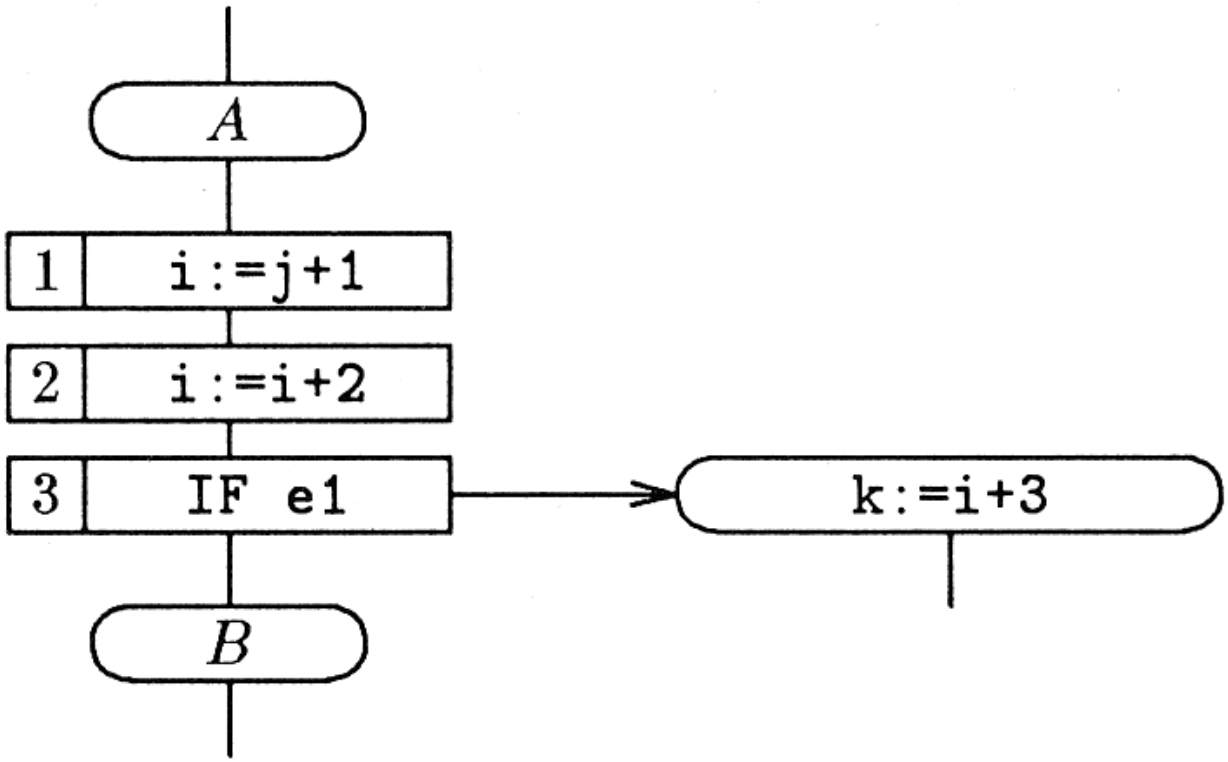


Ablaufplan

1	i:=j+1
2	i:=i+2
3	IF e1

Verschieben vor Splits?
Problem

A. Koch

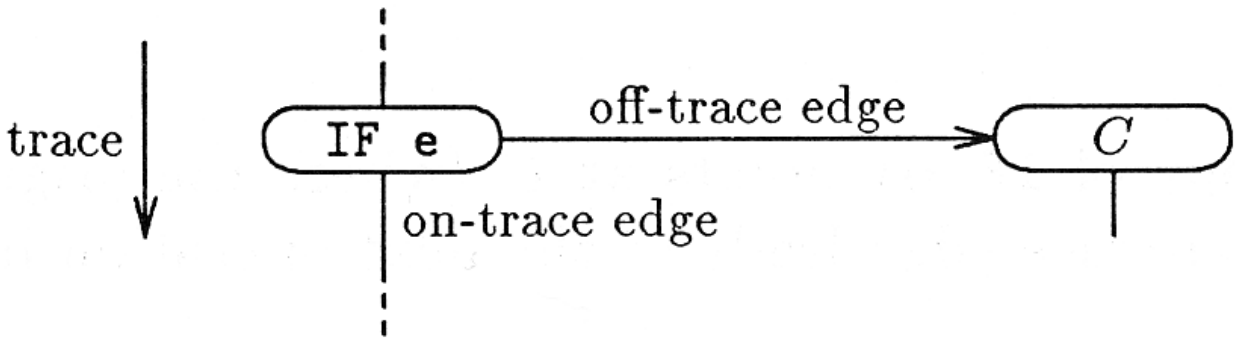


- `k:=i+3` bekommt nun falschen Wert von `i`
- Was tun? Daten sind kaputt (`i` überschrieben)!
- Kann so nicht bei Ablaufplanung auftreten
  - `i` wird auf Off-Trace-Edge gelesen, `i` ist dort live
  - Kontrollkante `IF e1` ➜ `i:=i+2` einziehen
  - Anweisung `i:=i+2` wird nicht vor `IF e1` bewegt

