



Optimierende Compiler

3. Kontextanalyse

Andreas Koch

FG Eingebettete Systeme und ihre Anwendungen
Informatik, TU Darmstadt

Sommersemester 2006

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Abgabe 1. Aufgabe: 3.5.2006

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

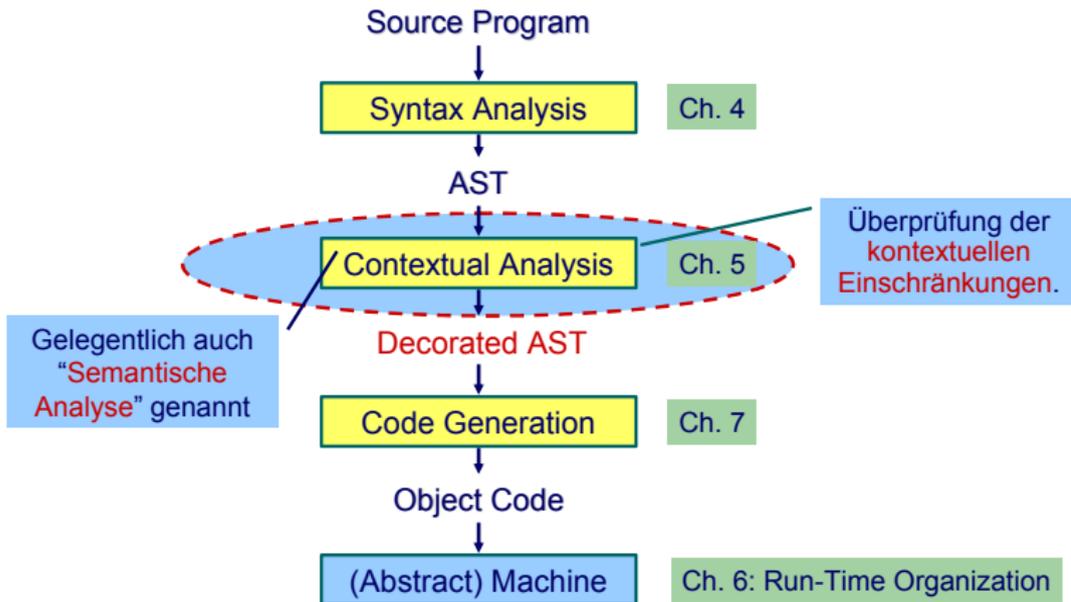
Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
- Wichtig bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiele Geltungsbereiche



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

```
let
  const m ~ 2;
  var n: Integer
in begin
  ..
  n := m*2;
  ..
end
```

Deklaration von n:
Bindung

Benutzung von von n:
Verwendung

??

```
let
  var n: Integer
in begin
  ..
  n := m*2;
end
```

Falls im Geltungsbereich der
Verwendung vom m keine Bindung
von m existiert: Fehler!

Verwendung von m



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiele Typen



```
let
  var n: Integer
in begin
  ...
  while n > 0 do
    n := n-1;
  ...
end
```

Typregel für $E_1 > E_2$ (GreaterOp):
Wenn E_1 und E_2 beide vom Typ **int**,
dann ist **Ergebnis** vom Typ **bool**.

Typregel für **while** E **do** C (WhileCmd):
E muss vom Typ **boolean** sein.

Typregel für $V := E$ (AssignCmd):
Die Typen von **V** und **E** müssen
äquivalent sein.

Typregel für $E_1 - E_2$ (SubOp):
Wenn E_1 und E_2 beide vom Typ **int**,
dann ist **Ergebnis** vom Typ **int**.

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß Boolean sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb.

Triangle

Zusammenfass.

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb.

Triangle

Zusammenfass.

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- **Bezeichner sind zunächst Zeichenketten**
- Bekommen Bedeutung durch Kontext
 - Variablen, Konstanten, Funktion. ...
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - ... viel zu langsam
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch Kontext
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - ...viel zu langsam
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch Kontext
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - ...viel zu langsam
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch Kontext
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu langsam
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch Kontext
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu **langsam**
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch Kontext
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu **langsam**
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch Kontext
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu **langsam**
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch Kontext
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu **langsam**
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute
 - Typ** int, char, boolean, record, array pointer, ...
 - Art** Konstante, Variable, Funktion, Prozedur, Wert-Parameter, ...
 - Sichtbarkeit** Public, private, protected
 - Anderes** synchronized, static, volatile, ...
- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute
 - Typ** int, char, boolean, record, array pointer, ...
 - Art** Konstante, Variable, Funktion, Prozedur, Wert-Parameter, ...
 - Sichtbarkeit** Public, private, protected
 - Anderes** synchronized, static, volatile, ...
- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
 - Let Declarations in Commands
 - `proc P (formal-parameters) ~ Commands`
 - In Java:
 - Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
`let Declarations in Commands`
`proc P (formal-parameters) ~ Commands`
 - In Java:
Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
`let Declarations in Commands`
`proc P (formal-parameters) ~ Commands`
 - In Java:
Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
`let Declarations in Commands`
`proc P (formal-parameters) ~ Commands`
 - In Java:
Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
`let Declarations in Commands`
`proc P (formal-parameters) ~ Commands`
 - In Java:
Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika

- Nur **ein** Block
- Alle Deklarationen gelten **global**

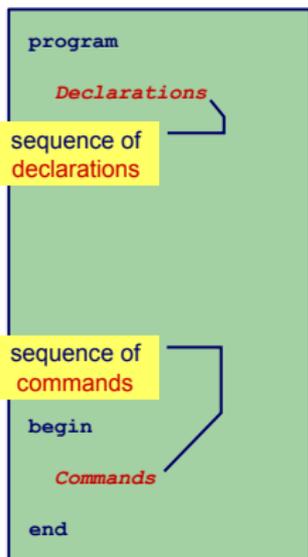
- Regeln für Geltungsbereiche

- Bezeichner darf nur **genau einmal** deklariert werden
- Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein

- Symboltabelle

- Für jeden Bezeichner **genau ein** Eintrag in der Symboltabelle
- Abruf von Daten muß **schnell** gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)

- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

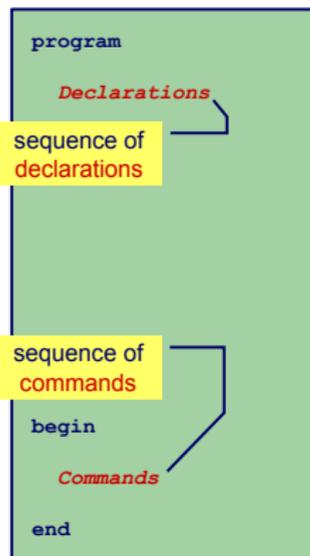
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur **genau einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner **genau ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß **schnell** gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symboltabelle

Attribute

Identifikation

Typprüfung

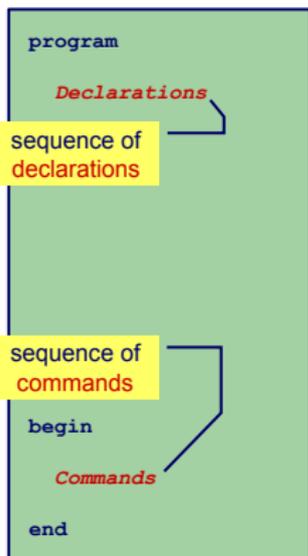
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symboltabelle

Attribute

Identifikation

Typprüfung

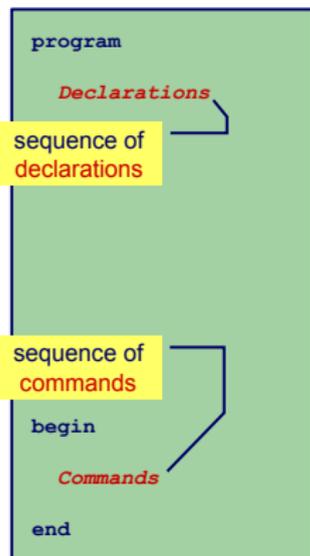
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symboltabelle

Attribute

Identifikation

Typprüfung

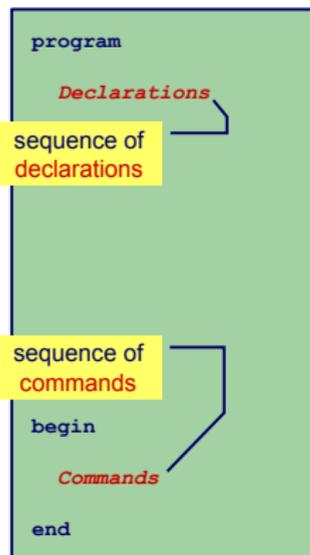
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symboltabelle

Attribute

Identifikation

Typprüfung

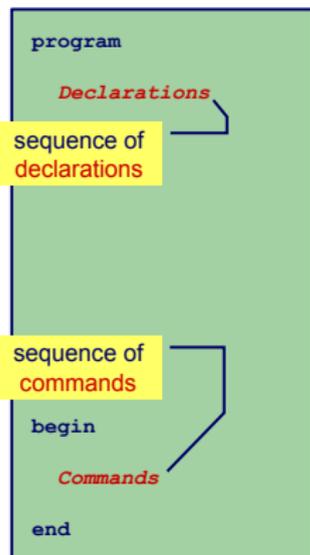
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symboltabelle

Attribute

Identifikation

Typprüfung

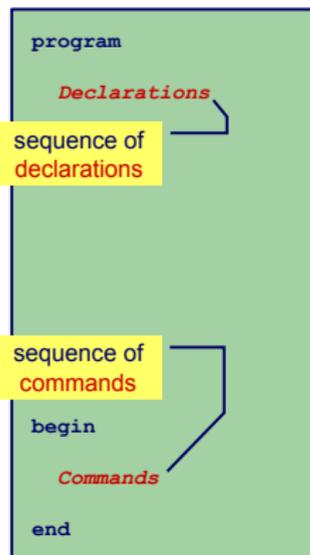
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symboltabelle

Attribute

Identifikation

Typprüfung

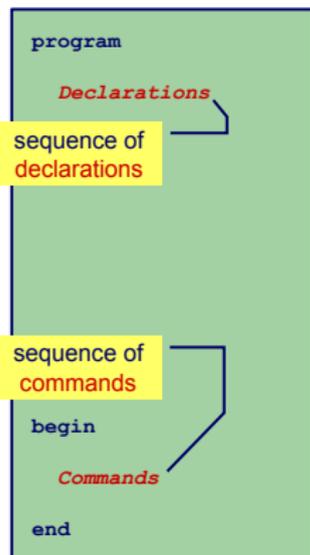
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symboltabelle

Attribute

Identifikation

Typprüfung

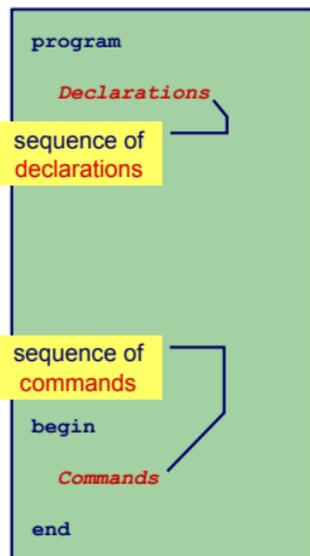
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symboltabelle

Attribute

Identifikation

Typprüfung

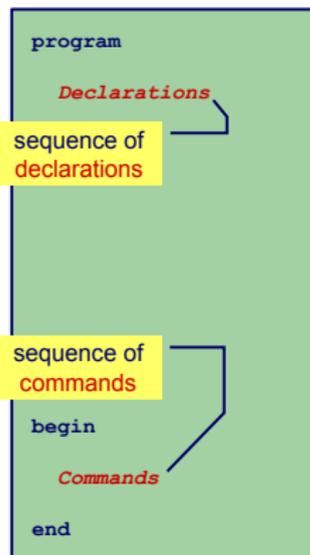
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel-Code Symboltabelle



```
public class Attribute {
    // Attribute details
    ...
}

public class IdentificationTable {

    /** Adds a new entry */
    public void enter(String id, Attribute attr) { ... }

    /** Retrieve a previously added entry. Returns null
        when no entry for this identifier is found */
    public Attribute retrieve(String id) { ... }

    ...
}
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Flache Blockstruktur



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika

- Mehrere überlappungsfreie Blöcke
- Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal

- Regeln für Geltungsbereiche

- Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redefiniert werden
- Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redefiniert werden
- Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

- Beispiel: FORTRAN



