

# Produktkonfiguration mittels geordneter Resolution

---

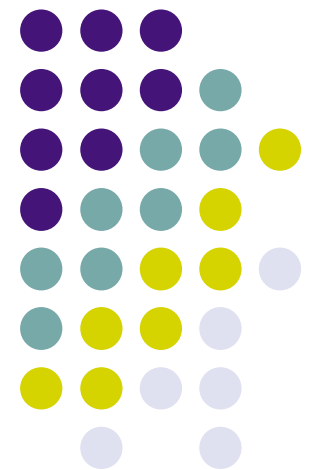
Carsten Sinz

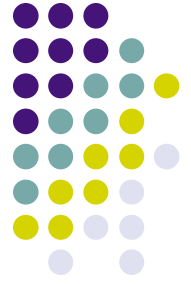
Arbeitsbereich Symbolisches Rechnen (Prof. Küchlin)

Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik



Universität Tübingen





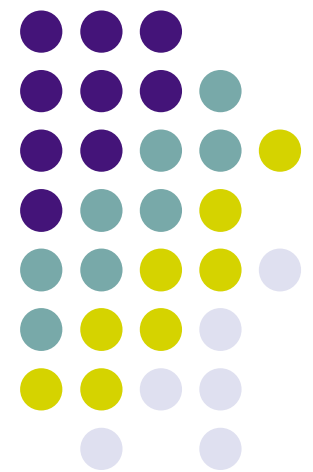
# Übersicht

- Was ist Produktkonfiguration?
- Interaktive Konfiguration
- Konsistenzprüfung und Wissens-Kompilierung mittels geordneter Resolution
- Aktive Variablen und Klauseln

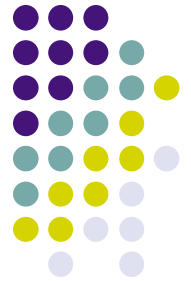


---

# Produktkonfiguration



# Was ist Produktkonfiguration?



- Variantenreiche Produkte mit einer Vielzahl von Optionen
  - z.B. Computer, PKW, Flugzeuge, Telekommunikationsanlagen
- Restriktionen bzgl. Kombinierbarkeit der Optionen
  - Option A geht nicht zusammen mit Option B.
  - Wenn A vorhanden ist, muss auch B oder C vorhanden sein.
- Spezifikation des Kunden muss geprüft und in gültige Produktinstanz umgesetzt werden
  - Bei unvollständige Angaben: Automatische Erweiterung um zusätzliche Optionen („Zusteuern“)
  - Präferenzen des Kunden sollten berücksichtigt werden.



C270CDI - Elegance - Microsoft Internet Explorer

Mercedes-Benz

Fahrzeugklasse  
C-Klasse

Karosserie und Motorwahl:  
C270CDI EUR 33.408,00

Design/Ausstattungslineie:  
Elegance EUR 1.798,00

Lacke:  
Magmarot EUR 0,00

Polster:  
anthrazit "Cambr" EUR 0,00

Sonderausstattung:

<input checked="" type="checkbox"/>	Antenne für Telefon	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Außenspiegel elek	243,60
<input checked="" type="checkbox"/>	Komfort-Klimatisie	591,60
<input checked="" type="checkbox"/>	Lautsprecher(7 Stüc	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	MB-Telefon Stand	893,20
<input checked="" type="checkbox"/>	Bedien- und Anze	2.847,80

Limousinen

Benzin	Diesel
C180K	C200CDI
C200CGI	C220CDI
C200K	C270CDI
C240	C30 AMG
C2404M	
C32 AMG	
C320	
C3204M	

Classic  
Elegance  
Avantgarde

Unilackierung

Stoff

Design  
Klimatisierung  
Komfort  
Lenkung/Schaltung  
Radio/ Kommunikation  
Räder und Fahrwerk  
Sicherheit  
Sitze  
Technik