Verschieben von Sprüngen

Wesentliche Unterscheidung zwischen
On-Trace und Off-Trace

A. Koch



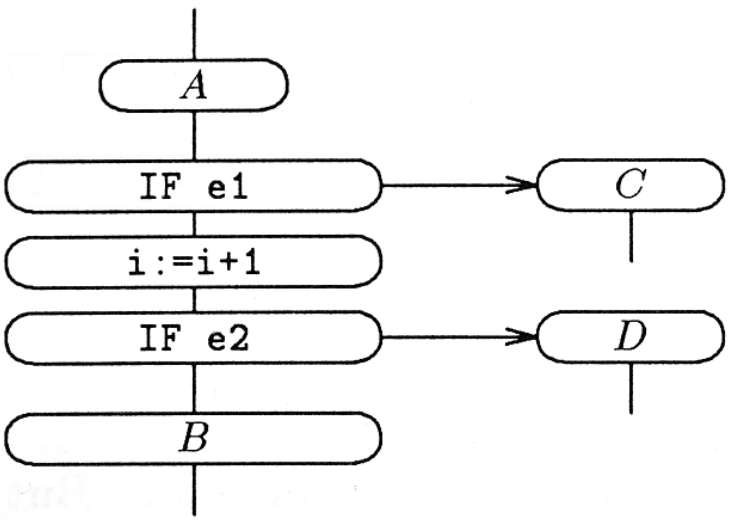
- Sprungrichtung (wahr/falsch) häufig irrelevant
- Aber Ziel von Trace-Scheduling:
  - Vermeide Nehmen von Sprüngen innerhalb Spur
  - Warum?
  - Erinnerung: Zeitverschwendung bei Pipelining