```
program
```

```
  D
```

```
  procedure P
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
  procedure Q
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
begin
```

```
  C
```

```
end
```

Flache Blockstruktur



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redefiniert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redefiniert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden
- Beispiel: FORTRAN

```
program
```

```
  D
```

```
  procedure P
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
  procedure Q
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
begin
```

```
  C
```

```
end
```

Flache Blockstruktur



- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal

- Regeln für Geltungsbereiche

- Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redefiniert werden
- Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redefiniert werden
- Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

- Beispiel: FORTRAN

```
program
  D
  procedure P
    D
    begin
      C
    end
  procedure Q
    D
    begin
      C
    end
begin
  C
end
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symboltabelle

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Flache Blockstruktur



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal

- Regeln für Geltungsbereiche

- Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
- Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
- Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

- Beispiel: FORTRAN

```
program
```

```
  D
```

```
  procedure P
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
  procedure Q
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
begin
```

```
  C
```

```
end
```

Flache Blockstruktur



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal

- Regeln für Geltungsbereiche

- Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
- Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
- Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

- Beispiel: FORTRAN

```
program
```

```
  D
```

```
  procedure P
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
  procedure Q
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
begin
```

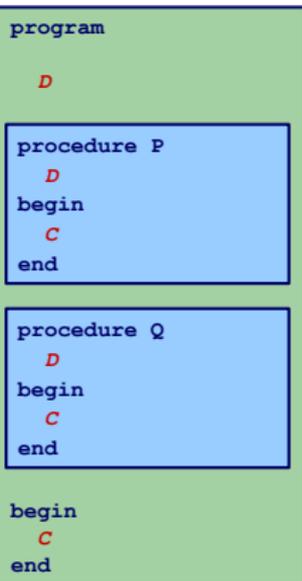
```
  C
```

```
end
```

Flache Blockstruktur



- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redefiniert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redefiniert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden
- Beispiel: FORTRAN



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

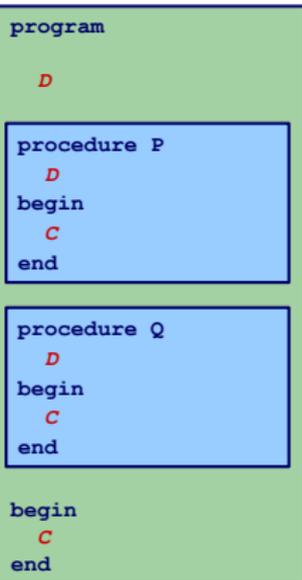


- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

- Beispiel: FORTRAN





Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

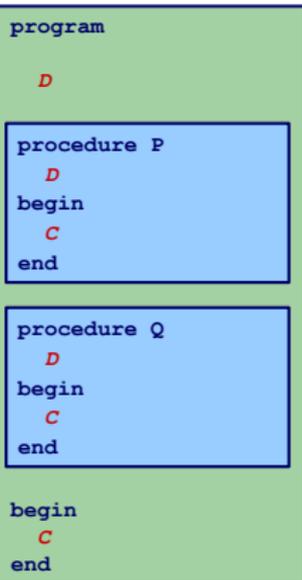
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden
- Beispiel: FORTRAN





Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

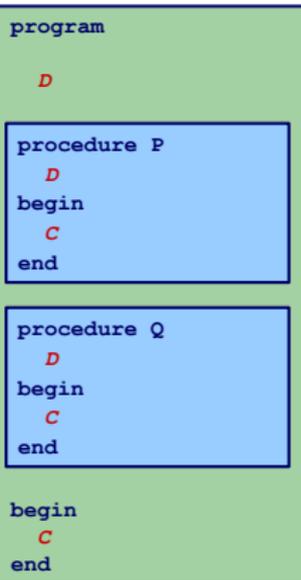
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

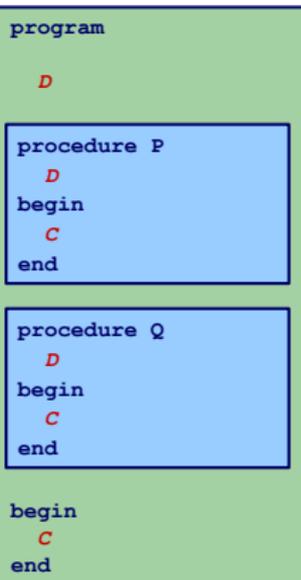
Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden
- Beispiel: FORTRAN



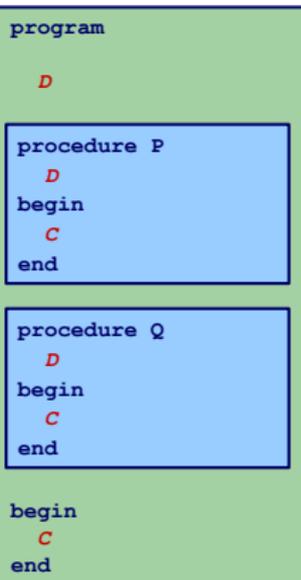


- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden





- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden
- Beispiel: FORTRAN



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel-Code Symboltabelle



```
public class IdentificationTable {  
  
    /** Adds a new entry */  
    public void enter(String id, Attribute attr) { ... }  
  
    /** Retrieve a previously added entry. If both global and local entries exist  
        for id, return the attribute for the local one. Returns null  
        when no entry for this identifier is found */  
    public Attribute retrieve(String id) { ... }  
  
    /** Add a local scope level to the table, with no initial entries */  
    public void openScope() { ... }  
  
    /** Remove the local scope level from the table.  
        Deletes all entries associated with it */  
    public void closeScope() { ... }  
  
    ...  
}
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika

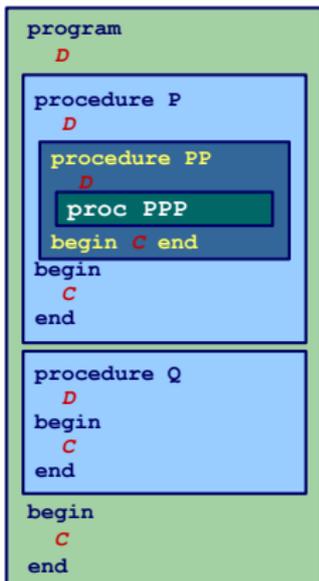
- Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
- Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke

- Regeln für Geltungsbereiche

- Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
- Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde

- Symboltabelle

- **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
- Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
- Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

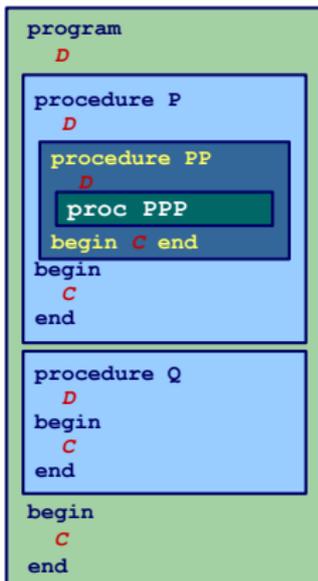
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - Mehrere Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

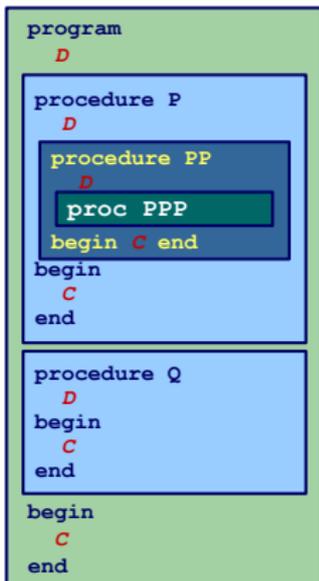
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - Mehrere Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



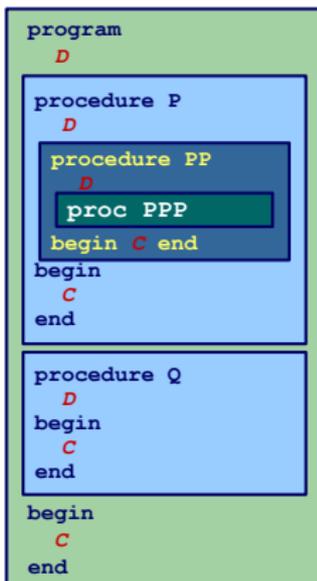
- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke

- Regeln für Geltungsbereiche

- Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
- Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde

- Symboltabelle

- Mehrere Einträge je Bezeichner möglich
- Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
- Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

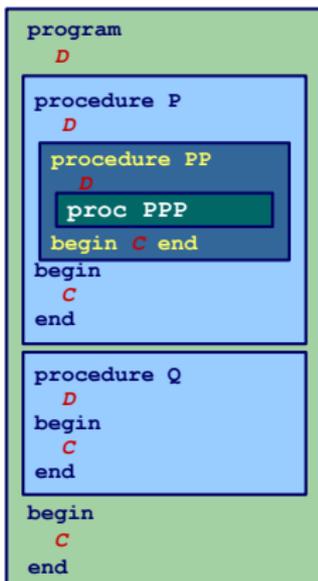
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - Mehrere Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

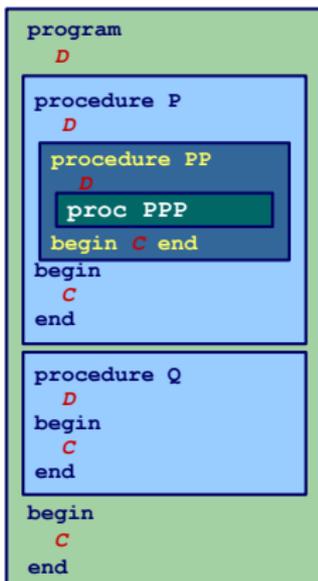
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - Mehrere Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

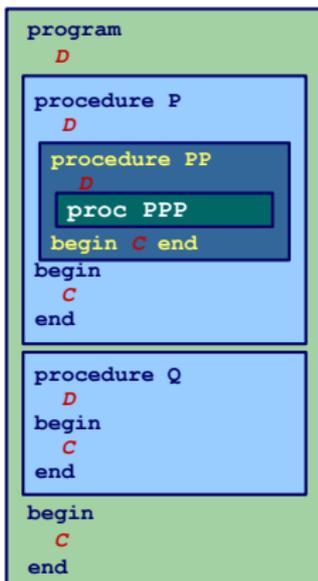
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

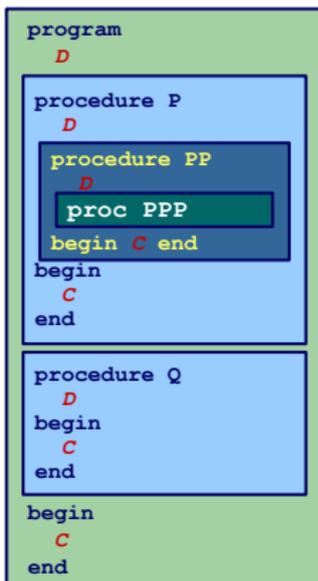
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

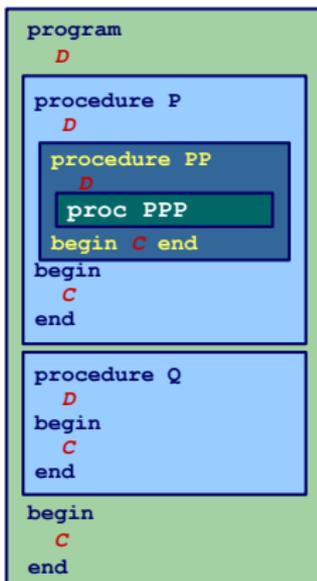
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

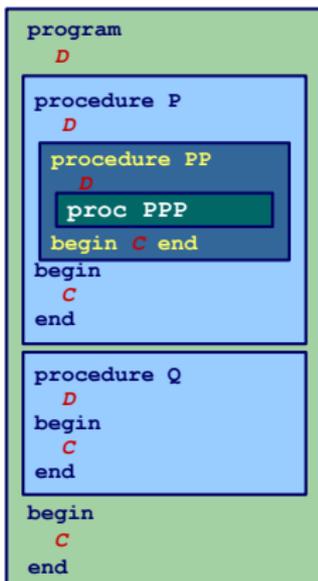
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

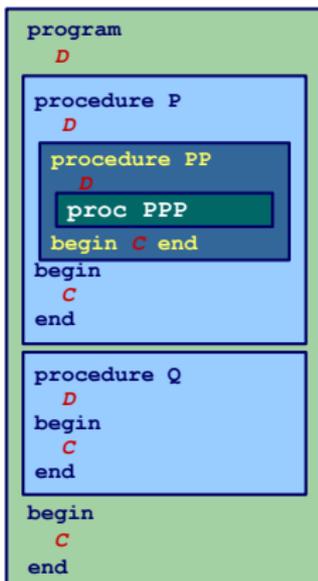
Triangle

Zusammenfass

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke können ineinander **verschachtelt** sein
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den umschließenden Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

a und b aus Ebene 1
redeklariert,
nun nicht mehr sichtbar
auf Ebene 2

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

a und b aus Ebene 1
redeklariert,
nun **nicht mehr sichtbar**
auf Ebene 2

a aus Ebene 2 und c aus
Ebene 1 redeklariert, nun
nicht mehr sichtbar
auf Ebene 3

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

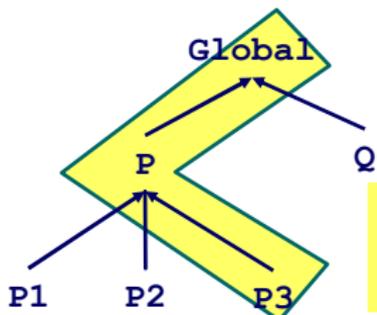
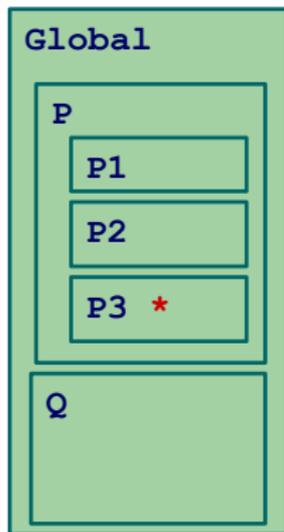
Triangle

Zusammenfassu

Struktur der Geltungsbereiche



- Für Sprachen mit verschachtelter Blockstruktur
- Modellierung als Baum



Suchpfad für ein
verwendendes
Auftreten in P3

Während der Programmanalyse ist immer
nur ein **einzelner** Pfad sichtbar.

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel-Code Symboltabelle