Ergebnis der Auswahl:  
Gesamtpreis EUR 39.782,20

Ergebnis anzeigen  
Online Suche

Produktinformation

- Preisblatt
- Preisfinder
- 360° Außenansicht
- 360° Innenansicht

Modellinformation

Die C-Klasse Limousinen  
C 270 CDI LIMOUSINE

Sitze/Türen: 5/4  
Motortyp: 5-Zyl. Diesel  
Leistung: 125 kW (170 PS)  
Hubraum: 2685 ccm

Grundpreis: 33.408,00 EUR

Hier geht es weiter

- Angebot anfordern
- Konfiguration drucken
- Leasing und Finanzierung

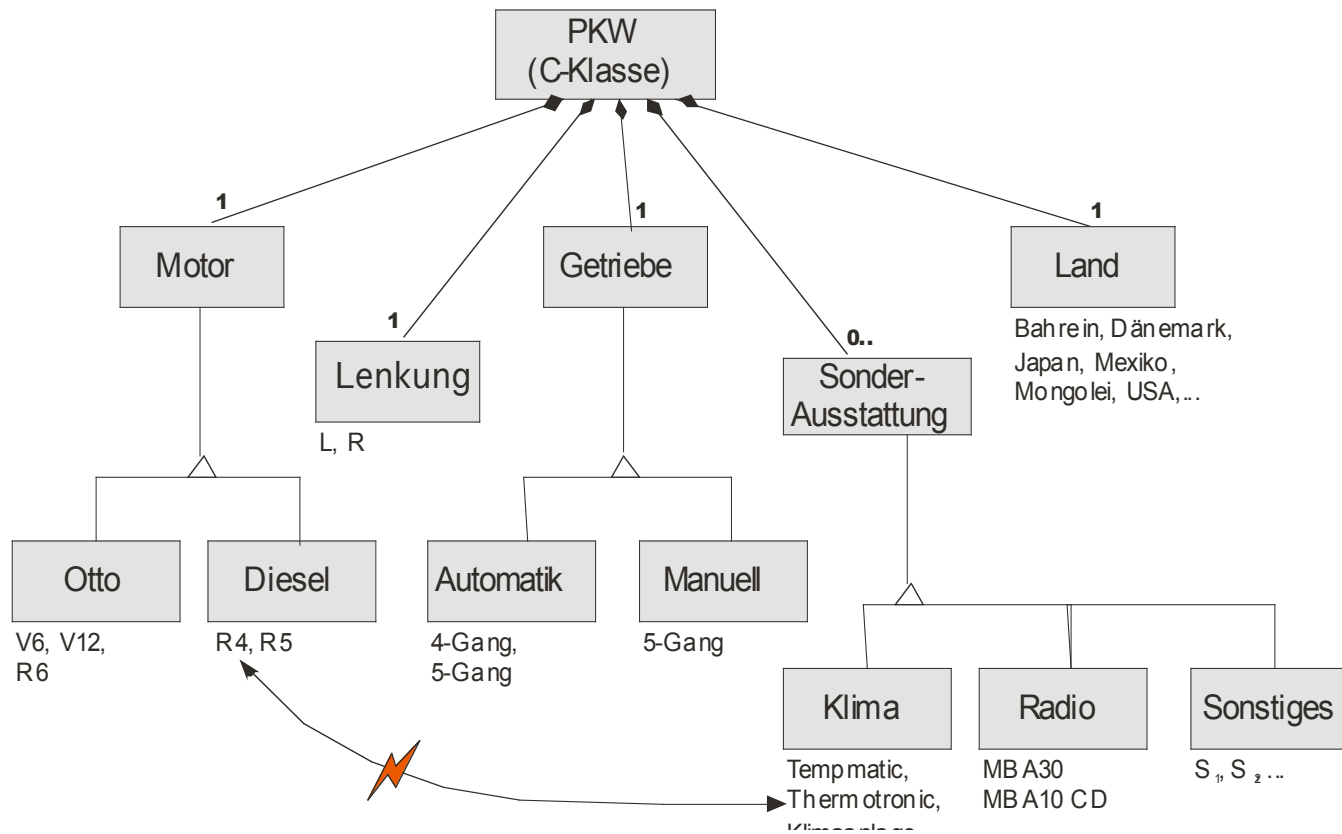
Front Seite Heck

Neue Konfiguration

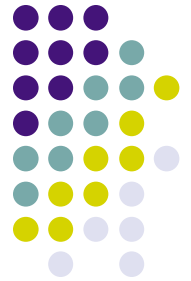
Fertig. Internet



# Beispiel: Konfiguration PKW (schematisch)



# Beispiel: Konfiguration PKW (Mercedes)

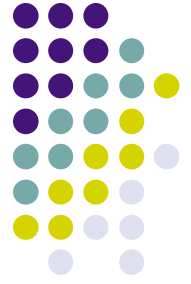


- 550** Anhängervorrichtung mit abnehmbarem Kugelhals
- 500 Außenspiegel links und rechts elektrisch heranklappbar
- 673** Batterie mit größerer Kapazität
- 231 Garagentoröffner im Innenspiegel integriert
- 551 Einbruch-Diebstahl-Warnanlage (EDW) mit Abschleppschutz
- 581** Komfort-Klimatisierungsautomatik THERMOTRONIC
- 280 Lenkrad in Lederausführung (zweifarbige) mit Chromspange
- 921 Motor mit Pflanzenölmethylester-Betrieb (Bio-Diesel)
- 353 Audio 30 APS (Navigationssystem mit integr. Radio und CD-Laufwerk)
- 671 Leichtmetallräder 4-fach, 7-Speichen-Design
- 772** Styling AMG

