# YACS: Ein hybrides Framework für Constraint-Solver zur Unterstützung wissensbasierter Konfigurierung

*Wolfgang Runte*

Fachbereich Mathematik / Informatik
Universität Bremen

7. Juni 2006



Technologie-Zentrum Informatik

# Übersicht

- Motivation & Problemstellung
- Vorhandene Systeme
- Eigener Lösungsansatz
- Bewertung
- Zusammenfassung & Ausblick

Universität Bremen

Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

Motivation

# Constraint-Wissen in EngCon

- Repräsentiert Konfigurierungsrestriktionen zwischen Konzepten und Parametern der Begriffshierarchie.
- Sicherstellung der Konsistenz der Konfiguration.
- Propagation von Änderungen in einem Constraint-Netz.
- 3-stufiges Constraint-Modell:
  - Konzeptuelle Constraints
  - Constraint-Relationen
  - Constraint-Netz



Technologie-Zentrum Informatik

Problemstellung

# Problem

- Algebraische Constraints (bzw. Funktions-Constraints) werden in EngCon über einen externen Constraint-Solver propagiert (*tolerance propagation*).
- Eine Eigenlösung mit hoher Modularität hat den Vorteil der besseren Erweiterbarkeit, z.B.:
  - Constraint-Hierarchien
  - Constraint-Relaxierung
  - ...
- Die Effizienz von Constraint-Lösungsverfahren ist abhängig von der Problemstellung (Topologie des Constraint-Netzes).

Universität Bremen

Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

Problemstellung

# Anforderungen an die Problemlösung (1)

Funktionale Anforderungen:

- Berücksichtigung bestehender Schnittstellen und Beibehaltung der Trennung von Kontrolle und Constraint-System (*Black Box*)
- Propagation eines inkrementell anwachsenden Constraint-Netzes
- Verarbeitung von algebraischen Constraints mit finiten und infiniten Domänen (inkl. Intervallarithmetik mit hohem Präzisionsgrad)
- Lösungsverfahren für möglichst „beliebige“ algebraische Constraint-Ausdrücke (numerisch, symbolisch, n-är, nichtlinear, zyklisch)
- Möglichkeit für Kompromiss zwischen Präzision und Effizienz



Technologie-Zentrum Informatik

Problemstellung

# Anforderungen an die Problemlösung (2)

Nichtfunktionale Anforderungen:

- akzeptables Antwortverhalten
- Schnittstelle möglichst in Java (alternativ C/C++)
- Verfügbarkeit für MS Windows

Universität Bremen

Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

Problemstellung

# Zielsetzung

- Entwicklung eines **objektorientierten Frameworks** zur flexiblen Anbindung unterschiedlicher Constraint-Solver resp. Constraint-Lösungverfahren.
- Berücksichtigung von Constraints über **finite** und **infinite** Domänen.
- Vor dem Hintergrund der Konfigurierung ist jeweils abzuwägen, **welcher Solver** für **welche Constraints** zum Einsatz kommt.
- Ablaufsteuerung, Lösungsverfahren und Schnittstellen sehen **inkrementelle** Constraint-Verarbeitung vor.



Technologie-Zentrum Informatik

# Übersicht

- Motivation & Problemstellung
- **Vorhandene Systeme**
- Eigener Lösungsansatz
- Bewertung
- Zusammenfassung & Ausblick

Universität Bremen

Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

Vorhandene Systeme

# Constraint-Systeme

**Integrierte Constraint-Solver:**

- Prolog II
- CLP(R)
- CHIP
- Prolog III
- BNR Prolog
- SICStus Prolog
- CAL, GDCC
- CLP(Intervals): CLP(BNR), Interlog, CIAL, Prolog IV, ECLiPSe, DecLIC, CLIP, Newton, Numerica
- CLP(FD), GNU Prolog

**Bibliotheken:**

- Cassowary
- ILOG Solver / ILOG JSolver
- UniCalc
- ALIAS
- RealPaver
- C-Lib, Java Constraint Library (JCL)
- Declarative Java (DJ)
- Koalog Constraint Solver (KCS)
- J.CP
- IASover

**Frameworks:**

- BackTalk
- GIFT
- POOC
- Constraint Handling Rules (CHR)
- Java Constraint Kit (JACK)



Technologie-Zentrum Informatik

Vorhandene Systeme

# Constraint-Bibliotheken

| | FD | IN | RW | IS | RE | HO | NL | IK | KO | QC | SP | MS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cassowary | - | - | X | X | X | X | - | X | - | X | Java | X |
| ILOG Solver | X | X | (X) | X | X | X | X | - | X | - | C++ | X |
| ILOG JSolver | X | - | - | X | X | - | - | X | X | - | Java | X |
| UniCalc | - | X | - | X | X | X | X | - | X | - | C | X |
| ALIAS | - | X | - | X | X | X | X | - | - | - | C++ | - |
| RealPaver | - | X | - | X | X | X | X | - | - | X | C++ | X |
| C-Lib | X | - | - | - | X | - | - | - | - | X | C | X |
| JCL | X | - | - | X | X | - | - | - | - | X | Java | X |
| DJ | X | - | - | X | X | X | - | - | - | - | Java | X |
| KCS | X | - | - | X | - | X | - | - | X | - | Java | X |
| J.CP | X | - | - | X | - | X | - | X | - | - | Java | X |
| IASolver | - | X | - | X | X | X | X | - | - | X | Java | X |

FD : finite Domänen
IN : reellwertige Intervalldomänen
RW : reellwertige Domänen
IS : intensionale Constraints
RE : beliebige Relationen möglich
HO : *n*-äre Constraints
NL : nichtlineare Constraints
IK : Inkrementalität
KO : kommerzielle Bibliothek
QC : Quellcode verfügbar
SP : Sprache der Schnittstelle
MS : für Microsoft Windows verfügbar

Universität Bremen

Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

Vorhandene Systeme

# Evaluierung

- **integrierte Solver / CLP-Systeme:** schwer adaptierbar, hoher Integrationsaufwand (deklarative Schnittstelle, Overhead), vorrangig für spezielle *global constraints*, oftmals keine Java-Schnittstelle
- **Bibliotheken:** kein System erfüllt vollständig die relevanten Anforderungen (vgl. Tabelle)
- **Frameworks**: nicht in Java/C/C++ verfügbar (*BackTalk*), reine Schnittstelle (*GIFT*) oder CLP bzw. deklarativ (*POOC*, *CHR*, *JACK*), zudem lediglich meist sehr simple Lösungsverfahren bzw. eingeschränkte Funktionalität
- **kooperative Ansätze:** entweder statisch und damit unflexibel oder flexibel, aber mit hohem Overhead durch Koordinierung
- **Fazit:** Eigenentwicklung eines OOP-Frameworks mit integrierten Constraint-Lösungsverfahren



Technologie-Zentrum Informatik

# Übersicht

- Motivation & Problemstellung
- Vorhandene Systeme
- **Eigener Lösungsansatz**
  - Analyse bestehender Verfahren
  - Konzeption eines *Frameworks*
  - Realisierung des Prototypen
- Bewertung
- Zusammenfassung & Ausblick

Lösungsansatz (Analyse)