```
public class IdentificationTable {  
  
    /** Adds a new entry */  
    public void enter(String id, Attribute attr) { ... }  
  
    /** Retrieve a previously added entry with the deepest scope level.  
        Returns null when no entry for this identifier is found */  
    public Attribute retrieve(String id) { ... }  
  
    /** Add a new deepest scope level to the table, with no initial entries */  
    public void openScope() { ... }  
  
    /** Remove the deepest local scope level from the table.  
        Deletes all entries associated with it */  
    public void closeScope() { ... }  
  
    ...  
}
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
(3) var b: Integer;
(4) var c: Boolean;
  in begin
    let !level 3
(5) const x ~ 3
      in ...
    end
  let !level 2
(6) var d: Boolean
(7) var e: Integer
  in begin
end
end
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
(3) var b: Integer;
(4) var c: Boolean;
in begin
  let !level 3
(5) const x ~ 3
in ...
end
let !level 2
(6) var d: Boolean
(7) var e: Integer
in begin
end
end
```

level	id	Attr.
1	a	(1)
1	b	(2)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
(3) var b: Integer;
(4) var c: Boolean;
in begin
  let !level 3
(5) const x ~ 3
in ...
  end
  let !level 2
(6) var d: Boolean
(7) var e: Integer
in begin
end
end
```

level	id	Attr.	
1	a	(1)	
1	level	id	Attr.
1	a	(1)	
1	b	(2)	
2	b	(3)	
2	c	(4)	

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
(3) var b: Integer;
(4) var c: Boolean;
in begin
  let !level 3
(5) const x ~ 3
  in ...
end
let !level 2
(6) var d: Boolean
(7) var e: Integer
in begin
end
```

level	id	Attr.	
1	a	(1)	
1	level	id	Attr.
1	a	(1)	
1	b	(2)	
2	b	(3)	
2	level	id	Attr.
1	a	(1)	
1	b	(2)	
2	b	(3)	
2	c	(4)	
3	x	(5)	

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
(3) var b: Integer;
(4) var c: Boolean;
in begin
  let !level 3
(5) const x ~ 3
  in ...
end
let !level 2
(6) var d: Boolean
(7) var e: Integer
in begin
end
```

level	id	Attr.
1	a	(1)

level	id	Attr.
1	a	(1)
1	b	(2)
2	b	(3)

level	id	Attr.
1	a	(1)
1	b	(2)
2	b	(3)
2	c	(4)
2		(5)

level	id	Attr.
1	a	(1)
1	b	(2)
2	d	(6)
2	e	(7)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**

- Verkettete Liste und lineare Suche (einfach aber langsam)
 - Triangle (natürlich ...)
- Hash-Tabelle (effizienter)
- Stack aus Hash-Tabellen

- **Design-Kriterium**

- Gleicher Bezeichner taucht häufiger in Tabelle auf
- Aber auf unterschiedlichen Ebenen
- Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche (einfach aber langsam)
 - Triangle (natürlich ...)
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - Stack aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - Gleicher Bezeichner taucht häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen Ebenen
 - Abgerufen wird immer der am tiefsten gelegene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche (einfach aber langsam)
 - Triangle (natürlich ...)
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - Stack aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - Gleicher Bezeichner taucht häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen Ebenen
 - Abgerufen wird immer der am tiefsten gelegene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche (einfach aber langsam)
 - Triangle (natürlich ...)
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - Stack aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - Gleicher Bezeichner taucht häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen Ebenen
 - Abgerufen wird immer der am tiefsten gelegene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**

- Verkettete Liste und lineare Suche (einfach aber langsam)
 - Triangle (natürlich ...)
- Hash-Tabelle (effizienter)
- Stack aus Hash-Tabellen

- **Design-Kriterium**

- Gleicher Bezeichner taucht häufiger in Tabelle auf
- Aber auf unterschiedlichen Ebenen
- Abgerufen wird immer der am tiefsten gelegene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche (einfach aber langsam)
 - Triangle (natürlich ...)
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - Stack aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - Gleicher Bezeichner taucht häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen Ebenen
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche (einfach aber langsam)
 - Triangle (natürlich ...)
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - Stack aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - Gleicher Bezeichner taucht häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen Ebenen
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche (einfach aber langsam)
 - Triangle (natürlich ...)
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - Stack aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - Gleicher Bezeichner taucht häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen Ebenen
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche (einfach aber langsam)
 - Triangle (natürlich ...)
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - Stack aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - Gleicher Bezeichner taucht häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen Ebenen
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Effizientere Implementierung 1



```
public class SymbolTable {  
    private Map    symtab    = new HashMap();  
    private Stack scopeStack = new Stack();  
    ...  
}
```

Optimiert Schließen eines Geltungsbereiches

In Java 5 (aka 1.5):

```
Map<String, Stack<Attribute>> symtab;  
Stack<List<String>> scopeStack;
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



`synt ab`

- **Bildet von Strings auf Attribute-Objekte ab**
- Bezeichnernamen dienen als **Schlüssel**
- **Wert** ist ein Stack aus Attributen, obenauf liegt die Deklaration mit der tiefsten Verschachtelungsebene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



`syntab`

- Bildet von `Strings` auf `Attribute`-Objekte ab
- Bezeichnernamen dienen als **Schlüssel**
- **Wert** ist ein Stack aus Attributen, obenauf liegt die Deklaration mit der tiefsten Verschachtelungsebene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



`syntab`

- Bildet von `Strings` auf `Attribute`-Objekte ab
- Bezeichnernamen dienen als **Schlüssel**
- **Wert** ist ein Stack aus Attributen, obenauf liegt die Deklaration mit der tiefsten Verschachtelungsebene

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `symtab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `syntab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `syntab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `syntab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `symtab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



`scopeStack`

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `symtab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `symtab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



`scopeStack`

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `symtab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Das globale Implementierungssymbol `Symbol` ist nicht existenzföhrig
 - Alle Typen bereits in Deklaration vorhanden
 - Überprüfung der Typregeln
 - Typ `int` ist keine Unterart von `int`
 - (Code-Erzeugung)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Einmaliger Geltungsbereich
 - Einmaliger Geltungsbereich
 - Alle Typen innerhalb eines Geltungsbereichs
 - Überprüfung der Typregeln
 - Einmaliger Geltungsbereich
 - (Code-Erzeugung)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle:
 - Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle:
Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von Typinformationen
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. Adresse der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von Typinformationen
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. Adresse der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Welche Informationen konkret zu einem Bezeichner speichern?
- Wofür werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Beispiel 1:

```
let const m~2;  
in m + x
```

Beispiel 2:

```
let const m~2 ;  
    var n:Boolean  
in begin  
    n := m<4;  
    n := n+1  
end
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiele: Verwendung von Attributen 2



Beispiel 1:

```
let const m~2;  
in m + x Undefiniert!
```



Geltungsbereichs-
regeln

Beispiel 2:

```
let const m~2 ;  
  var n:Boolean  
in begin  
  n := m<4;  
  n := n+1 Typfehler!  
end
```



Typregeln

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Beispiel: Speicherung von Attributen 1



Imperativer Ansatz (explizite Speicherung)

```
public class Attribute {  
  
    public static final byte // kind  
        CONST = 0,  
        VAR    = 1,  
        PROC  = 2,  
        ... ;  
  
    public static final byte // type  
        BOOL  = 0,  
        CHAR  = 1,  
        INT   = 2,  
        ARRAY = 3,  
        ... ;  
  
    public byte kind;  
    public byte type;  
  
}
```

OK für sehr einfache
Sprachen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

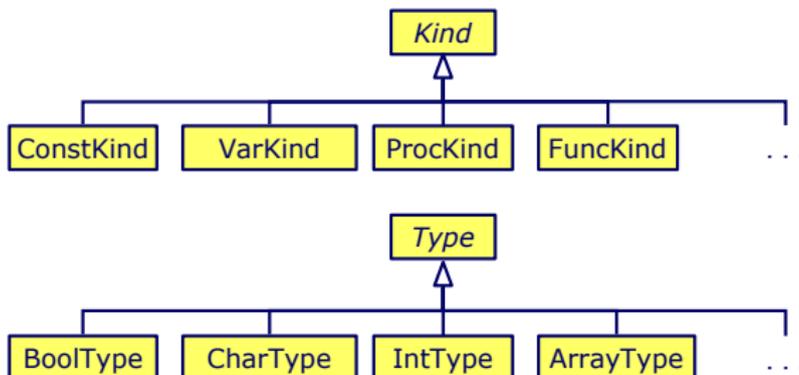
Beispiel: Speicherung von Attributen 2



Objektorientierter Ansatz (explizite Speicherung)

```
public class Attribute {  
    public Kind kind;  
    public Type type;  
}
```

Funktioniert, wird aber bei
realistischer Sprache
sehr leicht **unhandlich**



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - array [1:10] of record int x; char y end;
- Explizite Strukturen können leicht sehr komplex werden
- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - array [1:10] of record int x; char y end;
- Explizite Strukturen können leicht sehr komplex werden
- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - array [1:10] of record int x; char y end;
- Explizite Strukturen können leicht sehr komplex werden
- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - array [1:10] of record int x; char y end;
- Explizite Strukturen können leicht sehr komplex werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - array [1:10] of record int x; char y end;
- Explizite Strukturen können leicht sehr komplex werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - array [1:10] of record int x; char y end;
- Explizite Strukturen können leicht sehr komplex werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - array [1:10] of record int x; char y end;
- Explizite Strukturen können leicht sehr komplex werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - array [1:10] of record int x; char y end;
- Explizite Strukturen können leicht sehr komplex werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

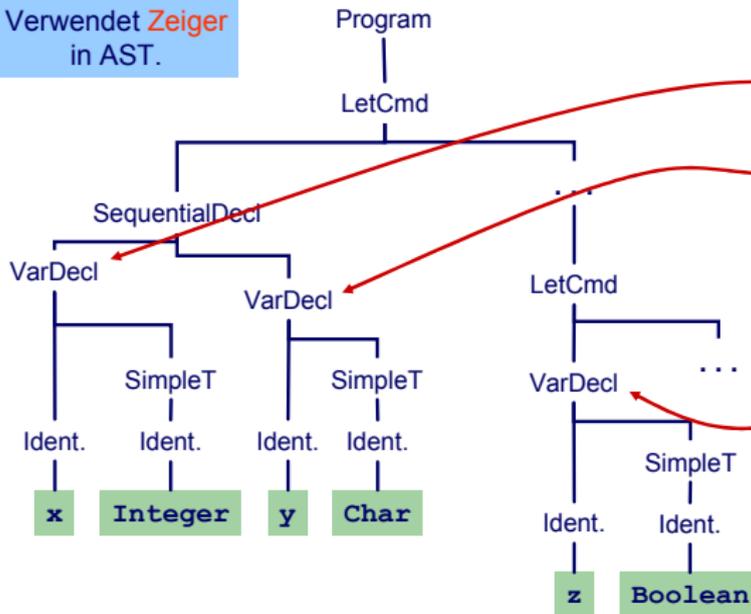
Triangle

Zusammenfassu

AST-basierte Attribute



Verwendet **Zeiger** in AST.



```
let var x: Integer;  
      var y: Char  
in begin  
  ...  
  let var z: Boolean  
  in ...  
end
```

level	id	Attr.
1	x	•
1	y	•
2	z	•

Sehr hilfreich für **Dekoration** des ASTs.

