# Konstruktion von LR(1)-Automaten

**Anfangszustand, Übergänge, und Zustände konstruieren bis keine neuen mehr entstehen.**

**Dabei auf jeden Zustand *Hüllenbildung* anwenden:**

**Wenn [ A ::= u . B v R ] im Zustand q ist, dann ist auch für jede Produktion B ::= w**

**[ B ::= . w Anf (v R) ] im Zustand q.**

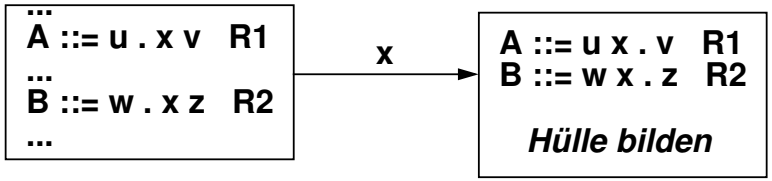
**Anfangszustand:**

**Hülle von [ S ::= . u {#} ]**

**S ::= u ist eindeutige Startproduktion,**

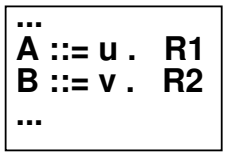
**# ist künstliches Schlußzeichen (eof)**

**Übergänge in Nachfolgezustände mit Symbolen x , die in Situationen auf die Analyseposition folgen, x Terminal oder Nichtterminal:**



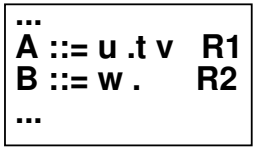

**Konflikte: Automat nicht determ., Grammatik nicht LR(1):**

**reduce / reduce**




**R1, R2 nicht disjunkt**

**shift / reduce**




**$t \in$ R2**

## Vorlesung Übersetzer WS 97/98 / Folie 27

**Ziele:**

- Konstruktionsmethode verstehen
- LR(1)-Konflikte verstehen

**in der Vorlesung:**

- Konstruktion am Beispiel vorführen
- Konflikt bei "dangling else"

**nachlesen:**

Kastens / Übersetzerbau, Abschnitt 4.3

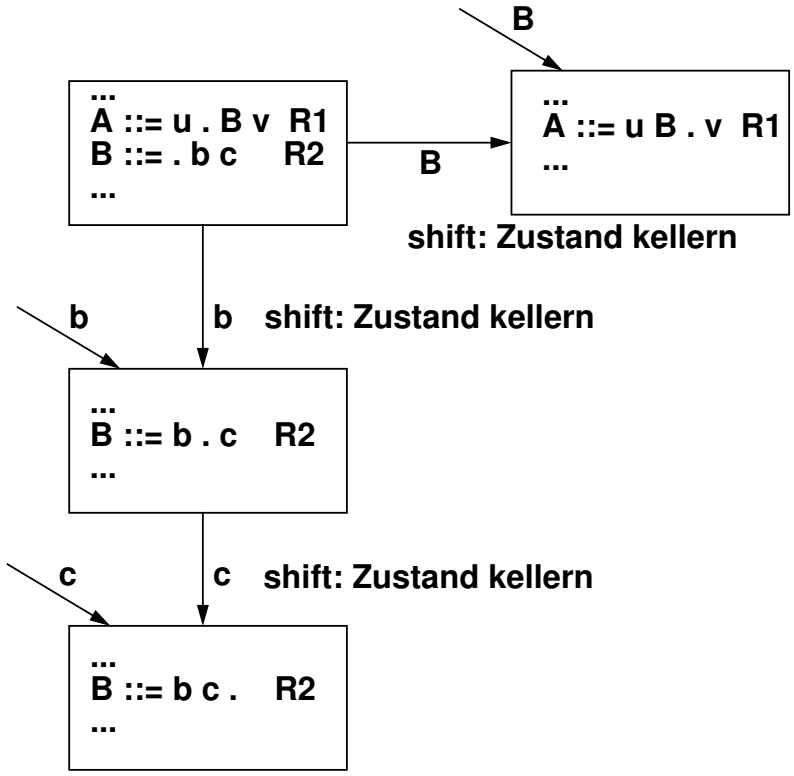
**Übungsaufgaben:**

- Automaten konstruieren Aufgabe 13
- Konflikt mit LR(1)-Bedingung vergleichen

**Verständnisfragen:**

- Erläutern Sie die Bedeutung des Rechtskontextes.
- Erläutern Sie seine Rolle bei der Hüllenbildung.