# Constraint-Lösungsverfahren (1)

### Klassische Constraint Satisfaction Probleme (CSP)

- **Konsistenzverfahren:**
  - *node consistency* (NC), *arc consistency* (AC), *path consistency* (PC), *k-consistency* (vgl. Montanari '74; Walz '75; Mackworth '77a; Freuder '78; Mohr u. Henderson '86; Van Hentenryck et al. '92; Bessière u. Cordier '93; Bessière '94a; Bessière et al. '95, 1999a; Chmeiss u. Jégou '96a,b, '98; Bessière u. Régin '01a,b; Zhang u. Yap '01; van Dongen '02a,b; ...)
  - *(i,j)-consistency*, *inverse consistency*, *path inverse consistency*, *neigborhood inverse consistency* (vgl. Freuder '85, Freuder u. Elfe '96, Debruyne '00)
  - *lazy arc consistency* (LAC) (vgl. Schiex et al. '96)
  - *directional arc consistency* (DAC), *directional path consistency* (DPC), *adaptive consistency* (vgl. Dechter u. Pearl '87)
  - *restricted path consistency* (RPC) (vgl. Berlandier '95; Debruyne u. Bessière '97a; Debruyne '98)
  - *singleton consistency* (vgl. Debruyne u. Bessière '97b; Prosser et al. '00)
- **Suchverfahren:**
  - allgemeine Suchstrategien: *generate & test* (GT), chronologisches *backtracking* (BT) (vgl. Bittner u. Reingold '75; ...)
  - *look-back*-Strategien: *backjumping* (BJ), *graph-based backjumping* (GBJ), *conflict-directed backjumping* (CBJ), *backchecking* (BC), *backmarking* (BM) (vgl. Gaschnig '79; Haralick u. Elliot '80; Dechter '90a; Prosser '93b; Dechter u. Frost '02; ...)
  - *look-ahead*-Strategien: *forward checking* (FC), *partial look-ahead* (PLA), *full look-ahead* (FLA), *maintaining arc consistency* (MAC) (vgl. Haralick u. Elliot '80; Sabin u. Freuder '94a,b; Grant u. Smith '96; Frost u. Dechter '96a,b; Bessière u. Régin '96; Sabin u. Freuder '97; Gent u. Prosser '00; ...)
  - hybride Verfahren: BMJ, BM-CBJ, FC-BM, FC-CBJ, FC-BM-CBJ, MAC-CBJ (vgl. Bessière u. Régin '96; Chen u. van Beek '01; Grant u. Smith '96; Prosser 93a,b; Prosser 95a,b; ...)



Technologie-Zentrum Informatik

Lösungsansatz (Analyse)

# Constraint-Lösungsverfahren (2)

### ... Fortsetzung: Klassische Constraint Satisfaction Probleme (CSP)

- **Ordnungsheuristiken:**
  - Variablenordnungsheuristiken: *fail first*, *minimal width ordering*, *maximum cardinality ordering*, *maximum degree ordering*, *minimal bandwidth ordering* (vgl. Haralick u. Elliot '80; Dechter u. Meiri '94; Frost u. Dechter '94, '95; ...)
  - Werteordnungsheuristiken: *min-conflicts*, *max-domain-size*, *weighted-max-domain-size*, *point-domain-size* (vgl. Minton et al. '92; Frost u. Dechter '95; ...)

### Intervall Constraint Satisfaction Probleme (ICSP)

- *interval splitting* (vgl. Cleary '87)
- *label inference* (vgl. Davis '87)
- *tolerance propagation* (vgl. Hyvönen '89; Hyvönen '91; Hyvönen '92)
- *2B-, 3B-, kB-consistency* / *hull consistency* (vgl. Lhomme '93; Lhomme et al. '96, '98; Bordeaux et al. '01; Lebbah u. Lhomme '98, '02; ...)
- *box consistency* (vgl. Benhamou et al. '94; Van Hentenryck et al. '95, '97; Puget u. Van Hentenryck '96, '98; Collavizza et al. '98, '99; Benhamou et al. '99a; Granvilliers et al. '99; ...)
- $2^k$*-trees* (vgl. Haroud u. Faltings '94; Sam-Haroud '95, Sam-Haroud u. Faltings '96a,b; ...)

Lösungsansatz (Konzeption)

# Flexibilität

- Flexibilität durch strategiebasierte Constraint-Verarbeitung.
- Einteilung des Lösungsprozesses in Phasen:
  1. Preprozessing
  2. Konsistenzherstellung
  3. Lösungssuche

| | |
|---|---|
| 1 | Preprozessing |
| 2 | Konsistenzherstellung |
| 3 | Lösungssuche |

- Beispiele für Constraint-Lösungsstrategien:

| | |
|---|---|
| 1 | - |
| 2 | Kantenkonsistenz |
| 3 | Forward Checking |

| | |
|---|---|
| 1 | Binärisierung |
| 2 | (1) Knotenkonsistenz<br>(2) Kantenkonsistenz |
| 3 | konfliktbasiertes Backjumping |

| | |
|---|---|
| 1 | Zerlegung in primitive Constraints |
| 2 | Hull-Konsistenz |
| 3 | - |

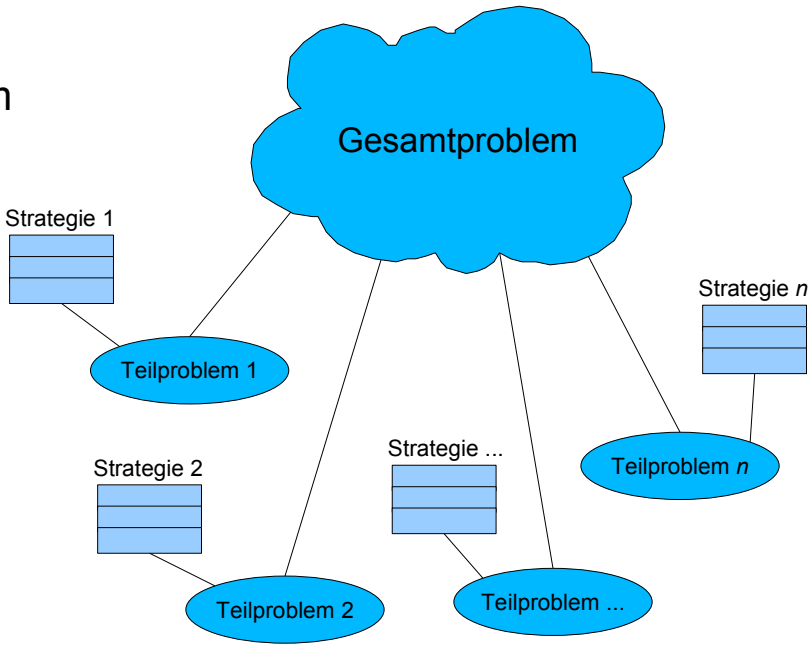


Technologie-Zentrum Informatik

Lösungsansatz (Konzeption)

# Abstraktion durch Strategien (1)

- Jedes Constraint wird vom Wissensingenieur mit einer geeigneten Lösungsstrategie assoziiert.
- Zugehörigkeit einzelner Constraints zu Lösungsstrategien führt zur Bildung von Teilproblemen.



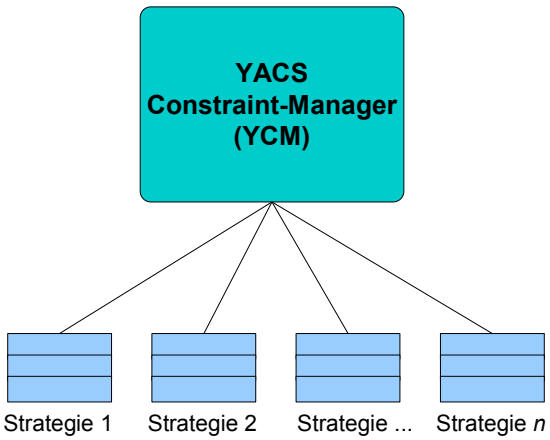

Universität Bremen

Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

Lösungsansatz (Konzeption)

# Abstraktion durch Strategien (2)

- *Constraint-Manager* verwaltet und steuert, welche Teilprobleme von welcher Strategie verarbeitet werden sollen (*phasenweise*).
- Es müssen keine Lösungsalgorithmen sondern *Lösungsstrategien* zur Constraint-Verarbeitung ausgewählt werden.
- Einfache Austauschbarkeit von Lösungsverfahren ist gewährleistet.