AMG-Styling (**772**) kann nicht mit Anhängervorrichtung **550** kombiniert werden.

Klimatisierungsautomatik (**581**) benötigt größere Batterie (**673**), außer bei den Benzinmotorvarianten mit 2,6 und 3,2 Litern Hubraum





# Konfigurations-Formalismen

- Anforderungen:
  - Abbildung der Produktstruktur
  - Abbildung der Restriktionen
  - Bei Bedarf: Umsetzung zwischen Kundenspezifikation und Stückliste (Teilebedarf)
- Gebräuchliche Formalismen:
  - Beschreibungslogiken (description logics)
  - Constraint-Logik (Variablen mit endlichen Bereichen)
  - Aussagenlogik
  - grafische Formalismen (UML)





# Konfigurations-Formalismus bei DaimlerChrysler (I)



- Optionen entsprechen aussagenlogischen Variablen
- Drei Sorten von Regeln:

 „Zusteuierungsregeln“ (modifizieren Auftrag):

$682 \leftarrow 513L \vee 727L$  Füge Feuerlöscher (682) zum Auftrag hinzu, falls Fahrzeug nach Belgien (513L) oder Guatemala (727L) geht.

 „Baubarkeitsregeln“ (prüfen Auftrag):

$970 \rightarrow 673 \wedge 260$  Alle Polizeifahrzeuge (970) müssen eine Batterie größerer Kapazität (673) besitzen und dürfen kein Typenschild (260) aufweisen.

 „Teilerregeln“ (erstellen Stückliste):

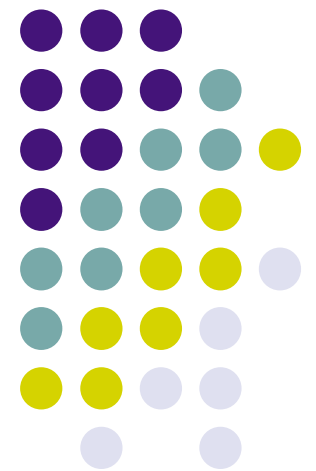
$Z04 \vee Z06 \rightarrow P9476$  Verwende spezielle Dichtung der Fahrertüre (P9476) bei gepanzerten Fahrzeugen (Z04 oder Z06)