- Orga
- Einleitung
- Geltungsbereich und Symbolta-bellen
- Attribute
- Identifikation
- Typprüfung
- Implementierung
- Standardumgeb
- Triangle
- Zusammenfassu



- **Erster Schritt der Kontextanalyse**
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...
- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ Typprüfung

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Erster Schritt der Kontextanalyse**
- **Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle**
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...
- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ **Typprüfung**

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...
- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ Typprüfung

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...
- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ Typprüfung

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...

- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ Typprüfung

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...

- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ Typprüfung

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...

- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ **Typprüfung**

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus
 - Assembler, Skriptsprachen, LISP, ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus
 - Assembler, Skriptsprachen, LISP, ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus
 - Assembler, Skriptsprachen, LISP, ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Generelles Vorgehen

- 1 **Berechne oder leite Typen von Ausdrücken her**
 - Aus den Typen der Teilausdrücke und der Art der Verknüpfung
- 2 **Überprüfe, das Typen der Ausdrücke Anforderungen aus dem Kontext genügen**
 - Beispiel: Bedingung in `if/then` muß einen Boolean liefern

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Generelles Vorgehen

- 1 Berechne oder leite Typen von Ausdrücken her
 - Aus den Typen der Teilausdrücke und der Art der Verknüpfung
- 2 Überprüfe, das Typen der Ausdrücke Anforderungen aus dem Kontext genügen
 - Beispiel: Bedingung in `if/then` muß einen Boolean liefern

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Generelles Vorgehen

- 1 Berechne oder leite Typen von Ausdrücken her
 - Aus den Typen der Teilausdrücke und der Art der Verknüpfung
- 2 Überprüfe, das Typen der Ausdrücke Anforderungen aus dem Kontext genügen
 - Beispiel: Bedingung in `if/then` muß einen Boolean liefern

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Generelles Vorgehen

- 1 Berechne oder leite Typen von Ausdrücken her
 - Aus den Typen der Teilausdrücke und der Art der Verknüpfung
- 2 Überprüfe, das Typen der Ausdrücke Anforderungen aus dem Kontext genügen
 - Beispiel: Bedingung in `if/then` muß einen Boolean liefern

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen Aus Symboltabelle
 - Konstanten Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

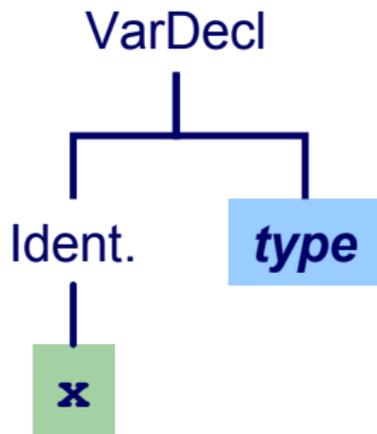
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

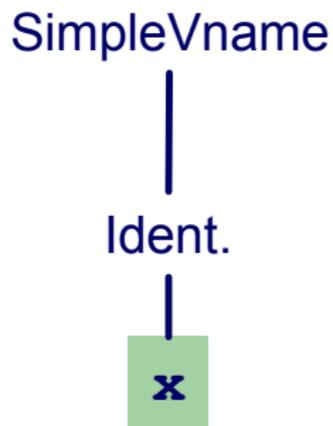
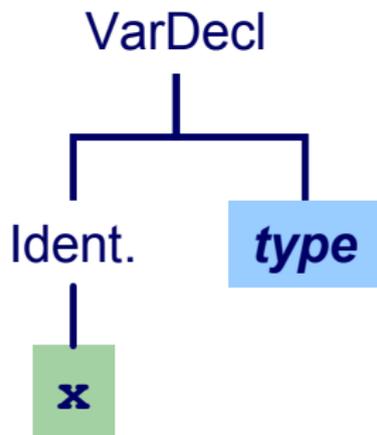
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

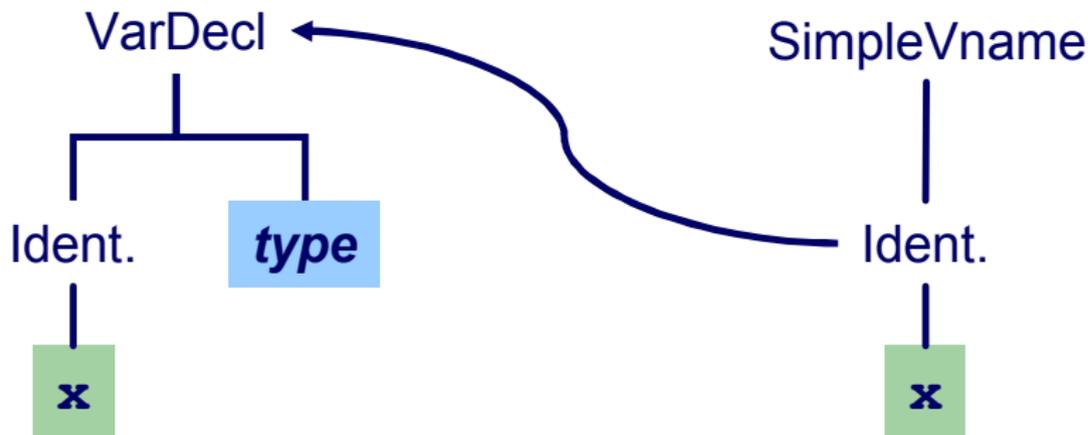
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

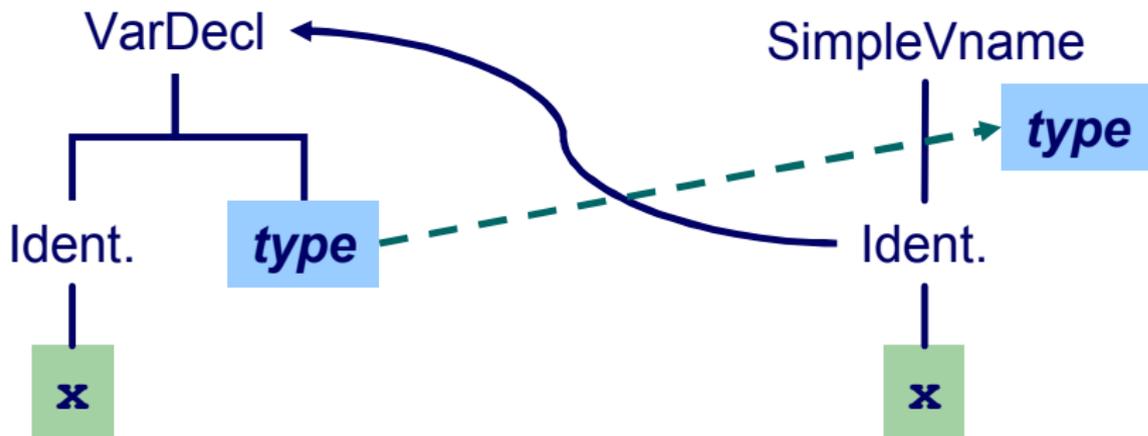
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

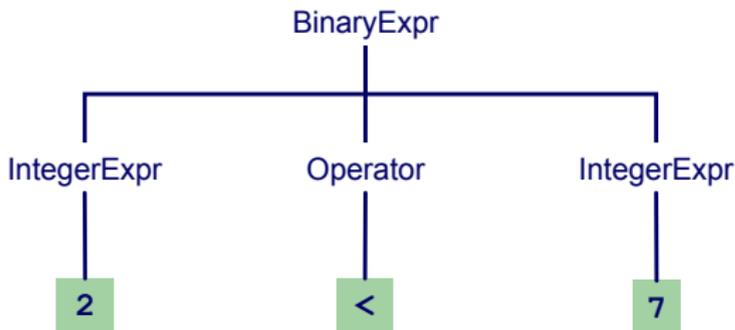
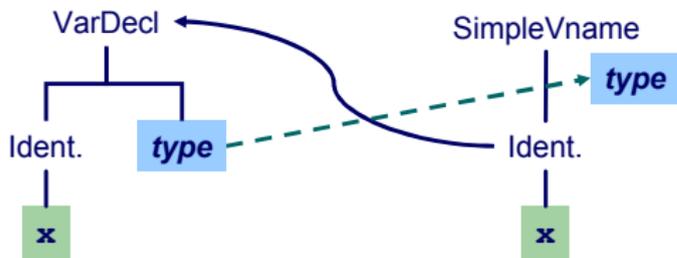
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typrüfung

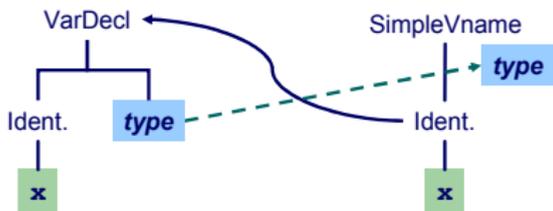
Implementierung

Standardumgeb

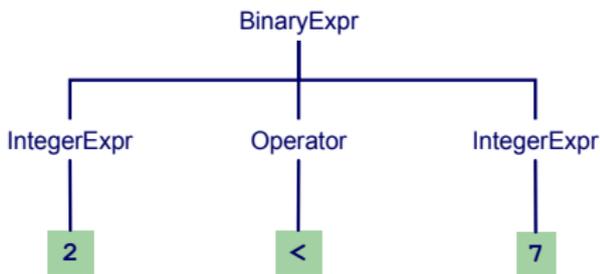
Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Typregel für Binären Ausdruck:
Wenn op Operation vom Typ $T_1 \times T_2 \rightarrow R$ ist, dann ist $E_1 op E_2$ typkorrekt und vom Typ R wenn E_1 and E_2 typkorrekt sind und typkompatibel zu T_1 bzw. T_2 sind



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

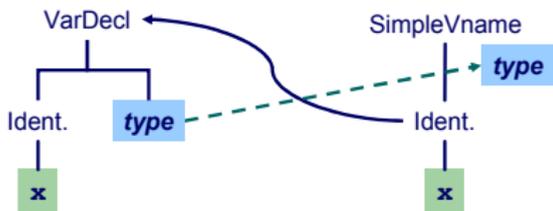
Implementierung

Standardumgeb

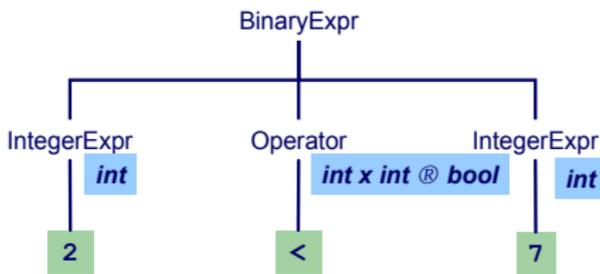
Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Typregel für **Binären Ausdruck**:
Wenn op Operation vom Typ $T_1 \times T_2 \rightarrow R$ ist, dann ist $E_1 op E_2$ typkorrekt und vom Typ R wenn E_1 and E_2 typkorrekt sind und typkompatibel zu T_1 bzw. T_2 sind