Lösungsansatz (Konzeption)

# Modularität

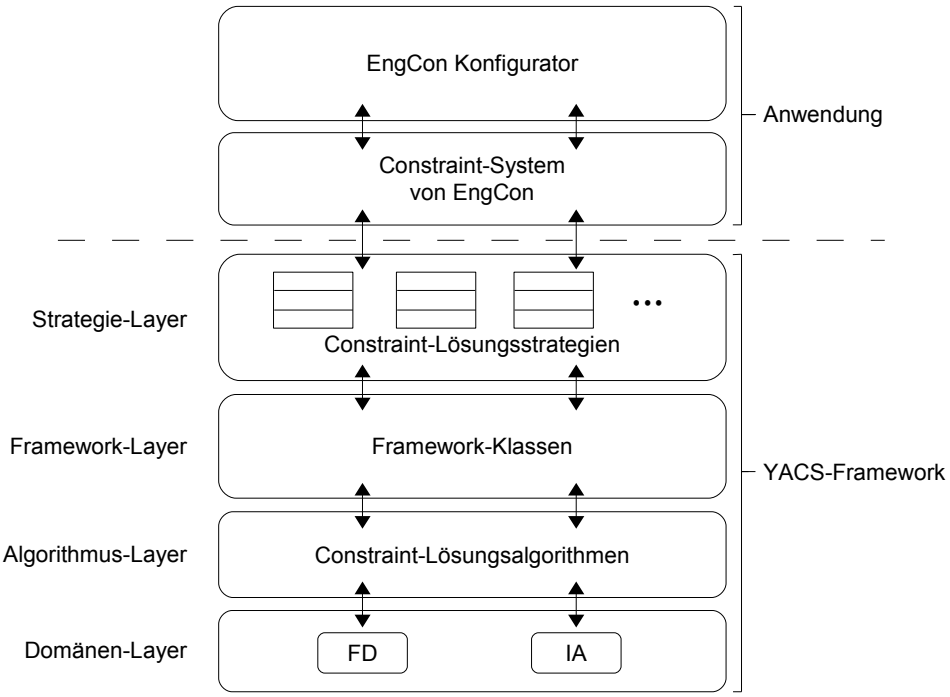
- Modularität durch objektorientierte *Framework*-Architektur.
- Objektorientierte Frameworks: Steigerung der Wiederverwendbarkeit durch OOP-Techniken. (Johnson '97a, b; Gamma et al. '96)
- Code- und Designwiederverwendung

Frameworks = (Components + Patterns)

- Spezialisierung abstrakter Klassen für konkrete Anwendungen (Constraint-Solver, Variablen, Domänen, etc.) → Erweiterbarkeit.
- Allgemeiner Kontrollzyklus wird durch das Framework vorgegeben.
- Einheitliche Schnittstellen erlauben flexiblen Austausch von Constraint-Lösungsverfahren.

Lösungsansatz (Konzeption)

# Systemarchitektur








Lösungsansatz (Realisierung)

# Umsetzung

- JAVA-Implementierung: „YACS“ (*Yet Another Constraint Solver*)
- Prototypische Integration in *EngCon V0*:
  - Propagation des Constraint-Netzes während der Konfigurierung möglich (finite/infinite Domänen)
  - minimale Anpassung vorhandener Constraints (Erweiterung um den Namen der jeweiligen Constraint-Lösungsstrategie)
- Implementierung einer Reihe von *synthetischen* Problem-stellungen zu Test- und Demonstrationszwecken *(YacsTester)*:
  - Testen von Constraint-Lösungsverfahren
  - Funktionalität von YACS aufzeigen

Lösungsansatz (Realisierung)

# Prototyp

- Prototyp „YACS“:
  - unterstützt inkrementell anwachsendes Constraint-Netz
  - erlaubt teilproblemübergreifende Metapropagation (ausschließlich innerhalb derselben Domäne)
  - beinhaltet eine modulare Bibliothek von Lösungsalgorithmen (NC, AC, BT, MAC, Hull-Konsistenz, Werteordnungsheuristik *dom/deg*)
  - stringbasierte Schnittstelle für Constraints (JLex/CUP-Parser)
  - Constraint-Lösungsstrategien lassen sich unabhängig vom Programmcode innerhalb einer XML-Datei verwalten
  - im Internet verfügbar (LGPL):
    `http://www.sourceforge.net/projects/constraints`



Technologie-Zentrum Informatik

# Übersicht

- Motivation & Problemstellung
- Vorhandene Systeme
- Eigener Lösungsansatz
- **Bewertung**
- Zusammenfassung & Ausblick

Universität Bremen

Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

Bewertung

# Vorteile von YACS

- hybrides System
- inkrementelle Constraint-Verarbeitung
- Flexibilität durch Constraint-Lösungsstrategien
- Modularität durch Framework-Architektur
- stringbasierte Schnittstelle

Eigenschaften (wenn vorhanden) bei vergleichbaren Systemen nicht innerhalb eines Systems vereint.





Bewertung

# Vorteile für *encoway* (1)

- vollwertige Constraint-Verarbeitung mit allen sich daraus ergebenen Vorteilen
  - *ungerichtet* → multidirektionale Auswertung
  - *Black-Box*-Prinzip
  - leistungsfähige dynamische und generische Constraint-Komponente in EngCon bereits vorhanden (u.a. *Pattern-Matching*)
  - größere Marktdurchdringung durch aktuelle Technologien
- strategische Vorteile einer Eigenlösung („Unabhängigkeit“)
- keine Lizenzkosten für externe Constraint-Komponente
  - Produkte lassen sich zu einem anderen Preis anbieten
- *Know-How* für Erweiterungen/Optimierungen vor Ort

Bewertung

# Vorteile für *encoway* (2)

- Flexibilität/Modularität: beschleunigter Entwicklungsprozess
- einfache Nutzung der Implementierung (Akzeptanz):
  - stringbasierte Constraint-Schnittstelle
  - XML-Strategien
- YACS liegt im Quellcode vor:
  - erweiterbar
  - adaptierbar
  - skalierbar
- JAVA-Implementierung ist einfach integrierbar und plattformunabhängig



Technologie-Zentrum Informatik

Bewertung

# Vorteile für den Kunden

- niedrigere Kosten
  - weil Eigenlösung / keine Lizenzkosten (insbes. „Massenlizensierung“)
- beschleunigte Produktentwicklung
  - individualisierte, problemabhängige Solver (Flexibilität/Modularität)
- leistungsfähigeres System
  - angepasst an die jeweilige Problemstellung
  - effizientere Konfigurierung durch effiziente Solver
  - Verarbeitung spezieller Constraint-Domänen möglich
  - Skalierbarkeit

# Übersicht

- Motivation & Problemstellung
- Vorhandene Systeme
- Eigener Lösungsansatz
- Bewertung
- **Zusammenfassung & Ausblick**



Technologie-Zentrum Informatik

# Zusammenfassung

- Ersetzung des externen Constraint-Solvers für algebraische Constraints des strukturbasierten Konfigurierungswerkzeugs EngCon.
- Entwicklung eines *objektorientierten Frameworks* für Constraint-Solver für den problemabhängigen und anwendungsspezifischen Einsatz von Constraint-Lösungsmethoden (auch außerhalb von EngCon).
- Unterstützung von Constraints über finite und infinite Domänen:
  - endliche & diskrete Wertebereiche
  - unendliche & kontinuierliche Wertebereiche (reellwertige Intervalle)
- *Modularität* durch objektorientierte Framework-Architektur (schlanke, einheitliche Schnittstellen, Erweiterbarkeit).
- *Flexibilität* durch strategiebasierten Ansatz (einfache Austauschbarkeit der Constraint-Lösungsverfahren, phasenweiser Lösungsprozess).