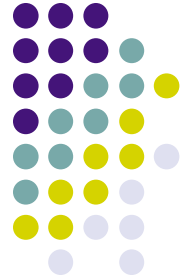


---

# Interaktive Konfiguration



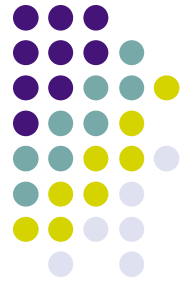
# Interaktive Verkaufskonfiguration (I)



- Interaktion Kunde  $\leftrightarrow$  System: System schlägt Alternativen vor, Kunde kann auswählen
- Meist: Kunde muss Optionen in einer fest vorgegebenen Reihenfolge wählen
- Zielsetzung: Kunde sollte Entscheidungen nur angeboten bekommen, wenn diese zu einem gültigen Produkt führen können.



# Exkurs: Aussagenlogischer Konfigurationsformalismus

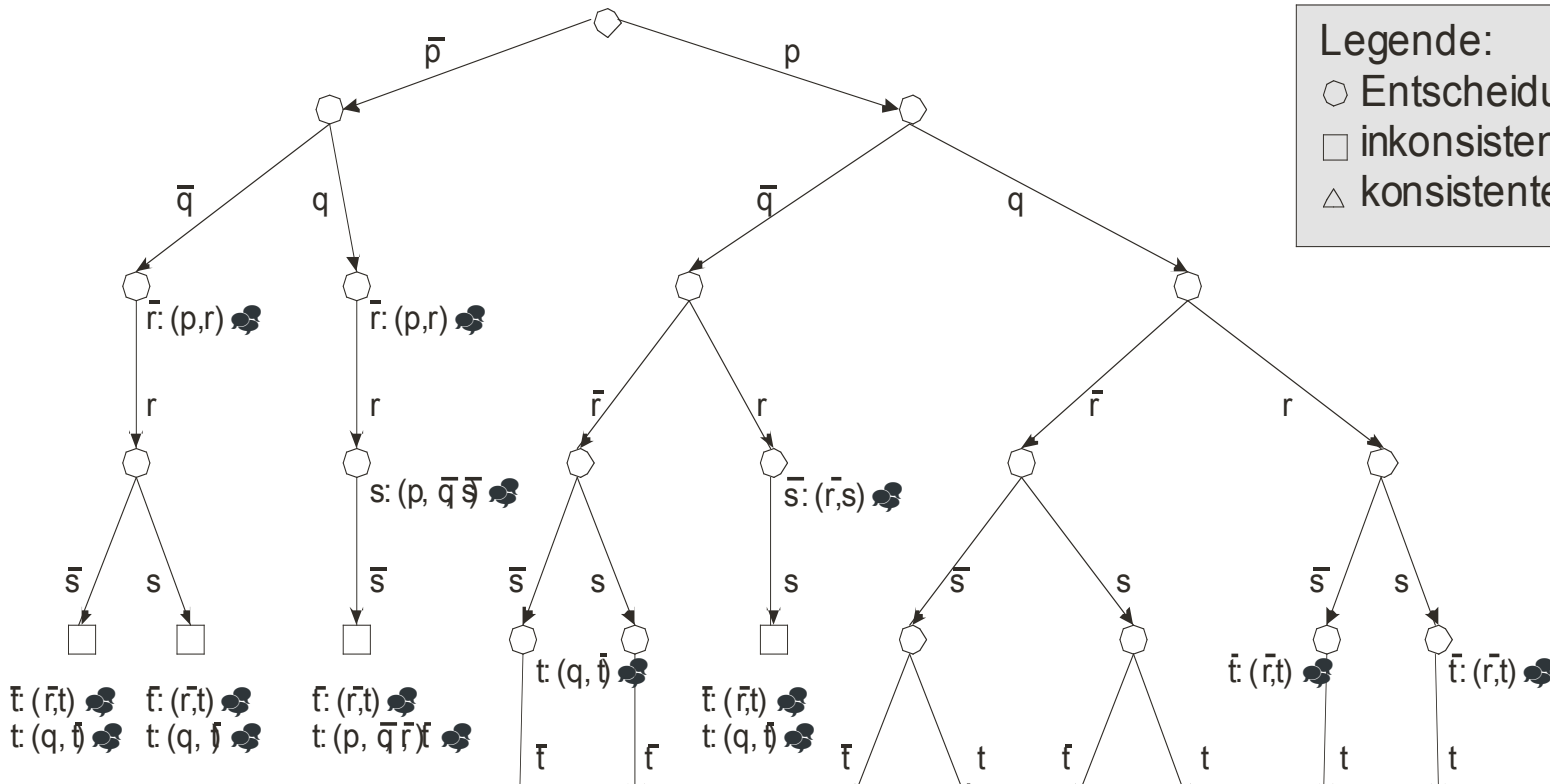
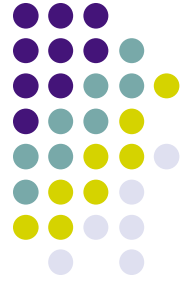