# Operationen des LR(1)-Automaten schematisch




**reduziere B ::= b c , falls Eingabe in R2**
**entkellere 2 Zustände (Länge rechte Seite)**
**Übergang mit B (linke Seite)**

**Fehler: kein Übergang möglich**

**Halt: reduziere Startproduktion bei #**

## Vorlesung Übersetzer WS 97/98 / Folie 28

**Ziele:**

- Arbeitsweise des Automaten verstehen.
- Sinn der Konstruktionsregeln verstehen.

**in der Vorlesung:**

- wie zu vorangehender Folie

# Vereinfachte LR-Klassen

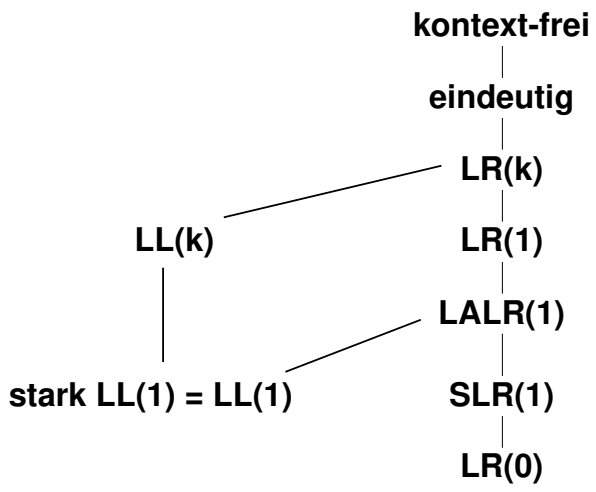
**LR(1):** zuviele Zustände für praktischen Einsatz
**Ursache**: Rechtskontexte differenzieren stark
**Abhilfe:** Rechtskontexte vereinfachen, weniger Zustände, Grammatik weniger mächtig

**LR(0):** Alle Situationen **ohne** Rechtskontext
**Konsequenz:** Reduktionssituationen einzeln im Zustand

**SLR(1):** **LR(0)-Zustände**; bei Reduktionssituationen vergröberten Rechtskontext zur Entscheidung:
**[ A ::= u . Folge (A) ]**

**LALR(1):** LR(1)-Zustände zusammenlegen, wenn sich ihre Situationen nur im Rechtskontext unterscheiden; liefert **LR(0)-Zustände** mit "exaktem" Rechtskontext; **wichtigste Parser-Generatoren**