# Ausblick

**„Produktreife“:**

- Integration in aktuellen Konfigurator
- Methoden verfeinern (Constraint-Lösungsverfahren)
- Testen
- Dokumentieren

**Erweiterungen:**

- heterogene Constraint-Verarbeitung und *Meta*-CSPs (Erweiterung bzw. Entlastung der Konfigurierungs-Engine)
- Parallelisierung (verteilte Constraint-Verarbeitung)
- Constraint-Relaxierung
- Constraint-Hierarchien
- Intervallarithmetik erweitern (unterbrochene/offene Intervalle)
- ...



Technologie-Zentrum Informatik

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Universität Bremen
Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

# Literatur (1)


- **Benhamou et al. 1994** Benhamou, Frédéric ; McAllester, David ; Van Hentenryck, Pascal: CLP(Intervals) Revisited. In: Bruynooghe, Maurice (Hrsg.): Logic Programming, Proceedings of the 1994 International Symposium (ILPS'94), Ithaca, New York, USA, 13.–17. November 1994. Cambridge, Massachusetts, USA : The MIT Press, 1994, S. 124–138. – ISBN 0-262-52191-1
- **Cleary 1987** Cleary, John G.: Logical Arithmetic. In: Future Computing Systems 2 (1987), Nr. 2, S. 125–149. – ISSN 0266-7207
- **Cunis und Günter 1991** Cunis, Roman ; Günter, Andreas: PLAKON – Übersicht über das System. In: Cunis, Roman (Hrsg.) ; Günter, Andreas (Hrsg.) ; Strecker, Helmut (Hrsg.): Das PLAKON-Buch, Ein Expertensystemkern für Planungs- und Konfigurierungsaufgaben in technischen Domänen. Berlin, Heidelberg, New York : Springer Verlag, 1991 (Informatik-Fachberichte, Subreihe Künstliche Intelligenz 266), Kap. 4, S. 37–57. – ISBN 3-540-53683-3
- **Davis 1987** Davis, Ernest: Constraint Propagation with Interval Labels. In: Artificial Intelligence 32 (1987), Juli, Nr. 3, S. 281–331. – ISSN 0004-3702




Technologie-Zentrum Informatik

# Literatur (2)


- **Dechter und Frost 2002** Dechter, Rina ; Frost, Daniel: Backjump-based Backtracking for Constraint Satisfaction Problems. In: Artificial Intelligence 136 (2002), April, Nr. 2, S. 147–188. – ISSN 0004-3702
- **Freuder 1978** Freuder, Eugene C.: Synthesizing Constraint Expressions. In: Communications of the ACM (CACM) 21 (1978), November, Nr. 11, S. 958–966. – ISSN 0001-0782
- **Gamma et al. 1996** Gamma, Erich ; Helm, Richard ; Johnson, Ralph ; Vlissides, John: Entwurfsmuster – Elemente wiederverwendbarer objektorientierter Software. 1. Aufl. München : Addison-Wesley, 1996. – xx + 479 S. – ISBN 3-89319-950-0
- **Johnson 1997a** Johnson, Ralph E.: Components, Frameworks, Patterns. In: Harandi, Medhi (Hrsg.): Proceedings of the 1997 Symposium on Software Reusability (SSR'97), Boston, Massachusetts, USA, 17.–20. Mai 1997. New York, NY, USA : ACM Press, 1997, S. 10–17. – ISBN 0-89791-945-9
- **Johnson 1997b** Johnson, Ralph E.: Frameworks = (Components + Patterns). In: Communications of the ACM (CACM) 40 (1997), Oktober, Nr. 10, S. 39–42. – ISSN 0001-0782

# Literatur (3)


- **Haralick und Elliot 1980** Haralick, Robert M. ; Elliot, Gordon L.: Increasing Tree Search Efficiency for Constraint Satisfaction Problems. In: Artificial Intelligence 14 (1980), Oktober, Nr. 3, S. 263–313. – ISSN 0004-3702
- **Hyvönen 1992** Hyvönen, Eero: Constraint Reasoning Based on Interval Arithmetic: The Tolerance Propagation Approach. In: Artificial Intelligence 58 (1992), Dezember, Nr. 1–3, S. 71–112. – ISSN 0004-3702
- **Lhomme 1993** Lhomme, Olivier: Consistency Techniques for Numeric CSPs. In: Bajcsy, Ruzena (Hrsg.): Proceedings of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'93), Chambéry, France, 28. August – 3. September 1993. San Mateo, California, USA : Morgan Kaufmann Publishers, 1993, S. 232–238. – ISBN 1-55860-300-X
- **Mackworth 1977** Mackworth, Alan K.: Consistency in Networks of Relations. In: Artificial Intelligence 8 (1977), Februar, Nr. 1, S. 99–118. – ISSN 0004-3702
- **Montanari 1974** Montanari, Ugo: Networks of Constraints: Fundamental Properties and Applications to Picture Processing. In: Information Sciences 7 (1974), S. 95–132. – ISSN 0020-0255




Technologie-Zentrum Informatik

# Literatur (4)


- **Sam-Haroud 1995** Sam-Haroud, Jamila: Constraint Consistency Techniques for Continuous Constraints. Lausanne, Switzerland, Swiss Federal Institute of Technology (EPFL), PhD Thesis No. 1423, 1995. – xviii + 178 S.
- **Sam-Haroud und Faltings 1996** Sam-Haroud, Djamila ; Faltings, Boi V.: Consistency Techniques for Continuous Constraints. In: Constraints, An International Journal 1 (1996), September, Nr. 1–2, S. 85–118. – ISSN 1383-7133
- **Waltz 1975** Waltz, David L.: Understanding Line Drawings of Scenes with Shadows. In: Winston, Patric Henry (Hrsg.): The Psychology of Computer Vision. New York, NY, USA : McGraw-Hill, 1975, S. 19–91. – ISBN 0-07-071048-1

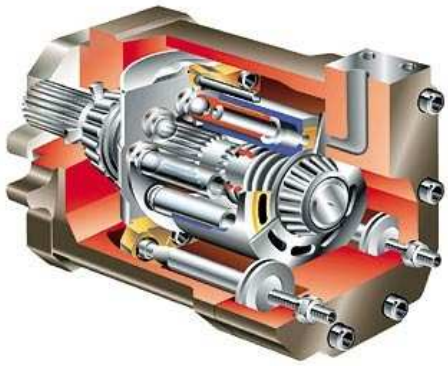
Motivation

# Konfigurierung (1)

- Beherrschung komplexer Systeme
- Fehlerminimierung durch konsistente Lösungen
- Beschleunigung der Angebotserstellung
- höhere Qualität der Lösungen

Beispiele:

- Antriebssysteme
- Gebäude
- Küchen
- PCs
- ...