## Im Folgenden: Aussagenlogischer Formalismus

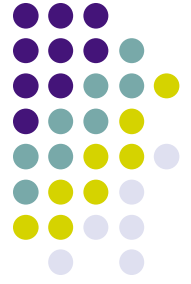
- Eine Formel („Baubarkeitsformel“, meist in CNF) stellt alle *gültigen* (baubaren) und *vollständigen* (nicht weiter zu modifizierenden) Konfigurationen dar.
- Kundenspezifikationen („Aufträge“) werden als partielle Variablenbelegungen verstanden.
- Interaktive Konfiguration erstellt/sucht Modell durch sukzessive Belegung der Variablen.
- Prüfung eines vollständig spezifizierten Auftrags auf Gültigkeit: **Model-Checking** (in Aussagenlogik)
- Prüfung eines partiell spezifizierten Auftrags: **SAT-Checking**



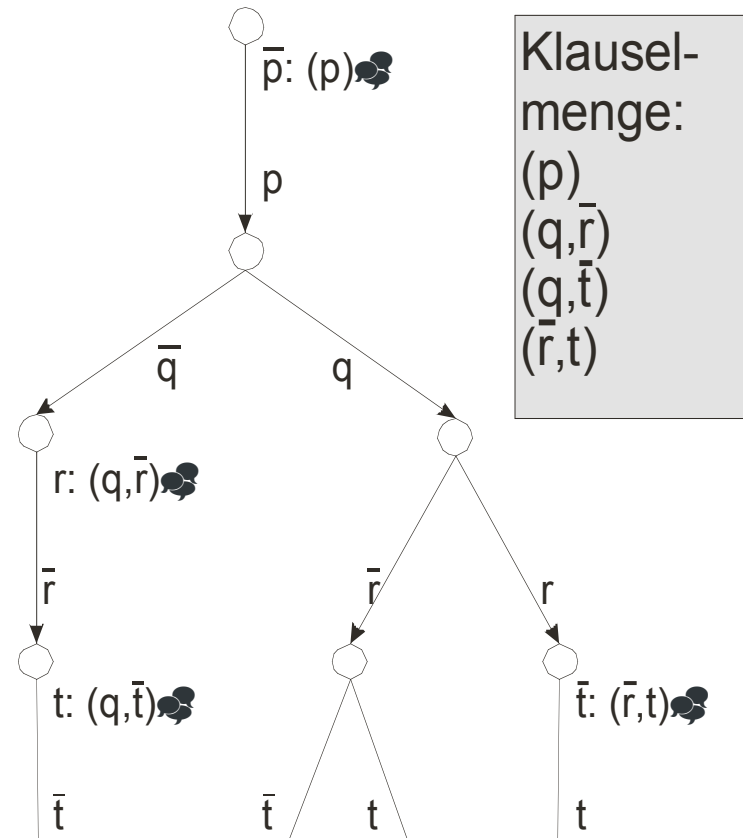
# Interaktive Verkaufskonfiguration (II)