Verschieben von Sprüngen über Splits

Ausgangssituation

A. Koch

Eingabe-Spur



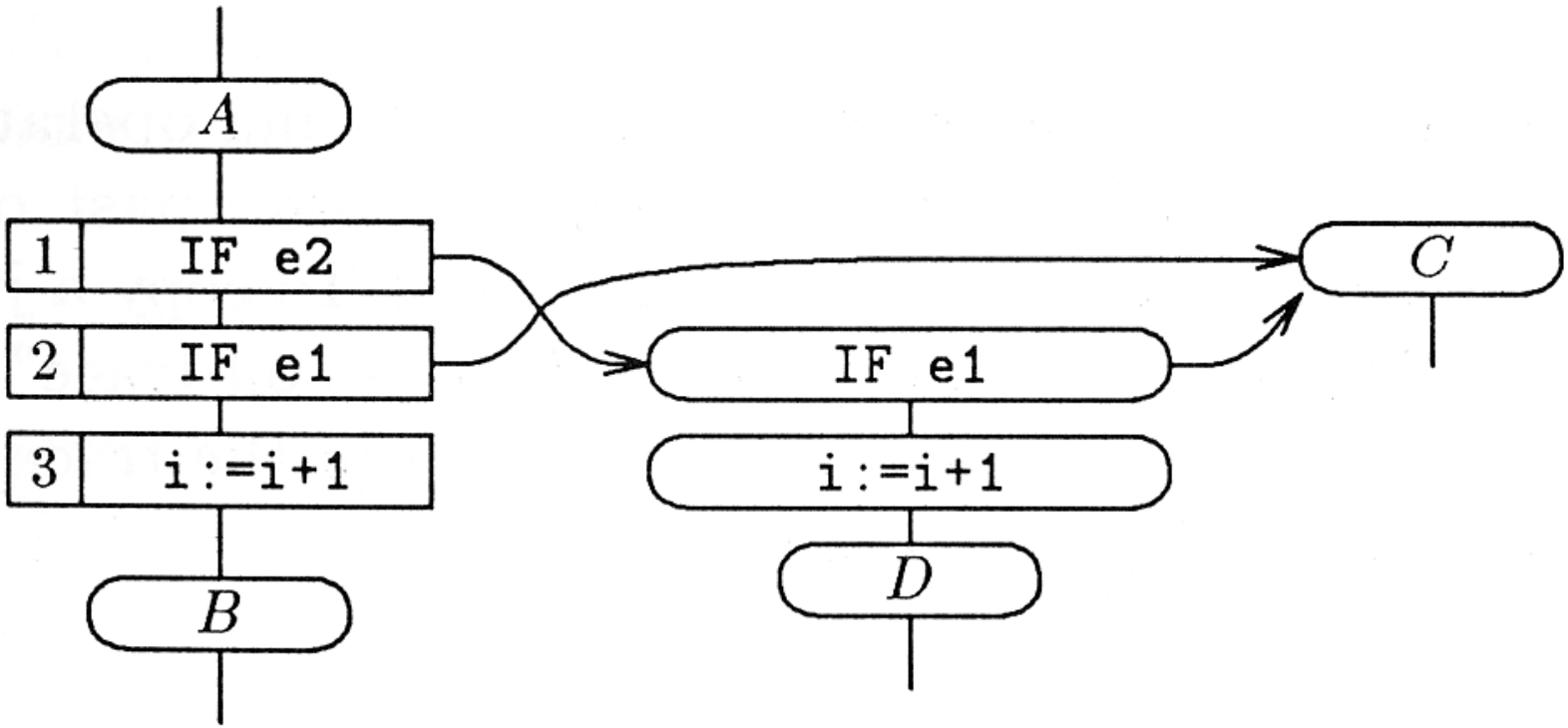
Ablaufplan

1	IF e2
2	IF e1
3	i:=i+1

`IF e2` jetzt am Anfang

Verschieben von Sprüngen über Splits

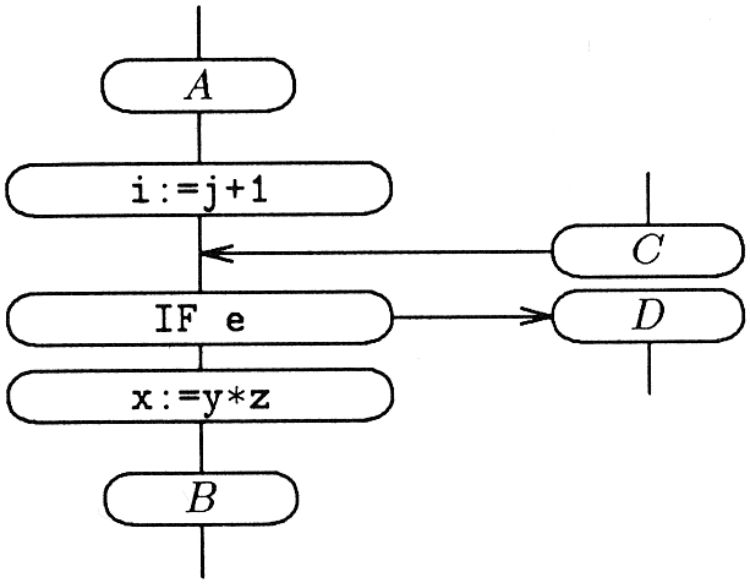
Kompensationscode



- Gleiches Verhalten
- Sequenzen wie `A, IF e2, IF e1, C` stören nicht
- Programmverhalten bleibt gleich

Verschieben von Sprüngen über Joins
Ausgangssituation

Eingabe-Spur



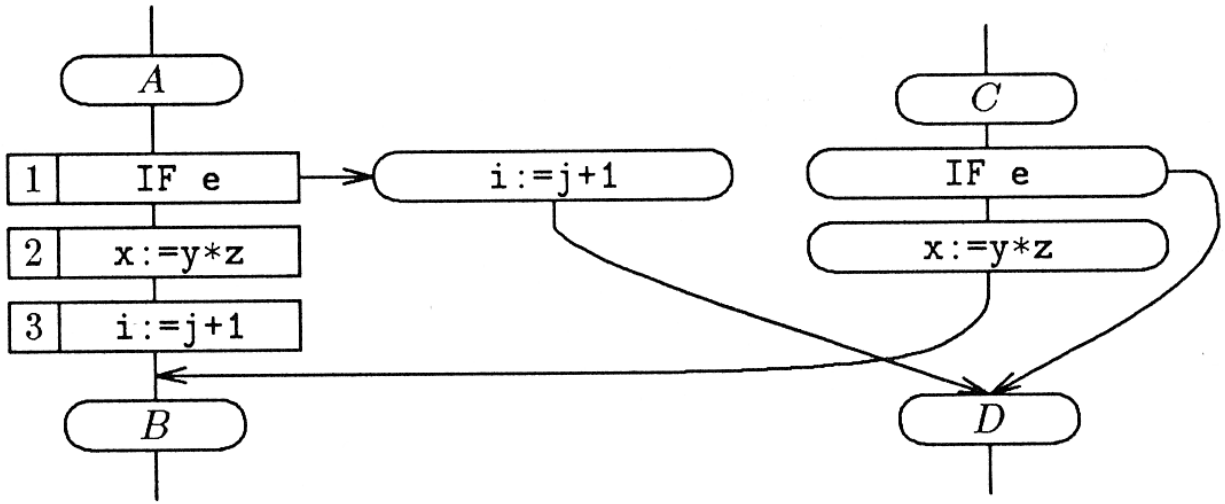
Ablaufplan

1	IF e
2	x:=y*z
3	i:=j+1

- **`IF e`** jetzt am Anfang, über Join hinweg bewegt
- Frühester Join nach Takt 3
- Sonst würde nach C fehlerhafterweise **`i:=j+1`** gerechnet