Motivation

# Konfigurierung (2)

Konfigurieren ist das Zusammenfügen von Einzelkomponenten in einer Sequenz von einzelnen Konfigurierungsschritten zu einer Gesamtlösung, genannt *Konfiguration* (vgl. Cunis und Günter 1991).

Gekennzeichnet durch:

- großer Lösungsraum bei variantenreichen Produkten
- Rücknahme von Entscheidungen
- Behandlung von komplexen Abhängigkeiten

Motivation

# Konfigurierung (2)

Konfigurieren ist das Zusammenfügen von Einzelkomponenten in einer Sequenz von einzelnen Konfigurierungsschritten zu einer Gesamtlösung, genannt *Konfiguration* (vgl. Cunis und Günter 1991).

Gekennzeichnet durch:

- großer Lösungsraum bei variantenreichen Produkten
- Rücknahme von Entscheidungen
- **Behandlung von komplexen Abhängigkeiten**



Technologie-Zentrum Informatik

# Methoden zur Konfigurierung

- regelbasiertes Konfigurieren
- strukturbasiertes Konfigurieren
- constraint-basiertes Konfigurieren
- ressourcenbasiertes Konfigurieren
- fallbasiertes Konfigurieren
- verhaltensbasiertes Konfigurieren

Verfahren sind selten in „Reinform“ anzutreffen – meistens Kombination mehrer Methoden

# Konfigurierungssysteme

- R1/XCON
- SICONFEX
- MMC-CON
- ALL-RISE

- ConBaCon
- CAWICOMS

- PlaKon
- KonWerk
- EngCon

- CAS-Konfigurator
- Cameleon EPOS
- camos.Configurator
- COMIX
- COSMOS
- KIKon
- SAP SCE
- Baan SalesPlus
- Tacton Configurator
- Lava
- ILOG (J)Configurator



Technologie-Zentrum Informatik

# EngCon: Historie

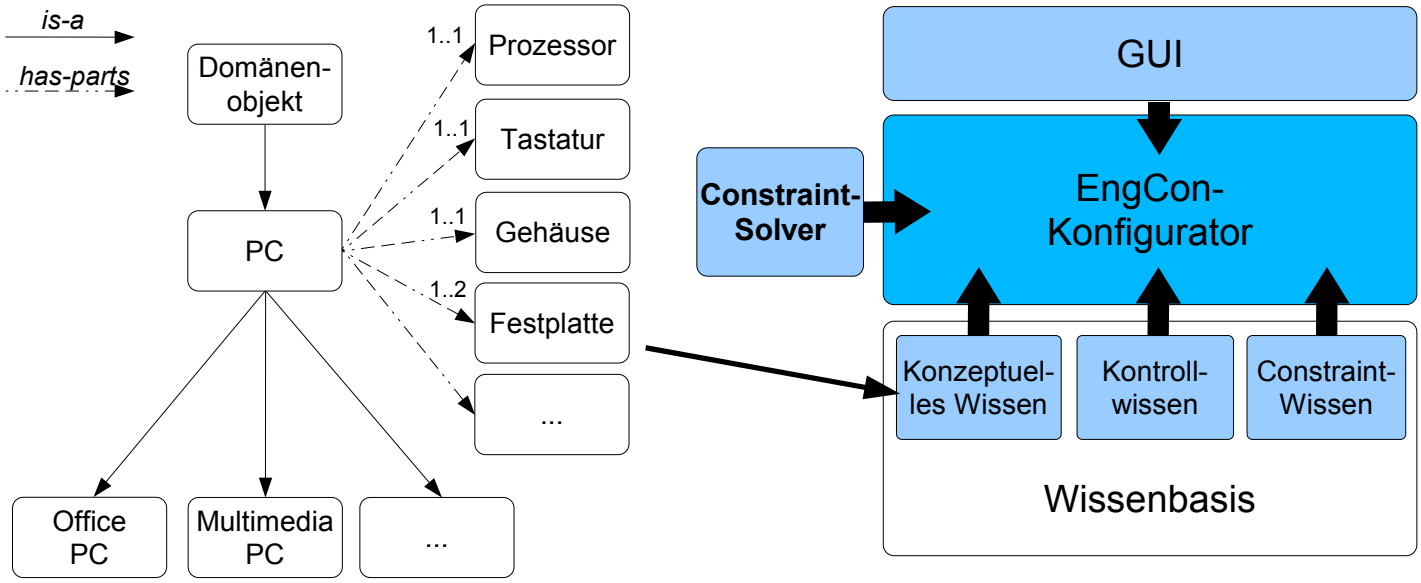
- Vorgänger: *Plakon*, *Konwerk*, entwickelt (u.a.) an der Universität Hamburg mit Unterstützung des BMBF
- prototypische Umsetzung auf moderne *JAVA*-Umgebung durch das TZI
- Überführung in ein Produkt durch die encoway GmbH: „Drive Solution Designer“ (DSD)
- Auszeichnung des DSD mit dem „Innovative Applications of Artificial Intelligence (IAAI) Award 2002“ der *American Association for Artificial Intelligence* (AAAI)
- Erfolgsmodell „Technologietransfer“

Universität Bremen

Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

Motivation

# Konfigurierung in EngCon

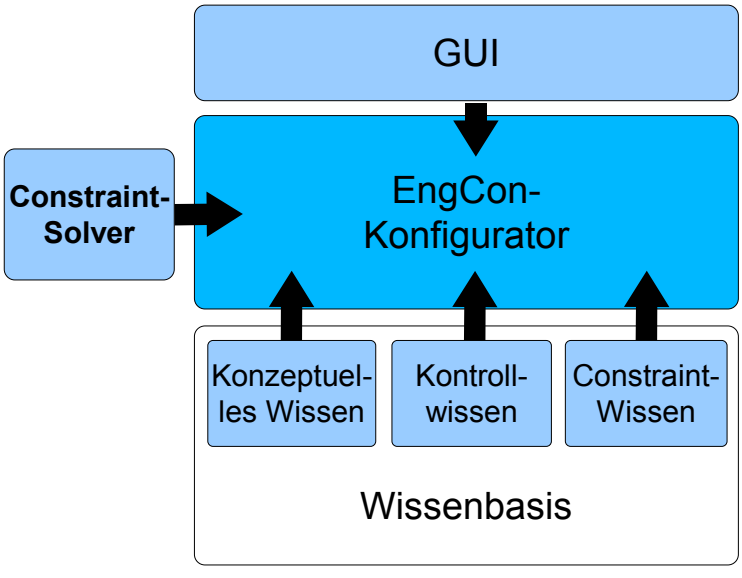






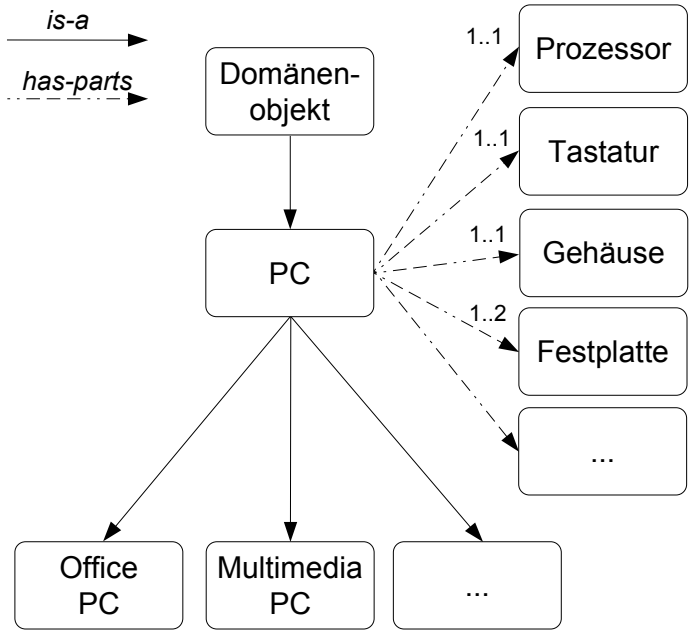

# EngCon: Architektur

- domänenunabhängiges, *strukturbasiertes* Konfigurierungswerkzeug
- Bildung von Inferenzen aufgrund der wissens-basierten (hybriden) Architektur des Systems
- inkrementeller, interaktiver Konfigurierungsverlauf, der zu *einer* Lösung führt (Tiefensuche)