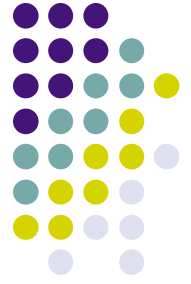


# Interaktive Verkaufskonfiguration (III)



- Bei vorgegebener Konfigurationsreihenfolge  $(p \text{ :: } q \text{ :: } r \text{ :: } s \text{ :: } t)$ :
  - Nicht notwendige Äste abgeschnitten
  - Irrelevante Entscheidungen (s) aus dem Baum entfernt
- Klauselmenge des reduzierten Baums:  
Per *geordneter Resolution* aus ursprünglicher Klauselmenge generiert!





# Geordnete Resolution

- Gewöhnliche (aussagenlogische) Resolutionsregel:

$$\frac{\{p_1, \dots, p_k, r\} \quad \{q_1, \dots, q_l, \bar{r}\}}{\{p_1, \dots, p_k\} \cup \{q_1, \dots, q_l\}} \text{Res}$$

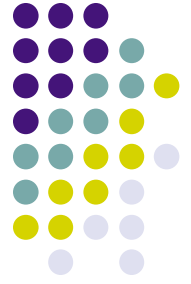
- Geordnete Resolution: Variablenordnung  $\cdot$  gegeben, Klauseln (in aufsteigender R.) geordnet

$$\frac{(p_1, \dots, p_k, r) \quad (q_1, \dots, q_l, \bar{r})}{(s_1, \dots, s_j)} \text{ORes}$$

wobei  $\{s_1, \dots, s_j\} = \{p_1, \dots, p_k\} \cup \{q_1, \dots, q_l\}$ ; d.h. Resolution nur über größtes Literal beider Klauseln möglich.





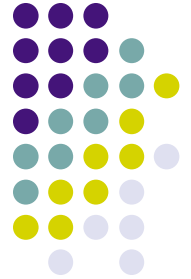


# Geordnete Resolution

- Variablenordnung:  $p :: q :: r :: s :: t$
- Ausgangs-Klauselmenge:  
 $S = \{ (p,r), (q,\neg t), (q,\neg r,s), (\neg r,t), (p,\neg q,\neg s), (p,q,t), (p,\neg q,\neg r,\neg t) \}$
- „Geordnete Resolventen“:  
 $(q,\neg r), (p,q), (p,\neg q,\neg r)$  und  $(p,\neg q)$  und  $(p)$
- Bei Abschluss von  $S$  unter ORes und Subs (Löschen subsumierter Klauseln):  
 $S^* = \{ (p), (q,\neg r), (q,\neg t), (\neg r,t) \}$



# Geordnete Resolution zur interaktiven Konfiguration



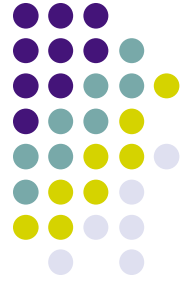
## ***Ergebnis:***

Falls  $S$  abgeschlossen unter ORes (bzgl.  $∴$ ) und Subs, so erfordert Konfiguration in der durch  $∴$  vorgegebenen Ordnung (aufsteigende R.) kein Rückgängigmachen bereits getroffener Entscheidungen (Backtracking).

## ***Fragen:***

Was ist bei anderer Konfigurationsreihenfolge?  
Zusammenhang zu BDDs?



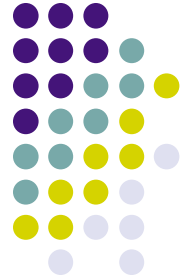


# Vergleich mit BDDs

- BDDs (binäre Entscheidungsdiagramme) stellen Entscheidungsbaum (als reduzierten Grafen) explizit dar.
- Geordnete Resolution ergibt implizite Darstellung des Entscheidungsbaums mittels Klauseln.
- *Vermutung*: Es gibt Formeln, die in der einen Darstellung (bestenfalls) eine exponentiell größere Darstellung haben als in der anderen.