Verschieben von Sprüngen über Joins
Kompensationscode

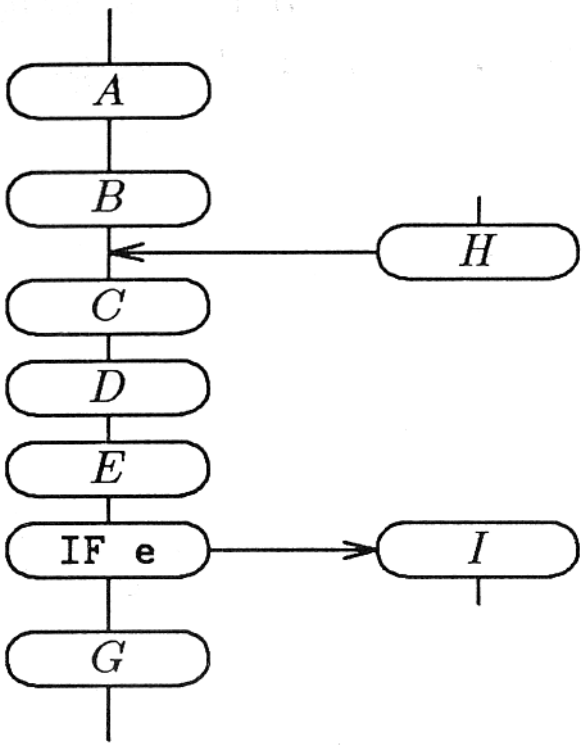
A. Koch



- `i:=j+1` unter `IF e` bewegt, muß aber vor D ausgeführt werden
  - Also in Off-Trace-Edge einkopieren
- `IF e` und `x:=y*z` nun über Join
  - Also in Join-Kante einkopieren

Kompliziertere Split/Join-Szenarios
Ausgangssituation

Eingabe-Spur



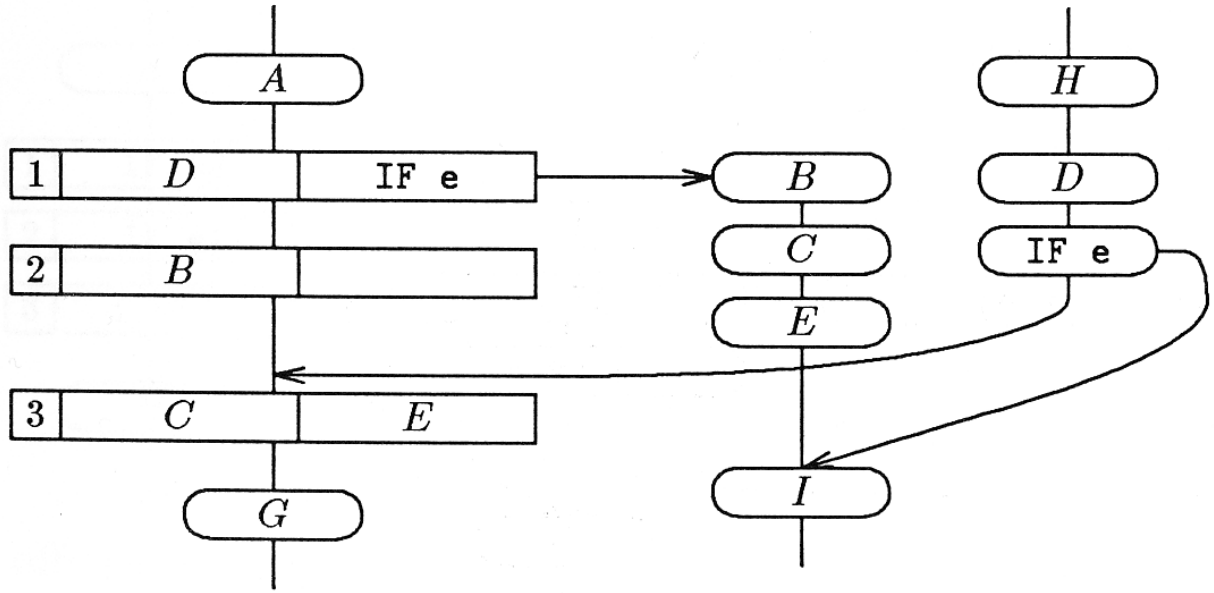
Ablaufplan

1	*D*	`IF e`
2	*B*	
3	*C*	*E*

- Join möglich zwischen Takt 2 und 3
- Vorher würde fehlerhafterweise `B` ausgeführt

Kompliziertere Split/Join-Szenarios

Kompensationscode: 1. Versuch

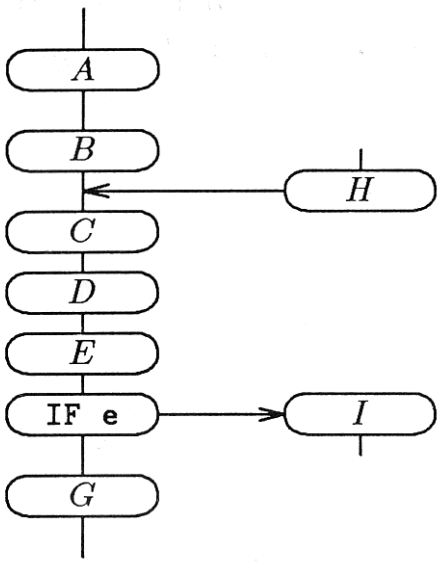


- `B`, `C` und `E` nun unter `IF e`
  - Also in Off-Trace-Edge einfügen
- `D` und `IF e` nun über Join bewegt
  - Also in Join-Kante einkopieren