# EngCon: Konzeptuelles Wissen

- Ontologie für die abstrakte Repräsentation der Struktur aller Lösungen des Konfigurierungsproblems
- *Closed-World-Assumption*
- Konzepte stehen über *is-a* und *has-parts* Beziehungen in Relation
- Spezialisierungshierarchie / Taxonomie
- Zerlegungshierarchie / Partonomie








# EngCon: Kontrollwissen

- Kontrollmechanismus „interpretiert“ die Begriffshierarchie (*Begriffshierarchie-orientierte Kontrolle*)
- agendabasierte Steuerung der Suche im Lösungsraum
- Unterteilung in Phasen mittels „Strategien“
- Kontrollzyklus:
  1. Analyse der aktuellen Teilkonfiguration
  2. Konfigurierungsschritt auswählen
  3. Bearbeitungsverfahren anwenden — spezialisieren, zerlegen, parametrieren
  4. Propagation des Constraint-Netzes

Motivation

# Konzeptuelle Constraints

- Zuordnung der Constraint-Relationen zu den Instanzen des Konfigurierungsprozesses.
- Instantiierungsregeln / Bindungsmuster in Form von *Variablen-Pattern-Paaren.*
- *Ein Pattern-Matcher* überprüft für neue Konzept-Instanzen, ob ein Variablen-Pattern-Paar erfüllt wird und instantiiert ggf. die entsprechenden Constraint-Relationen.

```
(def-konzeptuelles-constraint
    :name                      conc_AGP_Mainboard
    :variablen-pattern-paare ((?v :name VGA_Card
                                  :parameter((Bus 'agp)))
                              (?m :name Mainboard))
    :constraint-aufrufe       ((func_AGP_Mainboard (?m AGP_Slot))))
```





Motivation

# Constraint-Relationen

- **Funktions-Constraints**
  Als (Un-)Gleichung formalisierte komplexe, funktionale Zusammenhänge.

```
A = 150 * B
```

- **Extensionale Constraints / Tupel-Constraints**
  Aufzählung von Tupel aller möglichen Wertebereiche (relationale Abhängigkeit).

| M_FSB | P_FSB | S_FSB |
|---|---|---|
| 66 | 66 | 66 |
| 66 | 66 | 100 |
| 66 | 66 | 133 |
| 100 | 100 | 100 |
| 100 | 100 | 133 |
| 133 | 133 | 133 |

- **Java-Constraints**
  Als *JAVA*-Methode implementierte „prozedurale Constraints“ für „beliebige“ Berechnungen.

```
public static Vector setEqual(Vector a){
  if(a != null){
    if(a.size() != oldVector.size()){
      if(a.size() < oldVector.size())
        return a;
    }
  }
  return oldVector;
}
```

Motivation

# Constraint-Relationen

- **Funktions-Constraints**
  Als (Un-)Gleichung formalisierte komplexe, funktionale Zusammenhänge.

```
A = 150 * B
```

- **Extensionale Constraints / Tupel-Constraints**
  Aufzählung von Tupel aller möglichen Wertebereiche (relationale Abhängigkeit).

| M_FSB | P_FSB | S_FSB |
|---|---|---|
| 66 | 66 | 66 |
| 66 | 66 | 100 |
| 66 | 66 | 133 |
| 100 | 100 | 100 |
| 100 | 100 | 133 |
| 133 | 133 | 133 |

- **Java-Constraints**
  Als *JAVA*-Methode implementierte „prozedurale Constraints“ für „beliebige“ Berechnungen.

```
public static Vector setEqual(Vector a){
  if(a != null){
    if(a.size() != oldVector.size()){
      if(a.size() < oldVector.size())
        return a;
    }
  }
  return oldVector;
}
```

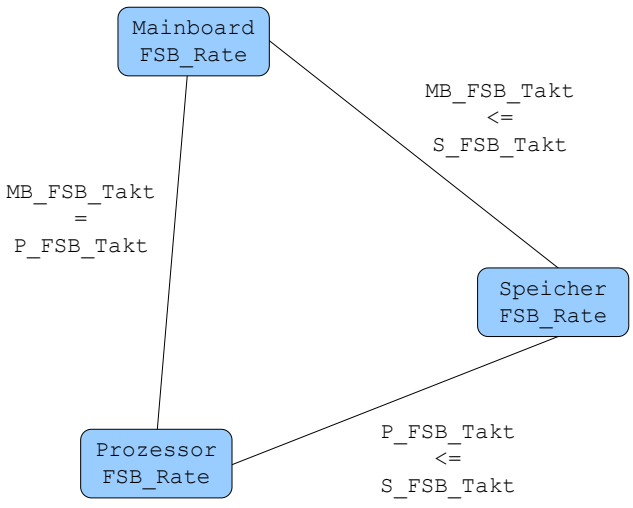




Motivation

# Constraint-Netz

- Inkrementeller Aufbau durch sukzessives instantiieren der Constraint-Relationen durch den *Pattern-Matcher.*
- Propagation der Wertebereiche der Constraint-Variablen bei jedem Konfigurierungszyklus.
- Sicherstellung der Konsistenz, d.h. die Domänen der Constraint-Variablen dürfen nur gültige Wertebereiche bzgl. der sie enthaltenen Constraints aufweisen.



# Eigenschaften von Constraints

- finite und infinite Domänen
- symbolische und numerische Wertebereiche
- Größe eines Problems (Anzahl Variablen/Constraints)
- Stelligkeit eines Constraints (unär, binär, ternär, ..., *n*-är)
- Struktur eines Constraint-Netzes:
  - Constraint-Dichte (*high density* vs. *low density*)
  - Beschränkungsgrad (*constrainedness, tightness*), wird durch die Lösungsdichte definiert (*loosely constrainedness* vs. *tightly constrainedness*)
  - Schwierigkeitsgrad (*hardness* vs. *easyness*), abhängig vom gewünschten Ergebnis und den eingesetzten Lösungsverfahren
- unterbestimmte, überbestimmte und wohlbestimmte Probleme



Technologie-Zentrum Informatik

# CSP – Definition

Ein **Constraint Satisfaction Problem** (CSP) ist ein Tripel

*CSP(V,D,C):*

$V = \{v_1, \ldots, v_n\}$ *endliche Menge* ***Variablen***

$D = \{D_1, \ldots, D_n\}$ *assoziierte* ***Wertebereiche*** $\{v_1 : D_1, \ldots, v_n : D_n\}$

*C endliche Menge* ***Constraints*** $c_i(V_i)$, $i \in \{1, \ldots, m\}$,

$c_i(V_i)$ *setzt Teilmenge* $V_i = \{v_{i_1}, \ldots, v_{i_k}\} \subseteq V$ *in Relation,*