# Andere Konfigurationsreihenfolge?

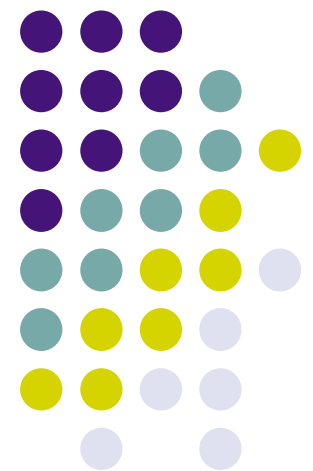


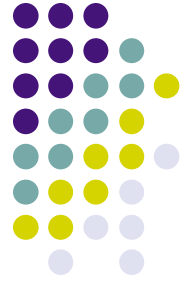
- Auswahl der Optionen nicht gemäß Ordnung ...
- *Triviale Lösung*: Bei Setzen der Variable  $x$  alle Belegungen der Variablen kleiner als  $x$  testen (schlimmstenfalls exponentieller Aufwand).
- *Besser*:  $(x)$  als Unit-Klausel dem Problem hinzufügen, dann wieder Abschluss unter ORes+Subs bilden.



---

Konsistenzprüfung und Wissens-  
Kompilierung



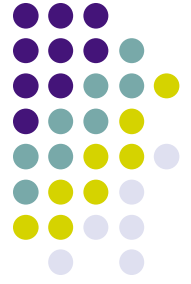


# Konsistenzprüfung

- *Fragestellung*: Ist die Formalisierung aller gültigen Produktvarianten (die *Baubarkeitsformel  $B$* ) korrekt?
- Bei Mercedes-Benz C-Klasse:
  - 1.149 strukturbeschreibende Einschränkungsregeln
  - 18.508 Teile-Selektionsregeln
- Prüfung der Korrektheit anhand einer Vielzahl von Plausibilitätstests der Form  $B \sim E_i$ , wobei  $E_i$  zu prüfende Plausibilitätseigenschaft.
- *Konsequenz*: Große Serie von SAT-Tests der Form  $B \wedge \neg E_i$ , wobei typischerweise  $|B| \ll |E_i|$ .



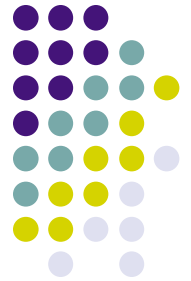
# Exkurs: Wissens-Kompilierung



- Gegeben eine (aussagenlogische) Theorie  $B$ . Wie kann das Folgerungsproblem  $B \sim F$  für die Theorie  $B$  effizient gelöst werden?
- *Idee*: Ersetze  $B$  durch eine äquivalente Theorie  $B'$ , in der das Folgerungsproblem effizient entschieden werden kann.
- *Häufig*:  $F$  Klausel,  $B$  in CNF,  $B'$  gebildet als Menge der Primimplikate von  $B$  (entspricht Abschluss von  $B$  unter Res+Subs)
  - Berechnung aller Primimplikate meist nicht effizient.



# Wissens-Kompilierung mittels geordneter Resolution



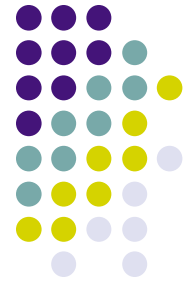
- *Idee*: Bilde Abschluss unter ORes+Subs anstelle von Res+Subs.
- Ordnung  $\cdot\cdot\cdot x\cdot\cdot y$  gdw.  $f(x) > f(y)$ , wobei  $f(v) = (p(v)+1)(n(v)+1)$  [ $p(v)/n(v)$ : #pos./neg. Vork. von  $v$ ]

*Damit:*

- Konsistenz von  $B$  direkt an  $B'$  ablesbar ( $B' = \emptyset?$ ).
- Lösung des Folgerungsproblems  $B \sim F$  durch erneute Abschlussbildung von  $B \wedge \neg F$  und Test auf  $\emptyset$ .