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

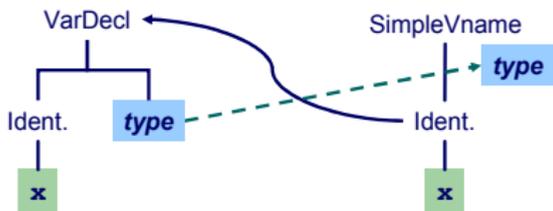
Implementierung

Standardumgeb

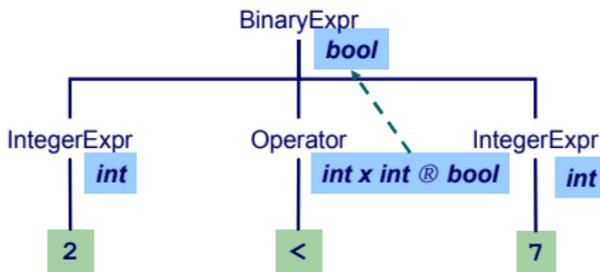
Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Typregel für **Binären Ausdruck**:
Wenn op Operation vom Typ $T_1 \times T_2 \rightarrow R$ ist, dann ist $E_1 op E_2$ typkorrekt und vom Typ R wenn E_1 and E_2 typkorrekt sind und typkompatibel zu T_1 bzw. T_2 sind



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Anweisungen mit Ausdrücken

Typregel für **ifCommand**:

if E then $C1$ else $C2$

ist **typkorrekt** genau dann, wenn

- E vom Typ Boolean ist und
- $C1$ und $C2$ selbst typkorrekt sind

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Anweisungen mit Ausdrücken

Typregel für **ifCommand**:

if E then $C1$ else $C2$

ist **typkorrekt** genau dann, wenn

- E vom Typ Boolean ist und
- $C1$ und $C2$ selbst typkorrekt sind

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Anweisungen mit Ausdrücken

Typregel für **ifCommand**:

if E then $C1$ else $C2$

ist **typkorrekt** genau dann, wenn

- E vom Typ Boolean ist und
- $C1$ und $C2$ selbst typkorrekt sind

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

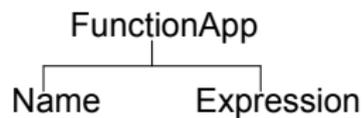
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Funktionsaufruf

isOdd(42)



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

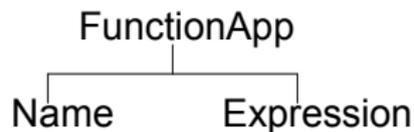
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Funktionsaufruf

isOdd (42)



Aus Symboltabelle:
isOdd: int -> bool

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

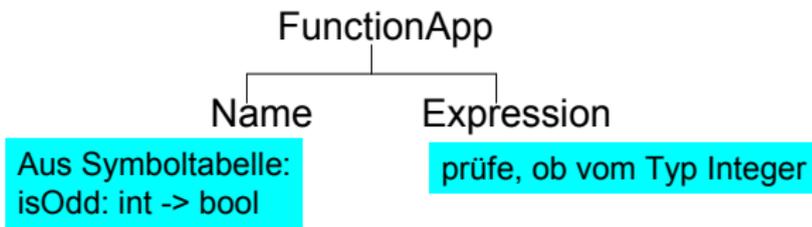
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Funktionsaufruf

isOdd(42)



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

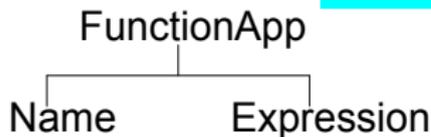
Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Funktionsaufruf

isOdd(42)



Kombiniere, dass Knoten vom Typ Boolean



Aus Symboltabelle:
isOdd: int -> bool

prüfe, ob vom Typ Integer

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- **Typprüfung des Körpers** Expression
- Stelle sicher, dass Ergebnis von ResultType ist
- Dann Herleitung: $f: \text{ParamType} \rightarrow \text{ResultType}$

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- $+: \text{Integer} \times \text{Integer} \rightarrow \text{Integer}$
- $<: \text{Integer} \times \text{Integer} \rightarrow \text{Boolean}$

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typrüfung des Körpers `Expression`
- Stelle sicher, dass Ergebnis von `ResultType` ist
- Dann Herleitung: `f: ParamType → ResultType`

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- `+`: `Integer × Integer → Integer`
- `<`: `Integer × Integer → Boolean`

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typrüfung des Körpers `Expression`
- Stelle sicher, dass Ergebnis von `ResultType` ist
- Dann Herleitung: $f: \text{ParamType} \rightarrow \text{ResultType}$

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- $+: \text{Integer} \times \text{Integer} \rightarrow \text{Integer}$
- $<: \text{Integer} \times \text{Integer} \rightarrow \text{Boolean}$

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typrüfung des Körpers `Expression`
- Stelle sicher, dass Ergebnis von `ResultType` ist
- Dann Herleitung: $f: \text{ParamType} \rightarrow \text{ResultType}$

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- $+: \text{Integer} \times \text{Integer} \rightarrow \text{Integer}$
- $<: \text{Integer} \times \text{Integer} \rightarrow \text{Boolean}$

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typrüfung des Körpers `Expression`
- Stelle sicher, dass Ergebnis von `ResultType` ist
- Dann Herleitung: $f: \text{ParamType} \rightarrow \text{ResultType}$

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- $+: \text{Integer} \times \text{Integer} \rightarrow \text{Integer}$
- $<: \text{Integer} \times \text{Integer} \rightarrow \text{Boolean}$

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typrüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
 - Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
 - Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch Dekorieren des ASTs
- [Kontextanalyse](#) → [Informations](#)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
 - Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
 - Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch Dekorieren des ASTs
- [Kontextanalyse](#) → [Informations](#)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
 - Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
 - Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch Dekorieren des ASTs
- [Kontextanalyse](#) → [Informations](#)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch Dekorieren des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch Dekorieren des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch Dekorieren des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch Dekorieren des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch Dekorieren des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

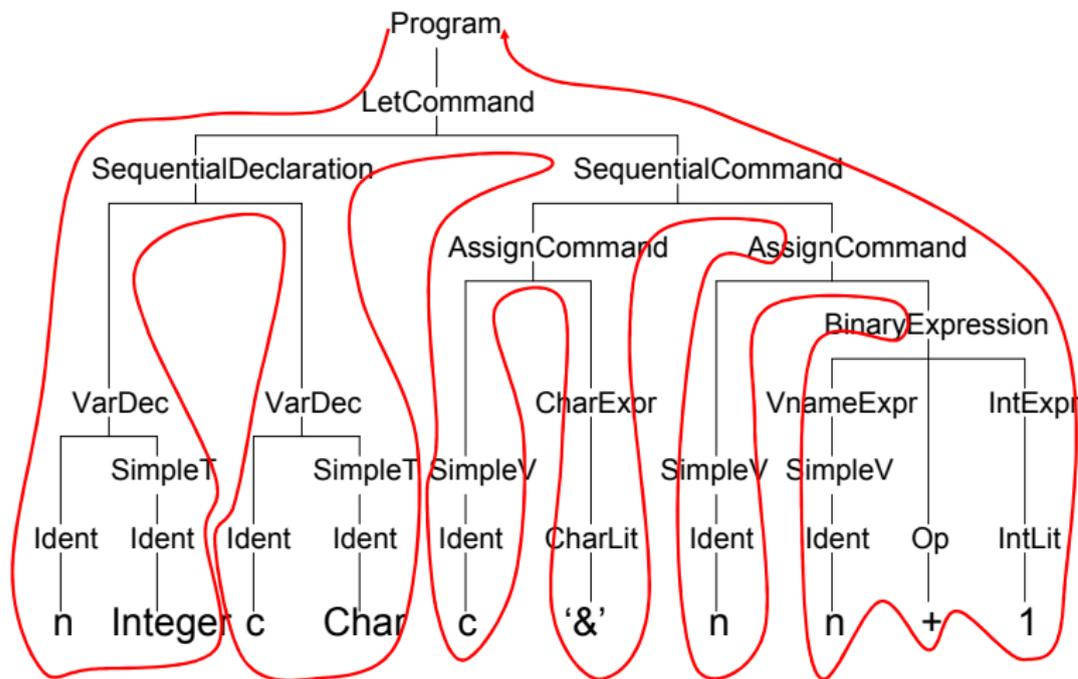
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

AST-Durchlauf



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Abstrakter Syntaxbaum



Grammatik von
abstrakter Syntax
von Mini-Triangle

```
Program ::= Command
Command ::= Command ; Command
          | V-name := Expression
          | Identifier ( Expression )
          | if Expression then single-Command
            else single-Command
          | while Expression do single-Command
          | let Declaration in single-Command
Expression ::= Integer-Literal
           | V-name
           | Operator Expression
           | Expression Operator Expression
V-name ::= Identifier
Declaration ::= Declaration ; Declaration
            | const Identifier ~ Expression
            | var Identifier : Type-denoter
Type-denoter ::= Identifier
```

Program
SequentialCmd
AssignCmd
CallCmd
IfCmd
WhileCmd
LetCmd
IntegerExpr
VnameExpr
UnaryExpr
BinaryExpr
SimpleVname
SeqDecl
ConstDecl
VarDecl
SimpleTypeDen

AST Knoten von Mini-Triangle

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

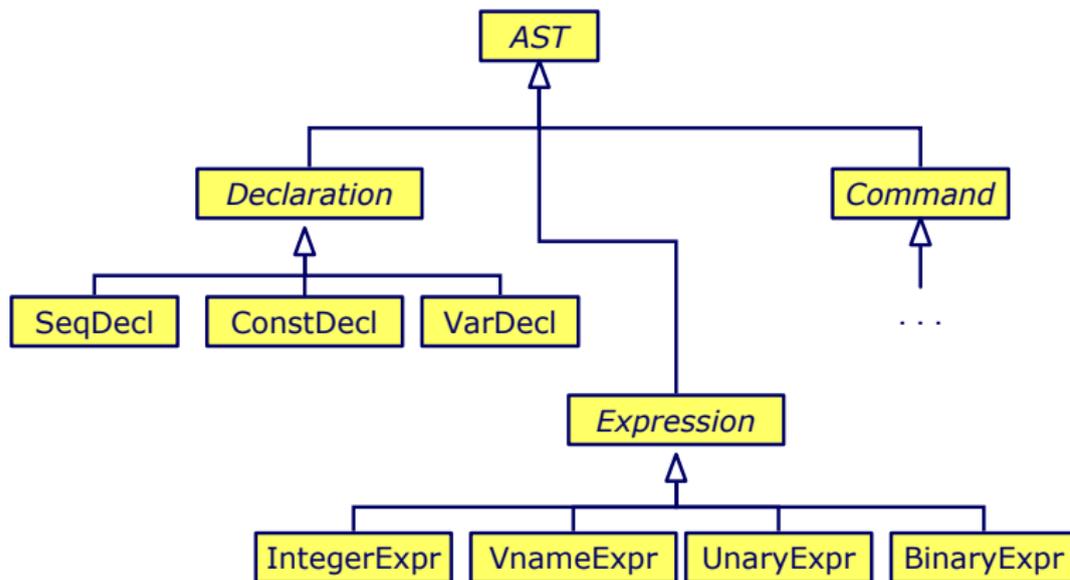
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Klassenstruktur für AST