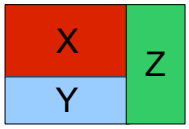
*Lösungsraum für* $c_i(V_i)$: $\{D_{i_1} \times \ldots \times D_{i_k}\}$

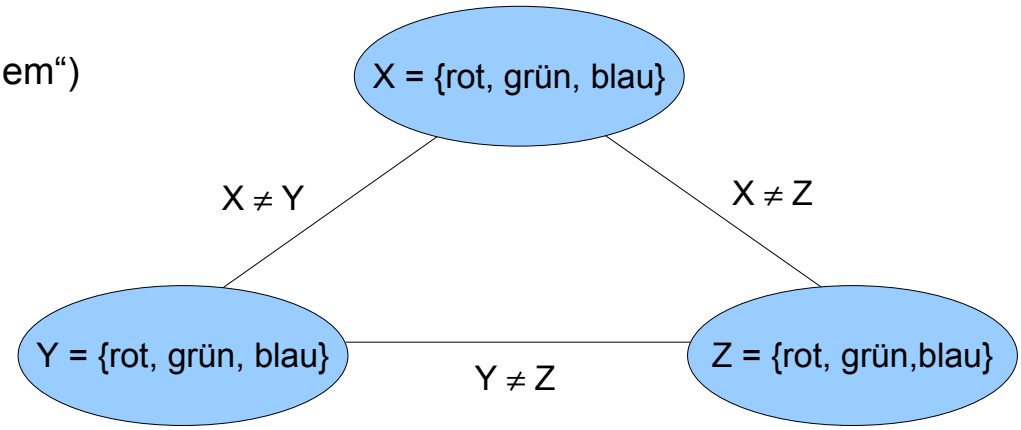
Universität Bremen
Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

# CSP – Beispiel

**Beispiel** für einen binären Constraint-Graphen:

(„Kartenfärbeproblem“)







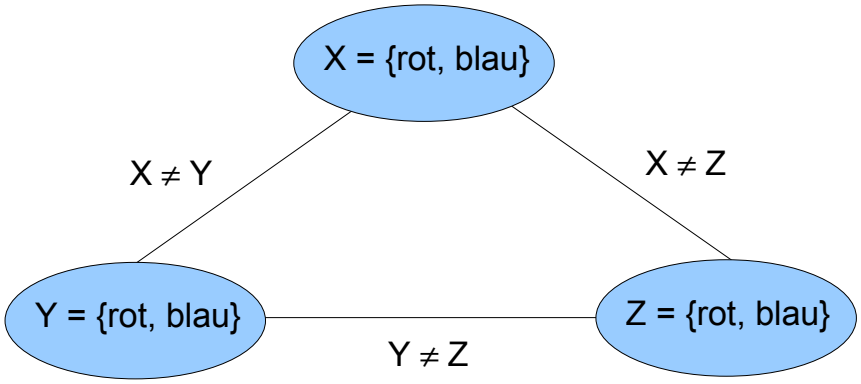

# CSP – Konsistenztechniken (1)

- Problemreduktion eines CSP mittels **Konsistenztechniken**
  (Ursprung: Montanari '74; Walz '75; Mackworth '77)
- inkonsistente Werte aus den Domänen der Variablen entfernen
- erreichen im Regelfall lediglich *lokale Konsistenz*
- mögliche Konsistenzgrade:
  - **Knotenkonsistenz** (*node consistency*, NC)
  - **Kantenkonsistenz** (*arc consistency*, AC)
  - **Pfadkonsistenz** (*path consistency*, PC)
  - **k-Konsistenz** (*k-consistency*)

# CSP – Konsistenztechniken (2)

**Beispiel** für einen *kantenkonsistenten* Graphen („Kartenfärbeproblem“):

In diesem Fall:
Keine *globale* Lösung vorhanden!





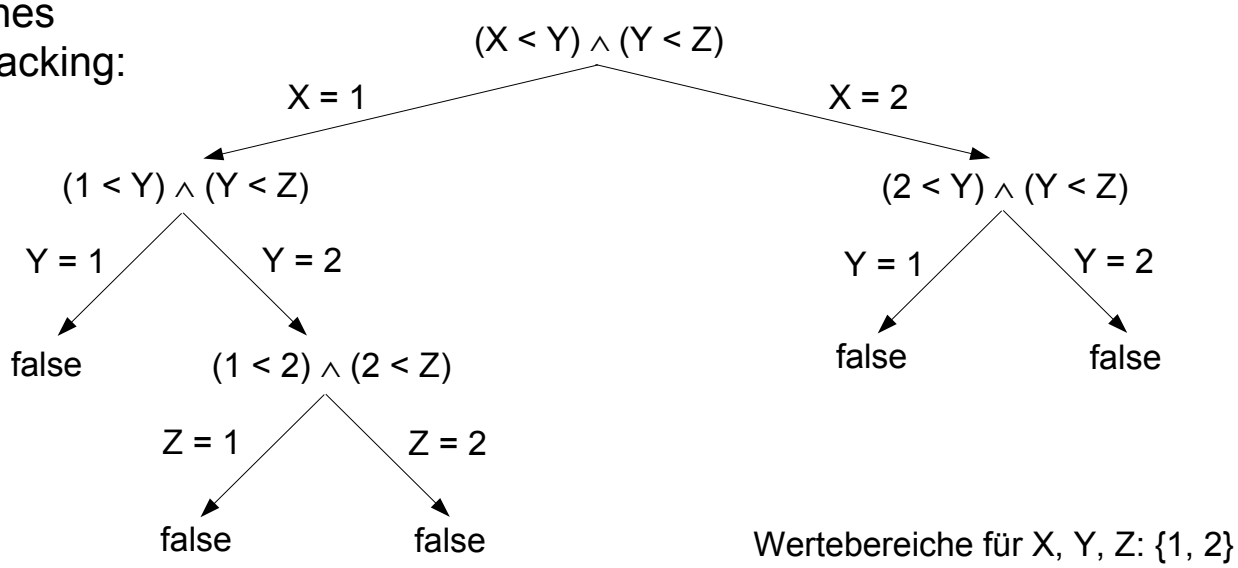



# CSP – Lösungssuche (1)

- Ein klassisches CSP kann als **Suchproblem** gesehen werden (endliche & diskrete Domänen)
- Zur Auflösung kann (chronologisches) **Backtracking** (BT) zum Einsatz kommen (vgl. Haralick u. Elliot '80; Dechter u. Frost 2002)
- Nachteil: ineffizient, exponentieller Aufwand
- Effizientere Verfahren zur systematischen Suche (Optimierung):
  - Look Back
    - Backjumping (BJ)
    - Backchecking (BC)
    - Backmarking (BM)
  - Look Ahead
    - Forward Checking (FC)
    - Partial Look Ahead (PLA)
    - Full Look Ahead (FLA) / Maintaining Arc Consistency (MAC)