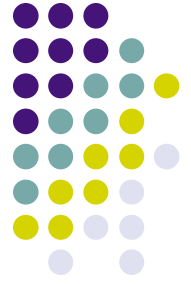
# Experimentelle Ergebnisse

- Kompilierung durch Abschluss unter ORes+Subs für Mercedes-Benz Baureihen:

BR/AA	$n$	$k$	$k_{O+S}$	$t_{O+S}$
C202/FS	698	4954	5186	626,51
C202/FW	734	7290	9394	4092,02
C210/FS	723	4025	4707	484,78
C210/FW	775	5491	6703	1032,57

( $n$ : #Var.,  $k$ : #Klauseln,  $k_{O+S}$ : #Kl. Abschluss,  $t_{O+S}$ : Zeit Berechn.)

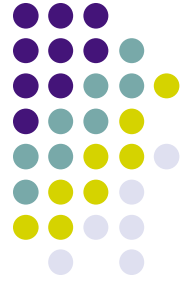




# Aktive Literale (I)

- *Abschätzung*: Wie viele neue Klauseln entstehen durch erneuten Abschluss unter ORes+Subs von  $B \wedge \neg F$ ?
- *Idee*: Welche Literale können als max. Literal in neu gebildeten Klauseln auftreten? ( $\rightarrow$  *aktive Literale*)
- Berechnung über rekursive Formel (in poly. Zeit):  $A(B, F)$  = aktive Literale der unter ORes+Subs abgeschlossenen Klauselmenge  $B$  und der Klausel  $F$ .
- Zusätzlich ist  $\approx \in A(B, F)$ , falls es eine Klausel gibt, deren negierte Literale all aktive Literale sind.





## Aktive Literale (II)

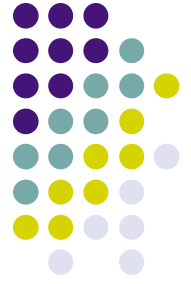
Es gilt (für  $B$  abgeschlossen unter ORes+Subs):

1. Das maximale Literal jeder aus  $B \wedge \neg F$  herleitbaren Klausel ist aktives Literal aus  $A(B, F)$ .
2. Falls  $B \sim F$ , so gibt es einen ORes-Beweis von  $B \wedge \neg F \delta_{\text{ORes}} \approx$ , so dass alle Beweisschritte nach aktiven Literalen aus  $A(B, F)$  resolvieren.
3. Falls  $\approx \notin A(B, F)$ , so gilt  $B \Upsilon F$ .

(Abschätzung der für den Abschluss zusätzlich generierten Klauseln durch *aktive Klauseln*)

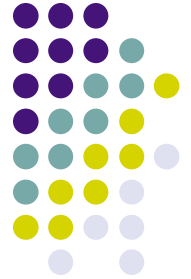


# Aktive Literale (III): Experimentelle Ergebnisse



- Konsistenzprüfung der Mercedes-Benz Produktdokumentation, Baureihe C202/FW
- Test auf unzulässige und notw. Codes:  $B \sim \pm x?$  für alle Variablen  $x$  aus  $B$
- $B$  abgeschlossen unter ORes+Subs
- 42,6% der Beweise (625 von 1468) können durch Kriterium 3 (in polynomieller Zeit) entschieden werden.





# Zusammenfassung

- Industriell relevante Anwendung der Aussagenlogik: *Produktkonfiguration*
- *Geordnete Resolution* sowohl für interaktive Konfiguration als auch zur Konsistenzprüfung geeignet.

Weitere Informationen:

<http://www-sr.informatik.uni-tuebingen.de>