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Klassendefinitionen für AST



Expression ::= Integer-Literal	IntegerExpr
V-name	VnameExpr
Operator Expression	UnaryExpr
Expression Operator Expression	BinaryExpr

```
public class BinaryExpr extends Expression {
    public Expression E1, E2;
    public Operator O;
}

public class UnaryExpr extends Expression {
    public Expression E;
    public Operator O;
}

...
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

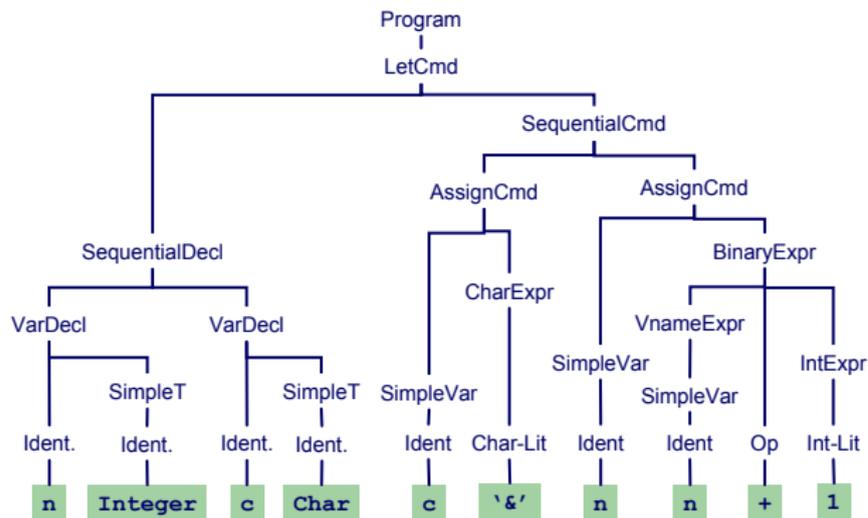
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Gewünschtes Ergebnis



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

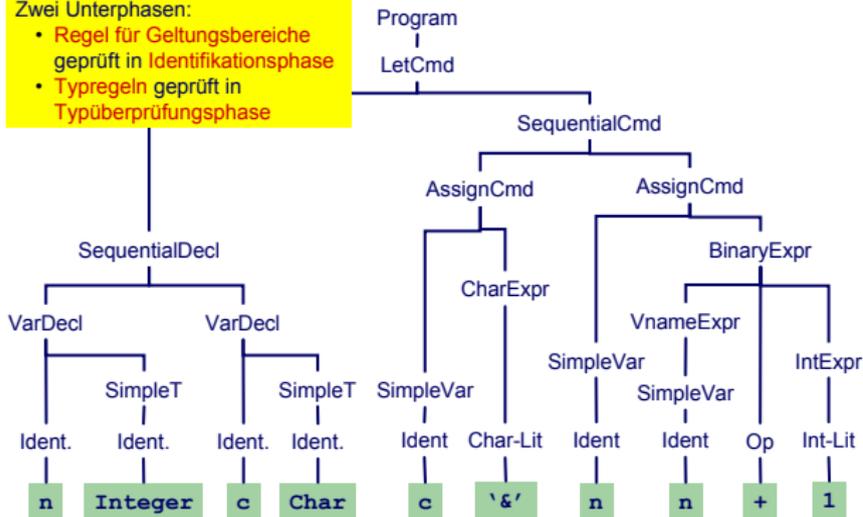
Zusammenfassu

Gewünschtes Ergebnis



Zwei Unterphasen:

- Regel für Geltungsbereiche geprüft in Identifikationsphase
- Typregeln geprüft in Typüberprüfungsphase



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

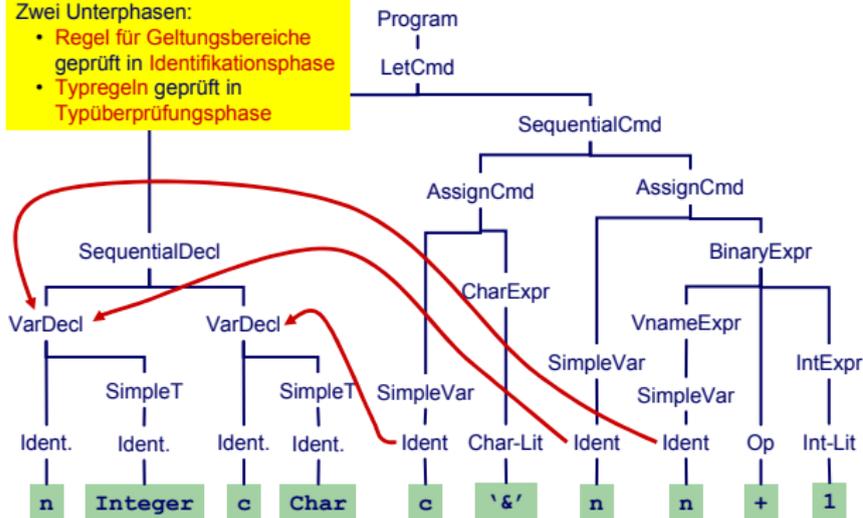
Zusammenfassu

Gewünschtes Ergebnis



Zwei Unterphasen:

- Regel für Geltungsbereiche geprüft in Identifikationsphase
- Typregeln geprüft in Typüberprüfungsphase



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

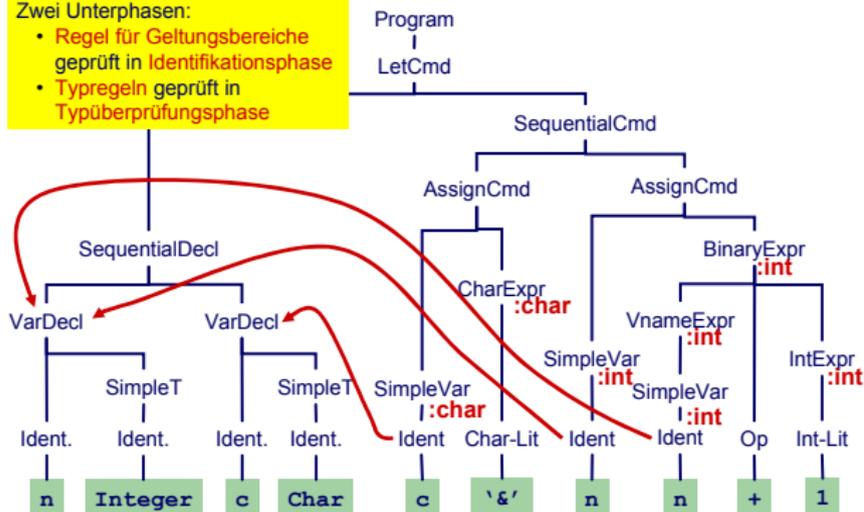
Zusammenfassu

Gewünschtes Ergebnis



Zwei Unterphasen:

- Regel für Geltungsbereiche geprüft in Identifikationsphase
- Typregeln geprüft in Typüberprüfungsphase



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Dekorierung des AST: Datenstruktur



Benötigt Erweiterung einiger AST Knoten um zusätzlich Instanzvariablen.

```
public abstract class Expression extends AST {  
    // Every expression has a type  
    public Type type;  
    ...  
}
```

```
public class Identifier extends Token {  
    // Binding occurrence of this identifier  
    public Declaration decl;  
    ...  
}
```

Wie nun bei Implementierung vorgehen?

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
 - In jeder Methode: Durchlauf über Kinder
-
- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
 - **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Dekorierung des AST: OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

```
public abstract AST() {  
    public abstract Object check(Object arg);  
    public abstract Object encode(Object arg);  
    public abstract Object prettyPrint(Object arg);  
}  
...  
Program program;  
program.check(null);
```

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Dekorierung des AST: OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

```
public abstract AST() {  
    public abstract Object check(Object arg);  
    public abstract Object encode(Object arg);  
    public abstract Object prettyPrint(Object arg);  
}  
...  
Program program;  
program.check(null);
```

Rückgabewert propagiert Daten
aufwärts im AST

Extra **arg** propagiert Daten
abwärts im AST

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Dekorierung des AST: OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

```
public abstract AST() {  
    public abstract Object check(Object arg);  
    public abstract Object encode(Object arg);  
    public abstract Object prettyPrint(Object arg);  
}  
...  
Program program;  
program.check(null);
```

Rückgabewert propagiert Daten
aufwärts im AST

Extra **arg** propagiert Daten
abwärts im AST

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Dekorierung des AST: OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

```
public abstract AST() {  
    public abstract Object check(Object arg);  
    public abstract Object encode(Object arg);  
    public abstract Object prettyPrint(Object arg);  
}  
...  
Program program;  
program.check(null);
```

Rückgabewert propagiert Daten
aufwärts im AST

Extra **arg** propagiert Daten
abwärts im AST

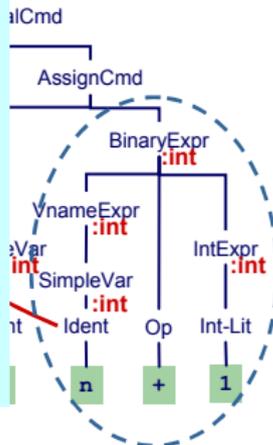
- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Beispiel: Dekorierung via OO Ansatz



```
public abstract class Expression extends AST {
    public Type type;
    ...
}
public class BinaryExpr extends Expression {
    public Expression E1, E2;
    public Operator O;

    public Object check(Object arg) {
        Type t1 = (Type) E1.check(null);
        Type t2 = (Type) E2.check(null);
        Op op = (Op) O.check(null);
        Type result = op.compatible(t1, t2);
        if (result == null)
            report type error
        return result;
    }
    ...
}
```



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Dekorierung via OO Ansatz

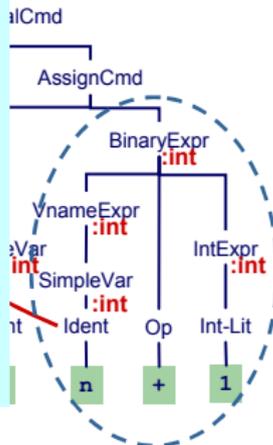


```
public abstract class Expression extends AST {
    public Type type;
    ...
}
public class BinaryExpr extends Expression {
    public Expression E1, E2;
    public Operator O;

    public Object check(Object arg) {
        Type t1 = (Type) E1.check(null);
        Type t2 = (Type) E2.check(null);
        Op op = (Op) O.check(null);
        Type result = op.compatible(t1, t2);
        if (result == null)
            report type error
        return result;
    }
    ...
}
```

oder

```
Object[] tmp = new Object[2];
tmp[0] = t1; tmp[1] = t2;
Type result = (Type) O.check(tmp);
```



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: “Funktionaler” Ansatz



Besser (?): Hier alles Verhalten zusammen in einer Methode

```
Type check(Expr e) {
  if (e instanceof IntLitExpr)
    return representation of type int
  else if (e instanceof BoolLitExpr)
    return representation of type bool
  else if (e instanceof EqExpr) {
    Type t = check(((EqExpr)e).left);
    Type u = check(((EqExpr)e).right);
    if (t == representation of type int &&
        u == representation of type int)
      return representation of type bool
    ...
  }
```

➡ Nicht sonderlich OO, ignoriert eingebauten Dispatcher

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... ohne Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- ohne die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Alternative: Entwurfsmuster "Besucher"



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster "Besucher"



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... ohne Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- ohne die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Alternative: Entwurfsmuster "Besucher"



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Alternative: Entwurfsmuster "Besucher"



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Alternative: Entwurfsmuster "Besucher"



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Alternative: Entwurfsmuster "Besucher"



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Alternative: Entwurfsmuster "Besucher"



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Definiere `Visitor`-Klasse um AST-Knoten zu besuchen (`visit`)
- Füge zu jeder AST-Subklasse `XYZ` eine einzelne `visitXYZ`-Methode hinzu
 - In der Literatur auch `accept` genannt, hier Konflikt mit Parser

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Definiere `Visitor`-Klasse um AST-Knoten zu besuchen (`visit`)
- Füge zu jeder AST-Subklasse `XYZ` **eine einzelne** `visitXYZ`-Methode hinzu
 - In der Literatur auch `accept` genannt, hier Konflikt mit Parser

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Definiere `Visitor`-Klasse um AST-Knoten zu besuchen (`visit`)
- Füge zu jeder AST-Subklasse `XYZ` **eine einzelne** `visitXYZ`-Methode hinzu
 - In der Literatur auch `accept` genannt, hier Konflikt mit Parser

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Definiere `Visitor`-Klasse um AST-Knoten zu besuchen (`visit`)
- Füge zu jeder AST-Subklasse `XYZ` **eine einzelne** `visitXYZ`-Methode hinzu
 - In der Literatur auch `accept` genannt, hier Konflikt mit Parser