# CSP – Lösungssuche (2)

**Beispiel**-Suchbaum für einfaches Backtracking:




Wertebereiche für X, Y, Z: {1, 2}



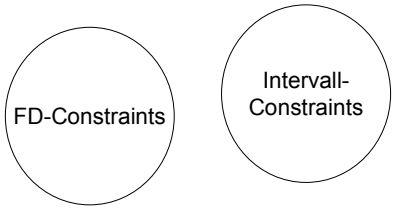


# Intervall CSP

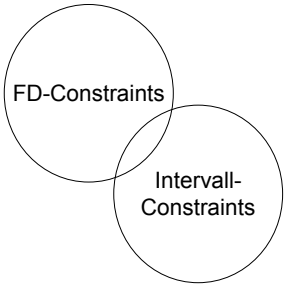
- *Intervall CSP* (ICSP), auch *Numeric CSP* (NCSP) und *Continuous CSP* (CCSP), besitzen reellwertige Intervall-Domänen → unendlich & kontinuierlich
- Kombination von mathematischen Verfahren der Intervallarithmetik sowie Konsistenztechniken und Suchverfahren (*domain splitting*)
- Verfahren:
  - *interval splitting* (Cleary '87)
  - *label inference* (Davis '87)
  - *tolerance propagation* (Hyvönen '92)
  - *2B-, 3B-, kB-consistency* (Lhomme '93)
  - *box consistency* (Benhamou et al. '94)
  - *$2^k$-trees* (Sam-Haroud '95, Sam-Haroud u. Faltings '96)

# Hybridizität versus Heterogenität

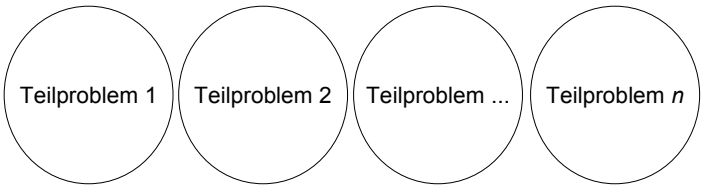
Szenario 1:



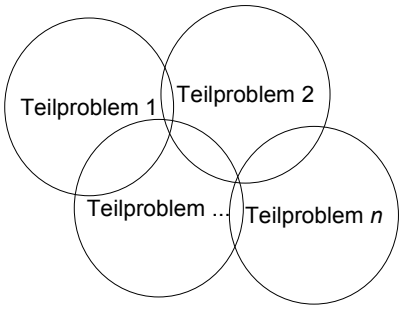

Szenario 3:




Szenario 2:




Szenario 4:

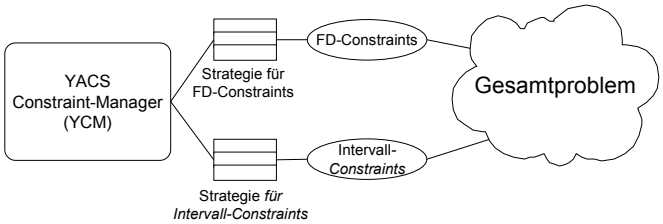




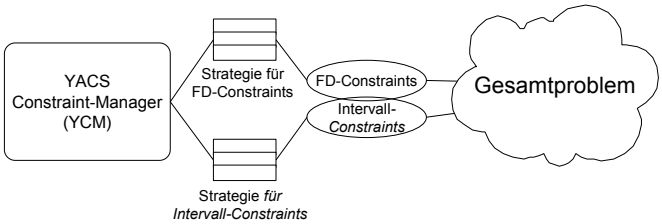

Technologie-Zentrum Informatik

# Hybridizität versus Heterogenität

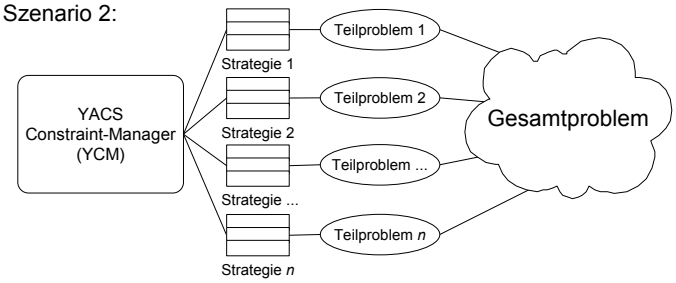
Szenario 1:



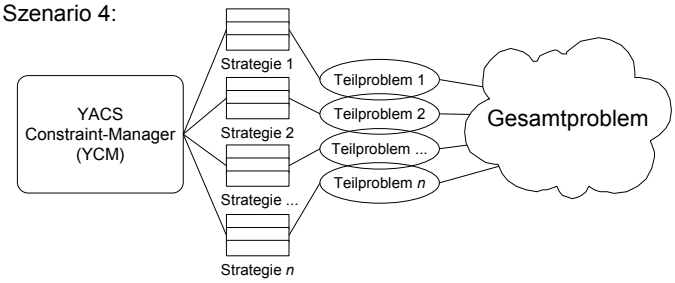

Szenario 3:




Szenario 2:




Szenario 4:




Universität Bremen

Wolfgang Runte, Intelligente Systeme
07.06.06

# Heterogenes Constraint-Lösen

- Unterschiedliche Constraint-Lösungsstrategien bedingen getrennt voneinander zu verarbeitende **Teilprobleme**.
- Variablen, die in unterschiedlichen Teilproblemen auftauchen, bewirken **Überlappung** von Teilproblemen (*lokaler* vs. *globaler* Namensraum).
- Bei **Vermischung** von Domänen ist zusätzlich heuristische Diskretisierung von reellwertigen Intervallen bzw. die intervallwertige Behandlung von finiten Domänen erforderlich (heterogenes Constraint-Problem).
- Problem: Aus einzelnen Teillösungen (*lokale Sicht*) müssen vollständige **Gesamtlösungen** (*globale Sicht*) generiert werden.
- Lösung: **Meta-Constraint-Solver**



Technologie-Zentrum Informatik

# Heterogenes Constraint-Lösen

- „Vermischung“ von finiten und infiniten Wertebereichen
- Überschneidung von Constraint-Netzen mit Variablen unterschiedlicher Wertebereiche
- Heuristiken:
  - Intervall-Variable in finitem Constraint → Wertebereich diskretisieren (als Integer-Menge)
  - finite Variable in Intervall-Constraint → als Intervall [(1,1)(2,2)(3,3)]

# Constraints versus Regeln (1)

**Constraints:**

- *ungerichtet* → multidirektionale Auswertung
- *Black-Box*-Prinzip: deklarativer Formalismus, frei von Kontrollwissen
  - Reihenfolge nicht festgelegt und für das Ergebnis nicht relevant
  - Wissensingenieur spezifziert Abhängigkeiten und überlässt die Auswertung dem System
- wiederholte Propagation innerhalb eines Constraint-Netzes bis Konsistenz erreicht wird
  - frühe Konflikterkennung

**Regeln:**

- *gerichtet* → unidirektionale Auswertung
- Vermischung von Domänen- und Kontrollwissen innerhalb der Regeln
- einmalige Ausführung (wenn Bedingungsteil erfüllt) oder Kontrolle bestimmt Zeitpunkt der Ausführung (Vermischung von Randbedingungen und Kontrollwissen)
  - späte Konflikterkennung



Technologie-Zentrum Informatik

# Constraints versus Regeln (2)

Beispiel für *regelbasiertes* System:

- R1/XCon (80er Jahre), beinhaltete 11.500 Regeln, von denen jedes Jahr ca. die Hälfte aus Wartungsgründen modifiziert werden musste.

Beispiel für *constraint-basiertes* System:

- ILOG Configurator/JConfigurator, basiert auf ILOG Solver/JSolver und *Generative Constraint Satisfaction* (GCSP).

# OOP-Frameworks

„Because frameworks require iteration and **deep understanding of an application domain**, it is hard to create them on schedule. Thus, framework design should never be on the critical path of an important project. This suggests that they should be developed by advanced development or research groups, not by product groups. On the other hand, framework design must be closely associated with the application developers because framework design requires **experience in the application domain**.“ Ralph E. Johnson, *Components, Frameworks, Patterns*, ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 22 (1997), Nr. 3, S. 10-17