**Grammatik-Hierarchie:**




## Vorlesung Übersetzer WS 97/98 / Folie 29

**Ziele:**

- LR-Klassen Übersicht
- LALR(1) für wichtige Generatoren

**in der Vorlesung:**

- LALR(1)-, SLR(1)-, LR(0)-Zustände

**nachlesen:**

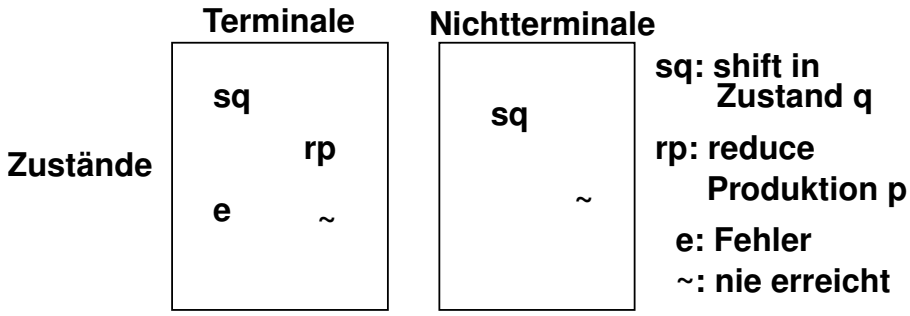
Kastens / Übersetzerbau, Abschnitt 4.3

**Verständnisfragen:**

- Welche Eigenschaft haben die Zustände eines deterministischen LR(0)-Automaten, in denen reduziert wird?
- Welche Fälle kann man an Hand der Grammatik-Hierarchie unterscheiden, wenn die LALR(1)-Automaten-Konstruktion Konflikte liefert?

# Implementierung von LR-Automaten

**Tabellen-gesteuert:**
(direkt programmmiert möglich, aber zu groß)




**Tabellen komprimieren:**

- **verträgliche Zeilen / Spalten zusammenlegen**
  Graphfärbung
- **separate Fehlermatrix für Terminaltabelle (Bit-Matrix)**
  erhöht die Zahl verträglicher Zeilen / Spalten
- **kleinsten Wert von Zeilen / Spalten subtrahieren**
  erhöht die Zahl verträglicher Zeilen / Spalten
  verkleinert Wertebereich der Einträge
- **LR(0)-Reduktionszustände streichen, neue Operation im Vorgängerzustand: shift - reduce**
  eliminiert ca. 30% in der Praxis

Insgesamt Tabellenreduktion auf ca. 10-20% möglich.

## Vorlesung Übersetzer WS 97/98 / Folie 30

**Ziele:**

- Spezielle Eigenschaften der LR-Tabellen nutzen.
- Allgemeine Verfahren zur Tabellenkomprimierung anwendbar.

**in der Vorlesung:**

- Eigenschaften der LR-Tabellen erläutern.

**nachlesen:**

Kastens / Übersetzerbau, Abschnitt 4.3

**Verständnisfragen:**

- Warum enthält die Nichtterminaltabelle keine Fehlereinträge?
- Warum gibt es nicht erreichbare Tabellenpositionen?
- Welche Rolle spielen LR(0)-Reduktionszustände in der Implementierung von LALR(1)-Automaten?

# Behandlung syntaktischer Fehler

**Allgemeine Kriterien:**

- **Fehler so früh wie möglich erkennen**
- **Symptom quellbezogen melden**
- **Parsing möglichst kurz nach Fehlerstelle fortsetzen**
- **Folgefehler vermeiden**
- **strukturell korrekter Baum trotz Fehler**
- **kein Zurücksetzen, Zurücknehmen von Aktionen**
- **möglichst kein zusätzlicher Aufwand für korrekte Programme**

LL- und LR-Verfahren erkennen Fehler frühest möglich.

Begriffe: **Fehlerstelle t, korrekter Präfix w:**

Eingabe $w\ t\ x \in T^*$

korrekter Präfix $w$ d.h. es gibt ein $u \in T^*$ mit $w\,u \in L(G)$

$w\,t$ ist kein korrekter Päfix

Parser akzeptiert t nicht.

**Aufsetzpunkt d** für die Fortsetzung des Parsing:

$$w\ t\ x = w\ y\ d\ z$$

$\downarrow$ ersetzen (konzeptionell)

$w\ v\ d\ z$ mit $w\,v\,d$ ist korrekter Präfix

## Vorlesung Übersetzer WS 97/98 / Folie 31

**Ziele:**

- Kriterien und Grundbegriffe zu syntaktischen Fehlern

**in der Vorlesung:**

- Beispiele zu syntaktischen Fehlern, Aufsetzpunkten

**nachlesen:**

Kastens / Übersetzerbau, Abschnitt 4.4

**Verständnisfragen:**

- In welchem Sinne kann ein Parser syntaktische Fehler "korrigieren"?
- Warum erkennen LL- und LR-Verfahren syntaktische Fehler frühest möglich?