```
public abstract AST() {  
    public abstract Object visit(Visitor v, Object arg);  
}  
public class AssignCmd extends Command {  
    public Object visit(Visitor v, Object arg) {  
        return v.visitAssignCmd(this, arg);  
    }  
}
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Benutzung von Visitors 1



- Definiere `Visitor`-Klasse um AST-Knoten zu besuchen (`visit`)
- Füge zu jeder AST-Subklasse `XYZ` **eine einzelne** `visitXYZ`-Methode hinzu
 - In der Literatur auch `accept` genannt, hier Konflikt mit Parser

```
public abstract AST() {
    public abstract Object visit(Visitor v, Object arg);
}
public class AssignCmd extends Command {
    public Object visit(Visitor v, Object arg) {
        return v.visitAssignCmd(this, arg);
    }
}
```

Unterschiedliche Implementierungen der Methode realisieren die geforderte Funktionalität (Typüberprüfung, Code-Erzeugung, ...)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich und Symbolta-bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Schema: Erweitere jede AST-Klasse XYZ um visit-Methode

```
public class XYZ extends ... {  
    public Object visit(Visitor v, Object arg) {  
        return v.visitXYZ(this, arg);  
    }  
}
```

➔ Rufe visitXYZ-Methode des Visitors auf

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Benutzung von Visitors 3



```
public interface Visitor {
    public Object visitProgram
        (Program prog, Object arg);
    ...
    public Object visitAssignCmd
        (AssignCmd cmd, Object arg);
    public Object visitSequentialCmd
        (SequentialCmd cmd, Object arg);
    ...
    public Object visitVnameExpression
        (VnameExpression e, Object arg);
    public Object visitBinaryExpression
        (BinaryExpression e, Object arg);
    ...
}
```

```
public class XYZ extends ... {
    Object visit(Visitor v, Object arg) {
        return v.visitXYZ(this, arg);
    }
}
```

Interface Visitor definiert `visitXYZ` für alle Subklassen `XYZ` von AST

```
public Object visitXYZ
    (XYZ x, Object arg);
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Jetzt alle benötigten Methoden zusammen in einer Klasse

```
public class Checker implements Visitor {  
  
    private SymbolTable symtab;  
  
    public void check(Program prog) {  
        symtab = new SymbolTable();  
        prog.visit(this, null);  
    }  
  
    ... + implementations of all methods of Visitor  
}
```

Wurzelknoten des AST

Beispiel: AssignCmd



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

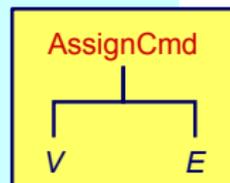
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

```
public class XYZ extends ... {  
    Object visit(Visitor v,  
                Object arg) {  
        return v.visitXYZ(this, arg);  
    }  
}
```

```
public Object visitAssignCmd  
    (AssignCmd com, Object arg) {  
    Type vType = (Type) com.V.visit(this, null);  
    Type eType = (Type) com.E.visit(this, null);  
    if (! com.V.variable)  
        error: left side is not a variable  
    if (! eType.equals(vType))  
        error: types are not equivalent  
    return null;  
}
```

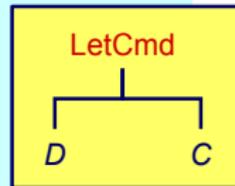


Beispiel: LetCmd



```
public class XYZ extends ... {  
    Object visit(Visitor v,  
                Object arg) {  
        return v.visitXYZ(this, arg);  
    }  
}
```

```
public Object visitLetCmd  
    (LetCmd com, Object arg) {  
    symtab.openScope();  
    com.D.visit(this, null);  
    com.C.visit(this, null);  
    symtab.closeScope();  
    return null;  
}
```



letCmd **öffnet** (und **schließt**) eine Ebene von Geltungsbereichen in **Symboltabelle**.

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: IfCmd



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

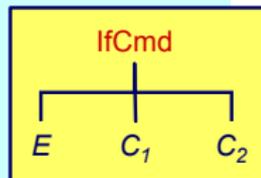
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

```
public class XYZ extends ... {  
    Object visit(Visitor v,  
                Object arg) {  
        return v.visitXYZ(this, arg);  
    }  
}
```

```
public Object visitIfCmd  
    (IfCmd com, Object arg) {  
    Type eType = (Type)com.E.visit(this, null);  
    if (! eType.equals(Type.bool))  
        error: condition is not a boolean  
    com.C1.visit(this, null);  
    com.C2.visit(this, null);  
    return null;  
}
```



Beispiel: IntegerExpr



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

```
public class XYZ extends ... {  
    Object visit(Visitor v,  
                Object arg) {  
        return v.visitXYZ(this, arg);  
    }  
}
```

```
public Object visitIntegerExpr  
    (IntegerExpr expr, Object arg) {  
    expr.type = Type.int;  
    return expr.type;  
}
```

Dekoriere den IntegerExpr
Knoten im AST

IntegerExpr

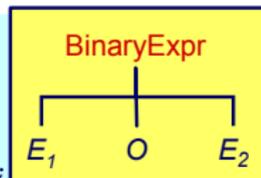
|
IL

nicht ins Terminal
IL absteigen

Beispiel: BinaryExpr



```
public Object visitBinaryExpr
    (BinaryExpr expr, Object arg) {
    Type e1Type = (Type) expr.E1.visit(this, null);
    Type e2Type = (Type) expr.E2.visit(this, null);
    OperatorDeclaration opdecl =
        (OperatorDeclaration) expr.O.visit(this, null);
    if (opdecl == null) {
        error: no such operator
        expr.type = Type.error;
    } else if (opdecl instanceof BinaryOperatorDeclaration) {
        BinaryOperatorDeclaration bopdecl =
            (BinaryOperatorDeclaration) opdecl;
        if (! e1Type.equals(bopdecl.operand1Type))
            error: left operand has the wrong type
        if (! e2Type.equals(bopdecl.operand2Type))
            error: right operand has the wrong type
        expr.type = bopdecl.resultType;
    } else {
        error: operator is not a binary operator
        expr.type = Type.error;
    }
    return expr.type;
}
```



Weitere Methoden in
PLPJ.

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: VarDecl und ConstDecl



// Declaration checking

```
public Object visitVarDeclaration (VarDeclaration decl, Object arg) {  
    decl.T.visit(this, null);  
    idTable.enter(decl.l.spelling, decl);  
    return null;  
}
```

```
public Object visitConstDeclaration (ConstDeclaration decl, Object arg) {  
    decl.E.visit(this, null);  
    idTable.enter(decl.l.spelling, decl);  
    return null;  
}
```

...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel simpleVName



```
// VName checking
public Object visitSimpleVName (SimpleVname vname, Object arg) {
    Declaration decl = vname.l.visit(this, null);
    if (decl==null) {
        // error: VName not declared
    } else if (decl instanceof ConstDeclaration) {
        vname.type = ((ConstDeclaration) decl).E.type;
        vname.variable = false;
    } else if (decl instanceof VarDeclaration) {
        vname.type = ((VarDeclaration) decl).T.type;
        vname.variable = true;
    }
    return vname.type;
}
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zusammenfassung aller `visitXYZ`-Methoden



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Program	<code>visitProgram</code>	<ul style="list-style-type: none">• return <code>null</code>
Command	<code>visit..Cmd</code>	<ul style="list-style-type: none">• return <code>null</code>
Expression	<code>visit..Expr</code>	<ul style="list-style-type: none">• dekoriere ihn mit seinem <code>Typ</code>• return <code>Typ</code>
Vname	<code>visitSimpleVname</code>	<ul style="list-style-type: none">• dekoriere ihn mit seinem <code>Typ</code>• setze <code>Flag</code>, falls <code>Variable</code>• return <code>Typ</code>
Declaration	<code>visit..Decl</code>	<ul style="list-style-type: none">• trage alle deklarierten Bezeichner in <code>Symboltabelle</code> ein• return <code>null</code>
TypeDenoter	<code>visit..TypeDenoter</code>	<ul style="list-style-type: none">• dekoriere ihn mit seinem <code>Typ</code>• return <code>Typ</code>
Identifizier	<code>visitIdentifizier</code>	<ul style="list-style-type: none">• prüfe ob Bezeichner deklariert ist• verweise auf bindende Deklaration• return diese Deklaration
Operator	<code>visitOperator</code>	<ul style="list-style-type: none">• prüfe ob Operator deklariert ist• verweise auf bindende Deklaration• return diese Deklaration

Ausnutzung von Overloading



Ersetze in Java

```
public class SomePass implements Visitor {  
...  
    public Object visitXYZ(XYZ x, Object arg);  
...  
}
```

durch:

```
public class SomePass implements Visitor {  
...  
    public Object visit(XYZ x ,Object arg);...  
}
```

Unklar: `visit` in AST-Subklasse, `visit` in Visitor

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Ausnutzung von Overloading



Ersetze in Java

```
public class SomePass implements Visitor {  
    ...  
    public Object visitXYZ(XYZ x, Object arg);  
    ...  
}
```

durch:

```
public class SomePass implements Visitor {  
    ...  
    public Object visit(XYZ x ,Object arg); ...  
}
```

Unklar: visit in AST-Subklasse, visit in Visitor

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - `Integer`, `Char`, `Boolean`
 - `true`, `false`
 - `putint`, `getint`
 - `+`, `-`, `*`
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - Integer, Char, Boolean
 - `true, false`
 - `putint, getint`
 - `+, -, *`
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - Integer, Char, Boolean
 - true, false
 - `putint`, `getint`
 - +, -, *
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - Integer, Char, Boolean
 - true, false
 - putint, getint
 - +, -, *
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ Vorher definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - Integer, Char, Boolean
 - true, false
 - putint, getint
 - +, -, *
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ Vorher definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - Integer, Char, Boolean
 - true, false
 - putint, getint
 - +, -, *
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ Vorher definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - Integer, Char, Boolean
 - true, false
 - putint, getint
 - +, -, *
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ Vorher definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - Integer, Char, Boolean
 - true, false
 - putint, getint
 - +, -, *
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Mini-Triangle: Eingebaute (primitive) Typen 1



Entsprechende Type-Objekte als Singletons anlegen

```
public class Type {  
    private byte kind; // INT, BOOL or ERROR  
    public static final byte  
        BOOL=0, INT=1, ERROR=-1;  
  
    private Type(byte kind) { ... }  
  
    public boolean equals(Object other) { ... }  
  
    public static Type boolT = new Type(BOOL);    // eingebaute Typen!  
    public static Type intT  = new Type(INT);  
    public static Type errorT = new Type(ERROR);  
}
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Mini-Triangle: Eingebaute (primitive) Typen 2



Damit jetzt möglich