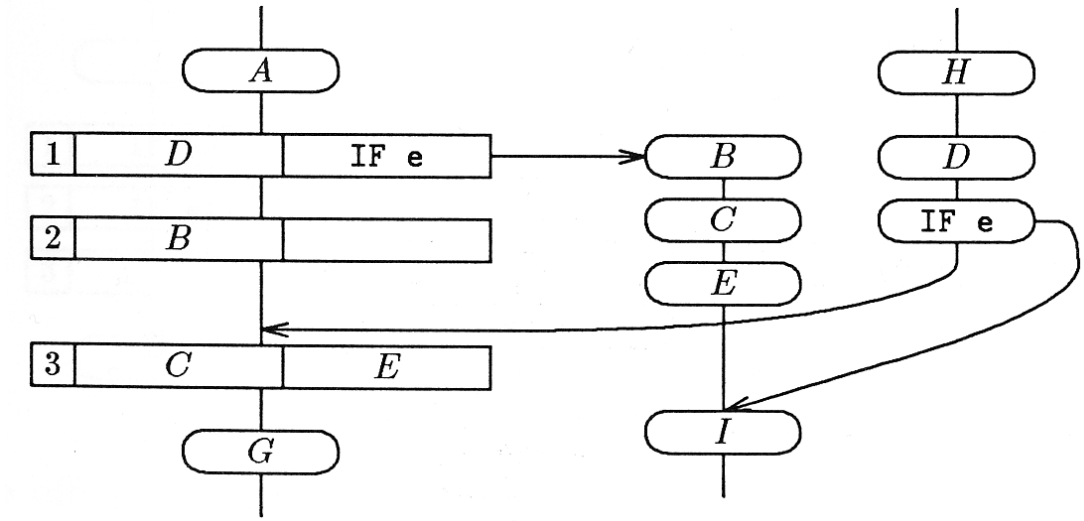
Kompliziertere Split/Join-Szenarios

Annahme: Eintritt bei **H** und **IF e** wahr

Original



Mit Kompensationscode



Fehler: Anderer Ablauf!

Statt H,C,D,E, **IF e**, I nun fehlerhafterweise H,D, **IF e**, I

Kompliziertere Split/Join-Szenarios
Regel für das Kopieren von Sprüngen in Join-Kanten

Alle Operationen der Spur, die zwischen dem ursprünglichen Join und dem bewegten Sprung (`IF`) lagen, die selbst noch nicht in die Join-Kante einkopiert wurden, müssen in den Off-Trace-Edge des in die Join-Kante kopierten Sprunges eingefügt werden.

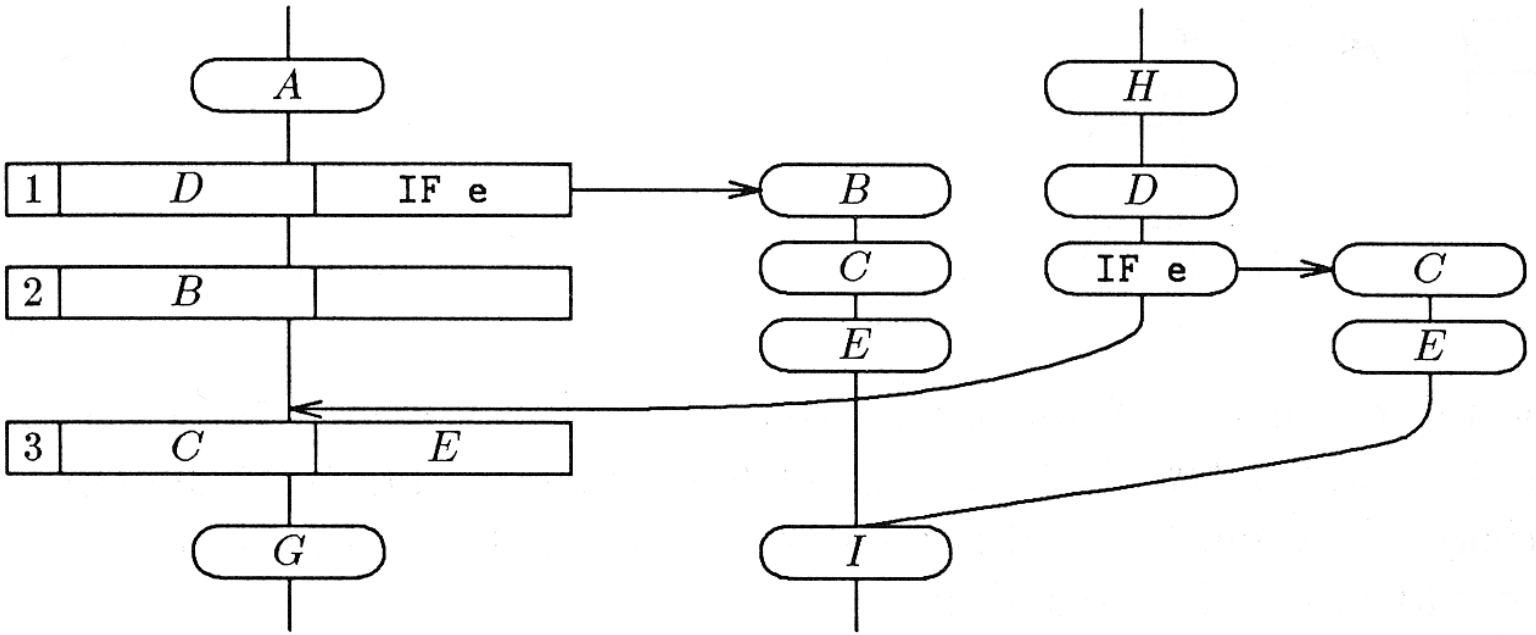
Kompliziertere Split/Join-Szenarios
Diskussion

- Was für Anweisungen sind das?
- Solche, die im Ablaufplan nach dem Join liegen
- Und damit nicht selbst in die Join-Kante einkopiert wurden (“. . . die werden ja ’eh noch ausgeführt”)
- Diese werden bei Kopieren eines Sprungs in die Join-Kante
- . . . auf dessen Off-Trace-Kante dann nicht mehr ausgeführt

Kompliziertere Split/Join-Szenarios

Korrekter Kompensationscode

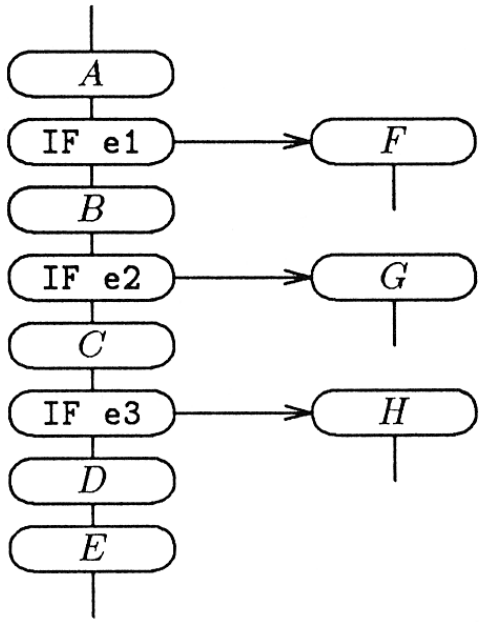
A. Koch



- `C` und `E` wurden in 1. Versuch nicht kopiert
- Join-Punkt liegt ja davor
- Kopie wäre also unnötig ...
- Nun wird aber `IF e` in Join-Kante kopiert
  - Bei `e=true`: Keine Rückkehr mehr in Spur, gleich Sprung nach `I`
- Nun fehlen `C` und `E` vor `I` ➜ Einkopieren!

Parallele bedingte Sprünge
Ausgangssituation

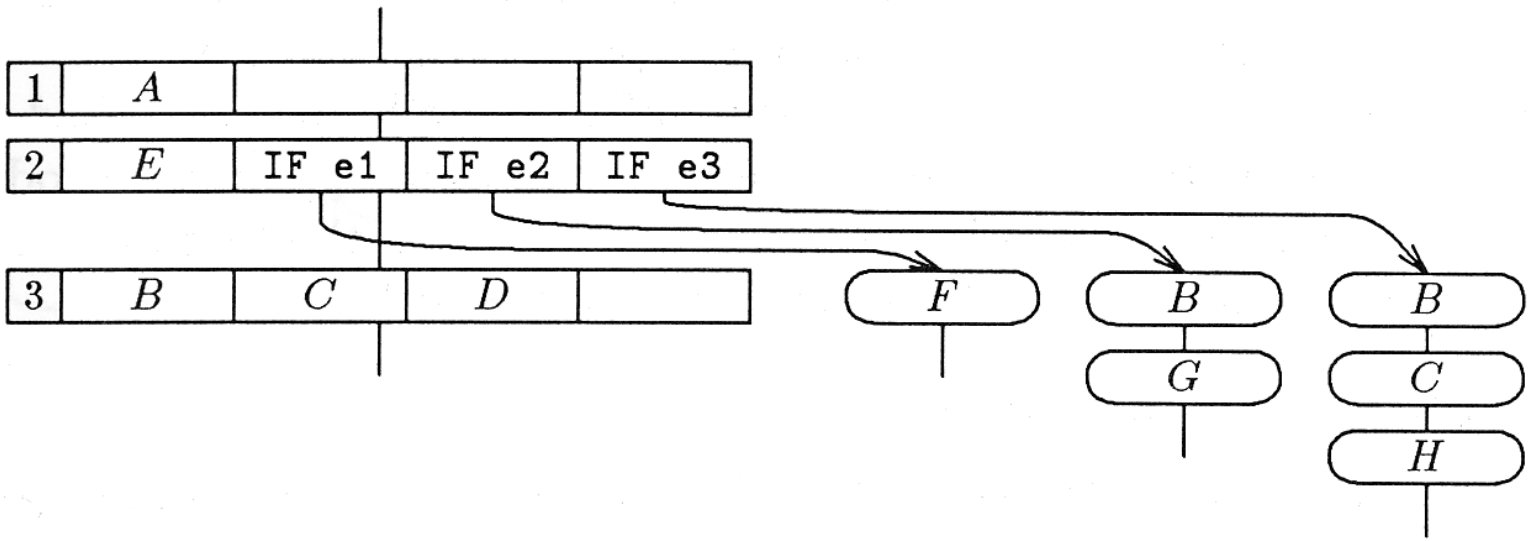
A. Koch



1	A			
2	E	IF e1	IF e2	IF e3
3	B	C	D	

- Annahme: Bedingungen werden vorher berechnet

Parallele bedingte Sprünge
Kompensationscode

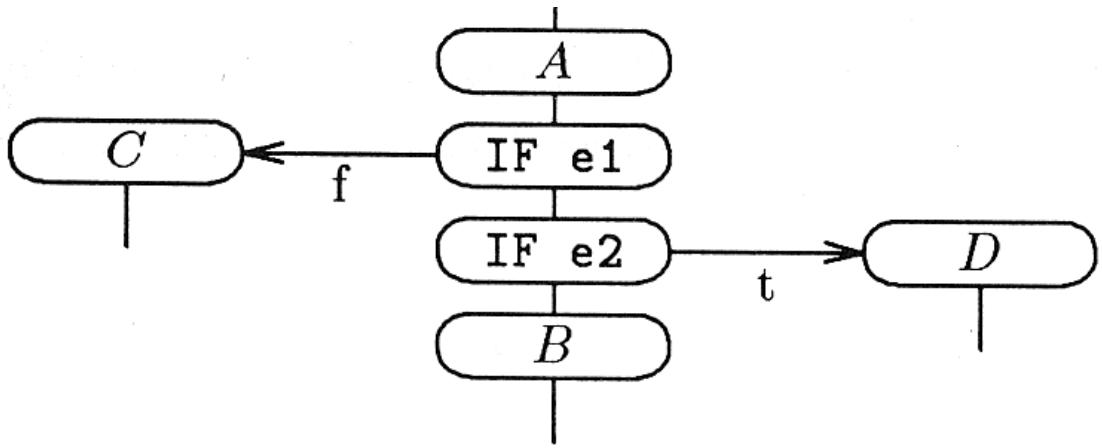


- `B` in Ablaufplan unter `IF e2` bewegt
  - Also in Off-Trace-Edge einkopieren
- Analog `B` und `C` für `IF e3`

Sonderfall: Genommener Sprung auf Spur

Ausgangssituation

- Bisher Spur verläuft durch nichtgenommene Sprünge
  - **f**=fallthrough, **t**=taken (nicht false/true!)
- Nun Betrachtung des anderen Falls



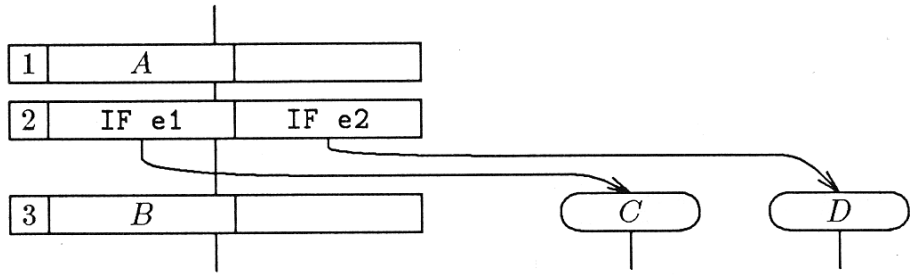
1	*A*	
2	IF e1	IF e2
3	*B*	

Sonderfall: Genommener Sprung auf Spur

Auswirkung und Lösung

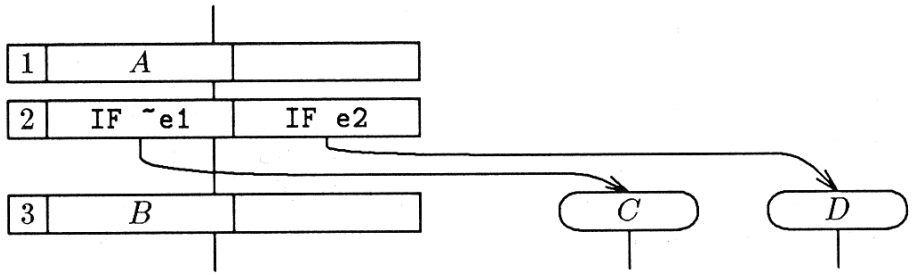
In CFG eingebauter Ablaufplan

A. Koch



Fehler: Nun ist **`IF e2`** Fallthrough von **`IF e1`**

Korrektur



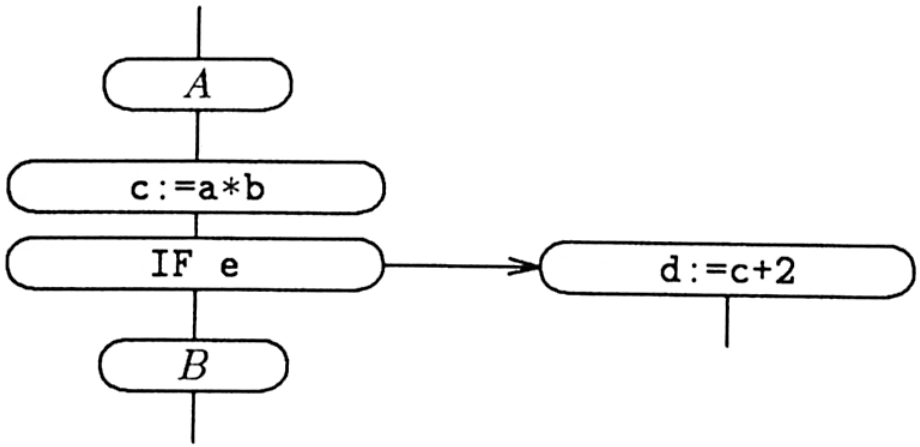
Bedingung **`e1`** invertieren, jetzt ist **`IF e2`** wieder Fallthrough

Handhabung von Mehrtakt-Operationen

Annahme hier: Multiplikation braucht 3 Takte

Spur

A. Koch

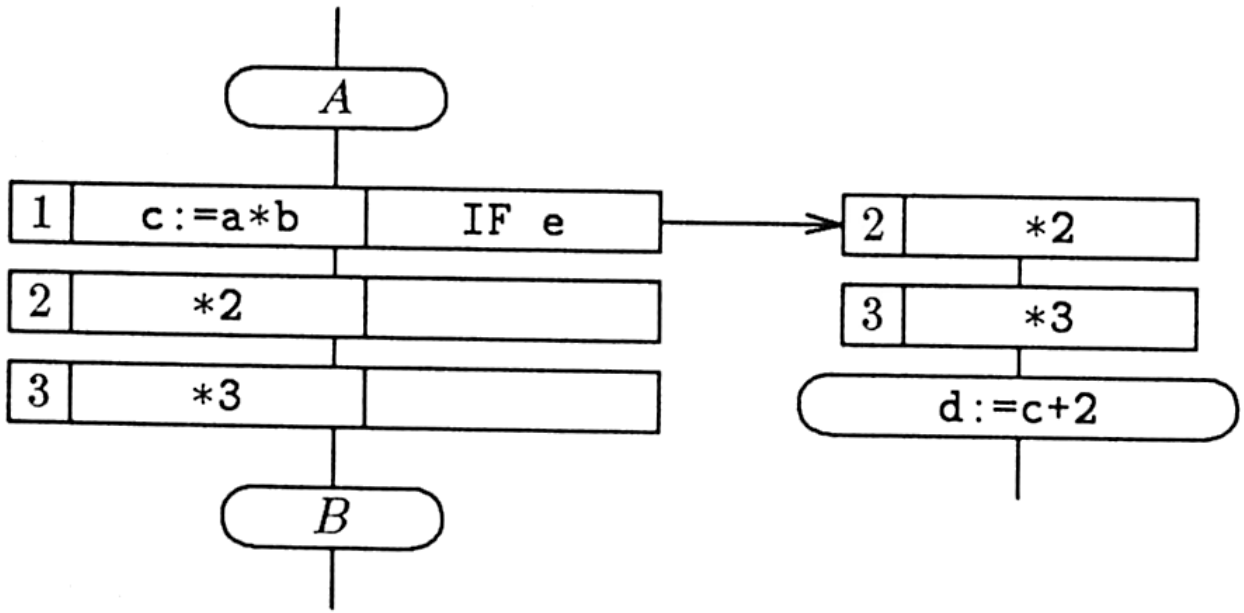


Ablaufplan

1	c:=a*b	IF e
2	*2	
3	*3	

- `*2` und `*3` sind zusätzliche Takte für Multiplikation
- Problem: Erste Off-Trace-Operation braucht Multiplikationsergebnis

Handhabung von Mehrtakt-Operationen
Kompensationscode



- Partiellen Ablaufplan in Off-Trace-Edge einfügen
  - Bisher nur Operationen eingefügt, nun Ablaufplan!
- Verzögert Zugriff auf Multiplikationsergebnis

Zusammenfassung

- Einbau von Ablaufplänen in CFG
- Kompensationscode
- Splits
- Joins
- Kombinierte Szenarios
- Bedingte Sprünge
- Mehrtaktige Operationen