# Methode: simulierte Fortsetzung

anwendbar bei LL- und LR-Verfahren (mit kopierbarem Keller)

**Idee: Aus Fehlerstelle und Keller Menge von Symbolen als mögliche Aufsetzpunkte bestimmen.**

**Verfahren:**

1. **bei Fehler Keller speichern**
   Fehlersymbol überlesen
2. **Menge D möglicher Aufsetzpunkte bestimmen**
   Automat zuende laufen lassen (Modifikation siehe unten), Symbole nicht aus der Eingabe lesen, sondern in D einfügen
3. **einen Aufsetzpunkt finden**
   Eingabe überlesen bis Symbol in D
4. **Aufsetzpunkt erreichen**
   gespeicherter Keller wird wieder Keller des Automaten, Übergänge bis der Aufsetzpunkt akzeptabel ist, dabei Symbole einfügen statt aus Eingabe lesen. Damit ist ein korrekter Präfix konstruiert.
5. **Automat normal fortsetzen**

**Automatenkonstruktion für Schritt 2 erweitern:**

Automat muß Keller leeren und terminieren, dazu in jedem Zustand ein zulässiges Symbol für Übergang auswählen (automatisch generierbar)

## Vorlesung Übersetzer WS 97/98 / Folie 32

**Ziele:**

- Ein automatisch generierbares Verfahren zur Behandlung von syntaktischen Fehlern kennenlernen.

**in der Vorlesung:**

- Verfahren erläutern

**nachlesen:**

Kastens / Übersetzerbau, Abschnitt 4.4

**Verständnisfragen:**

- Welche Alternativen zur Bestimmung von Mengen möglicher Aufsetzpunkte kommen in Frage?

# Parser-Generatoren

| | | |
|---|---|---|
| **PGS** | Univ. Karlsruhe; in Eli | **LALR(1), Tabellen-gest.** |
| **Cola** | Univ. Paderborn; in Eli | **LALR(1), Tab. o. dir. progr.** |
| **Lalr** | Univ. / GMD Karlsruhe | **LALR(1), Tabellen-gest.** |
| **Yacc** | Unix-Werkzeug | **LALR(1), Tabellen-gest.** |
| **Bison** | Gnu | **LALR(1), Tabellen-gest.** |
| **Llgen** | Amsterdam Comp. Kit | **LL(1), recursive descent** |
| **Deer** | Univ. Col. Bouder | **LL(1), recursive descent** |

**Spezifikationsform:**

EBNF: Cola, PGS, Lalr
BNF: Yacc, Bison

**Fehlerbehandlung:**

| | |
|---|---|
| simulierte Fortsetzung (automatisch): | Cola, PGS, Lalr |
| Fehlerproduktionen (manuell): | Yacc, Bison |

**Aktionen:**

Anweisungen in Implementierungssprache

| | |
|---|---|
| am Ende von Produktionen: | Yacc, Bison |
| auch innerhalb von Produktionen: | Cola, PGS, Lalr |

**Konfliktlösung:**

| | |
|---|---|
| Einfluß auf Zustände (reduziere bei ...) | Cola, PGS, Lalr |
| Reihenfolge von Produktionen: | Yacc, Bison |
| Präzedenz und Assoziativität: | Yacc, Bison |

**Implementierungssprache:**

| | |
|---|---|
| C | Cola, Yacc, Bison |
| C, Pascal, Modula-2, Ada | PGS, Lalr |

## Vorlesung Übersetzer WS 97/98 / Folie 33

**Ziele:**

- Übersicht zu Parser-Generatoren und ihren Eigenschaften

**in der Vorlesung:**

- Hinweise auf Bedeutung der Unterschiede

**nachlesen:**

Kastens / Übersetzerbau, Abschnitt 4.5