```
// Type denoter checking
public Object visitSimpleTypeDen (SimpleTypeDen den, Object arg) {
    if (den.l.spelling.equals("Integer"))
        den.type = Type.intT;
    else if (den.l.spelling.equals("Boolean"))
        den.type = Type.boolT;
    else {
        // error: unknown type denoter
        den.type = Type.errorT;
    }
    return den.type;
}
```

...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ “black boxes”, nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ↳ “black boxes”, nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ↳ “black boxes”, nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ↳ “black boxes”, nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Idee: Trage **Deklarationen** vorher direkt in AST ein
- Wohlgemerkt: **Ohne** konkrete Realisierung
 - Behandlung als Sonderfälle während Optimierung und Code-Erzeugung
- Deklarationen als Sub-ASTs **ohne** Definition

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Idee: Trage **Deklarationen** vorher direkt in AST ein
- Wohlgemerkt: **Ohne** konkrete Realisierung
 - Behandlung als Sonderfälle während Optimierung und Code-Erzeugung
- Deklarationen als Sub-ASTs **ohne** Definition

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Idee: Trage **Deklarationen** vorher direkt in AST ein
- Wohlgemerkt: **Ohne** konkrete Realisierung
 - Behandlung als Sonderfälle während Optimierung und Code-Erzeugung
- Deklarationen als Sub-ASTs **ohne** Definition

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Idee: Trage **Deklarationen** vorher direkt in AST ein
- Wohlgemerkt: **Ohne** konkrete Realisierung
 - Behandlung als Sonderfälle während Optimierung und Code-Erzeugung
- Deklarationen als Sub-ASTs **ohne** Definition

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

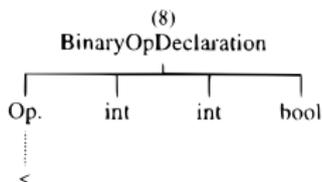
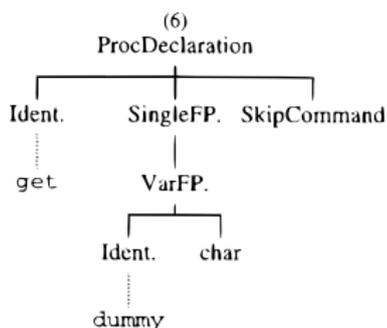
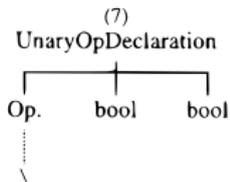
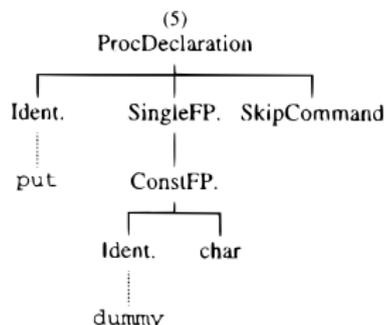
Triangle

Zusammenfass

Standardumgebung: Realisierung in Triangle 3



Beispiel: `put (c), get (var c), \ b, e1 < e2`



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Eintragen der Umgebung am Anfang der syntaktischen Analyse

```
private void establishStdEnvironment () {  
    // idTable.startIdentification();  
    StdEnvironment.booleanType = new BoolTypeDenoter(dummyPos);  
    StdEnvironment.integerType = new IntTypeDenoter(dummyPos);  
    StdEnvironment.charType = new CharTypeDenoter(dummyPos);  
    StdEnvironment.anyType = new AnyTypeDenoter(dummyPos);  
    StdEnvironment.errorType = new ErrorTypeDenoter(dummyPos);  
  
    StdEnvironment.booleanDecl = declareStdType("Boolean", StdEnvironment.booleanType);  
    StdEnvironment.falseDecl = declareStdConst("false", StdEnvironment.booleanType);  
    StdEnvironment.trueDecl = declareStdConst("true", StdEnvironment.booleanType);  
    StdEnvironment.notDecl = declareStdUnaryOp("\\", StdEnvironment.booleanType, StdEnvironment.booleanType);  
}
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Anlegen einer vorbelegten Konstante

```
// Creates a small AST to represent the "declaration" of a standard  
// type, and enters it in the identification table.
```

```
private ConstDeclaration declareStdConst (String id, TypeDenoter constType) {  
  
    IntegerExpression constExpr;  
    ConstDeclaration binding;  
  
    // constExpr used only as a placeholder for constType  
    constExpr = new IntegerExpression(null, dummyPos);  
    constExpr.type = constType;  
    binding = new ConstDeclaration(new Identifier(id, dummyPos), constExpr, dummyPos);  
    idTable.enter(id, binding);  
    return binding;  
}
```

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Mini-Triangle: Nur primitive Typen

- Einfach:
- Beispiel: `if E1 = E2 then ...`
- Typen von $E1$ und $E2$ müssen identisch sein
- `e1.type == e2.type`



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Mini-Triangle: Nur primitive Typen

- Einfach:
- Beispiel: `if E1 = E2 then ...`
- Typen von $E1$ und $E2$ müssen identisch sein
- `e1.type == e2.type`



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Mini-Triangle: Nur primitive Typen

- Einfach:
- Beispiel: `if E1 = E2 then ...`
- Typen von $E1$ und $E2$ müssen identisch sein
- `e1.type == e2.type`



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Mini-Triangle: Nur primitive Typen

- Einfach:
- Beispiel: `if $E1 = E2$ then ...`
- Typen von $E1$ und $E2$ müssen identisch sein
- `e1.type == e2.type`



Triangle: Komplizierter: Arrays, Records, benutzdefinierte Typen

Beispiel 1

```
type T1 ~ record n: Integer; c: Char end;  
type T2 ~ record c: Char; n: Integer end;
```

```
var t1 : T1; var t2 : T2;
```

```
if t1 = t2 then ...
```

Legal?

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Beispiel 2

```
type Word ~ array 8 of Char;
```

```
var w1 : Word;
```

```
var w2 : array 8 of Char;
```

```
if w1 = w2 then ...
```

Legal?

➔ Wann sind zwei Typen äquivalent?



Typen sind genau dann äquivalent, wenn ihre **Struktur** äquivalent ist.

- Primitive Typen: Müssen identisch sein
- Arrays: Äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Anzahl
- Records: Gleiche Namen für Elemente, äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Reihenfolge der Elemente

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Typen sind genau dann äquivalent, wenn ihre **Struktur** äquivalent ist.

- Primitive Typen: Müssen identisch sein
- Arrays: Äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Anzahl
- Records: Gleiche Namen für Elemente, äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Reihenfolge der Elemente

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Typen sind genau dann äquivalent, wenn ihre **Struktur** äquivalent ist.

- Primitive Typen: Müssen identisch sein
- Arrays: Äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Anzahl
- Records: Gleiche Namen für Elemente, äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Reihenfolge der Elemente

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Jedes Vorkommen eines nicht-primitiven Typs (selbstdefiniert, Array, Record) beschreibt einen neuen und **einzigartigen** Typ, der nur zu sich selbst äquivalent ist.

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

In Triangle: strukturelle Typäquivalenz

Beispiel 1

```
type T1 ~ record n: Integer; c: Char end;
```

```
type T2 ~ record c: Char; n: Integer end;
```

```
var t1 : T1; var t2 : T2;
```

```
if t1 = t2 then ...
```

Struktur nicht äquivalent, Namen nicht äquivalent



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

In Triangle: strukturelle Typäquivalenz

Beispiel 1

```
type T1 ~ record n: Integer; c: Char end;
```

```
type T2 ~ record c: Char; n: Integer end;
```

```
var t1 : T1; var t2 : T2;
```

```
if t1 = t2 then ...
```

Struktur nicht äquivalent, Namen nicht äquivalent



Beispiel 2

```
type Word ~ array 8 of Char;  
  
var w1 : Word;  
var w2 : array 8 of Char;  
  
if w1 = w2 then ...
```

Struktur äquivalent, Namen nicht äquivalent

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Beispiel 2

```
type Word ~ array 8 of Char;  
  
var w1 : Word;  
var w2 : array 8 of Char;  
  
if w1 = w2 then ...
```

Struktur äquivalent, Namen nicht äquivalent

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Beispiel 3

```
type Word ~ array 8 of Char;  
  
var w1 : Word;  
var w2 : Word;  
  
if w1 = w2 then ...
```

Struktur äquivalent, Namen äquivalent

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Beispiel 3

```
type Word ~ array 8 of Char;  
  
var w1 : Word;  
var w2 : Word;  
  
if w1 = w2 then ...
```

Struktur äquivalent, Namen äquivalent

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Einfache Klasse `Type` reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse `TypeDenoter`, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Handhabung komplexer Typen 1



- Einfache Klasse `Type` reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse `TypeDenoter`, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse `Type` reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse `TypeDenoter`, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse `Type` reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse `TypeDenoter`, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse `Type` reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse `TypeDenoter`, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse `Type` reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse `TypeDenoter`, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse `Type` reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse `TypeDenoter`, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse `Type` reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse `TypeDenoter`, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Vorgehen

- 1 Ersetze in Kontextanalyse alle Typenbezeichner durch Verweise auf Sub-ASTs der Typdeklaration
- 2 Führe Typprüfung durch strukturellen Vergleich der Sub-ASTs der Deklarationen durch

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Vorgehen

- 1 Ersetze in Kontextanalyse alle Typenbezeichner durch Verweise auf Sub-ASTs der Typdeklaration
- 2 Führe Typprüfung durch strukturellen Vergleich der Sub-ASTs der Deklarationen durch

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

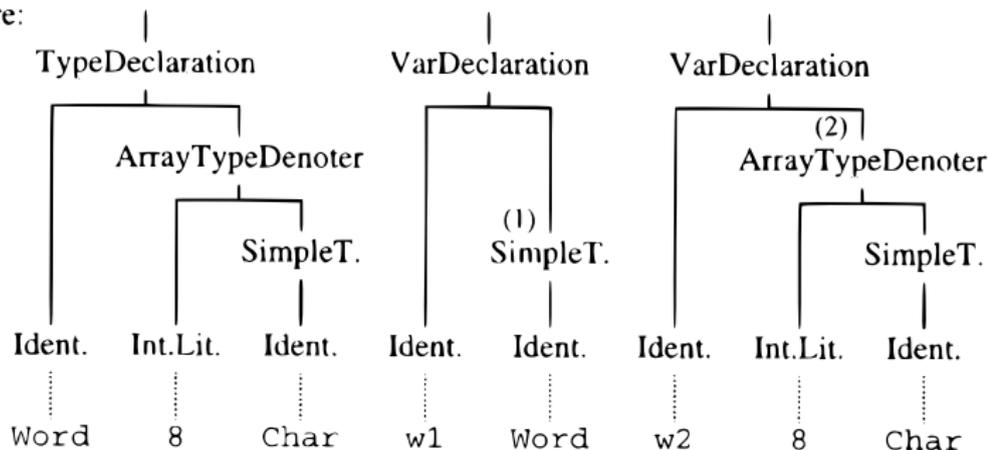
Triangle

Zusammenfass

Beispiel komplexe Typäquivalenz



Before:



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel komplexe Typäquivalenz



Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

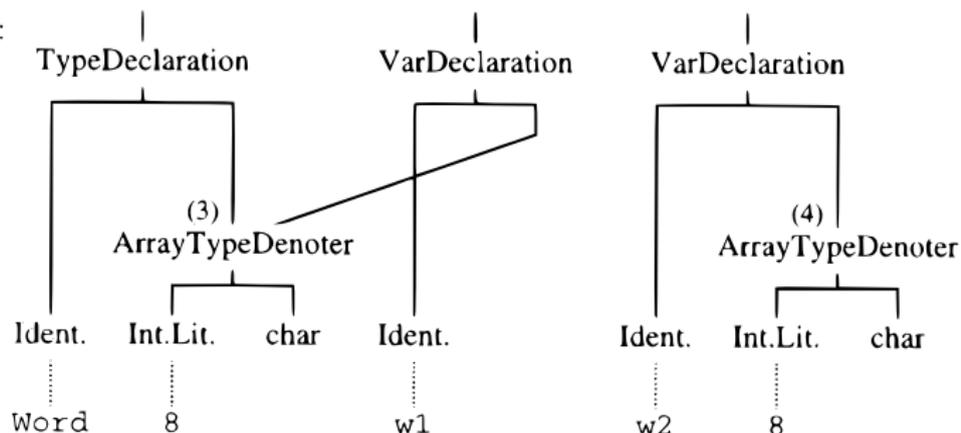
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

(2) After:





- **Kontextanalyse**
- Identifikation
- Typüberprüfung
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen

- Nächste Aufgabe: Einfache AST-Operationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Kontextanalyse**
- **Identifikation**
- Typüberprüfung
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen

- Nächste Aufgabe: Einfache AST-Operationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Kontextanalyse**
- **Identifikation**
- **Typüberprüfung**
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen

- Nächste Aufgabe: Einfache AST-Operationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kontextanalyse
- Identifikation
- Typüberprüfung
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen
- Nächste Aufgabe: Einfache AST-Operationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kontextanalyse
 - Identifikation
 - Typüberprüfung
 - Organisation von Symboltabellen
 - Implementierung von AST-Durchläufen
-
- Nächste Aufgabe: Einfache AST-Operationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kontextanalyse
- Identifikation
- Typüberprüfung
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen

- Nächste Aufgabe: Einfache AST-Operationen

Orga

Einleitung

Geltungsbereich
und Symbolta-
bellen

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu