Optimale Planung von drahtlosen lokalen Kommunikationssystemen

Thom Frühwirth
Institut für Informatik
Ludwig-Maximilians-Universität München

20. Oktober 1998

Anmerkung

Hände nicht in Hosentaschen

Ins Publikum schauen und sprechen, vor allem am Anfang und Ende

Overheadfolie liegen lassen

Nicht vor der Projektionsfläche stehen

Nicht mit Overheadfolien spielen

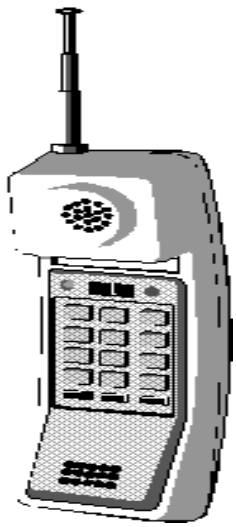
Entweder auf Folie zeigen und bunt malen oder auf Projektionsfläche zeigen

Drahtlose Kommunikation

- Allerorts erreichbar
- Flexibel - keine Kabel
- Mehr Qualität und Sicherheit

ECRC (Siemens, ICL, Bull)
Siemens Private Netzwerke
Siemens Forschung und Entwicklung
RWTH Aachen, Inst. f. Kommunikationsnetze

- Lokale digitale Telekommunikation
- Braucht kleine Sendestationen
- Planung ihrer Lage notwendig



Anmerkung

Projektleiter.
ECRC Industrieforschungszentrum.
Aachen: Prof. Dr. Walke, Hr. Hußmann

1999: Deutschland 5 Millionen drahtlose Telefone verkaufen. Jedes dritte. Westeuropa 15 Mill.

Flexibel, ohne aufwendige Montagearbeiten. Verbesserte Übertragungsqualität bei mehr Abhörschutz.

Die Funkwellenausbreitung im Gebäude muß berücksichtigt werden.

War Ungelöstes Problem

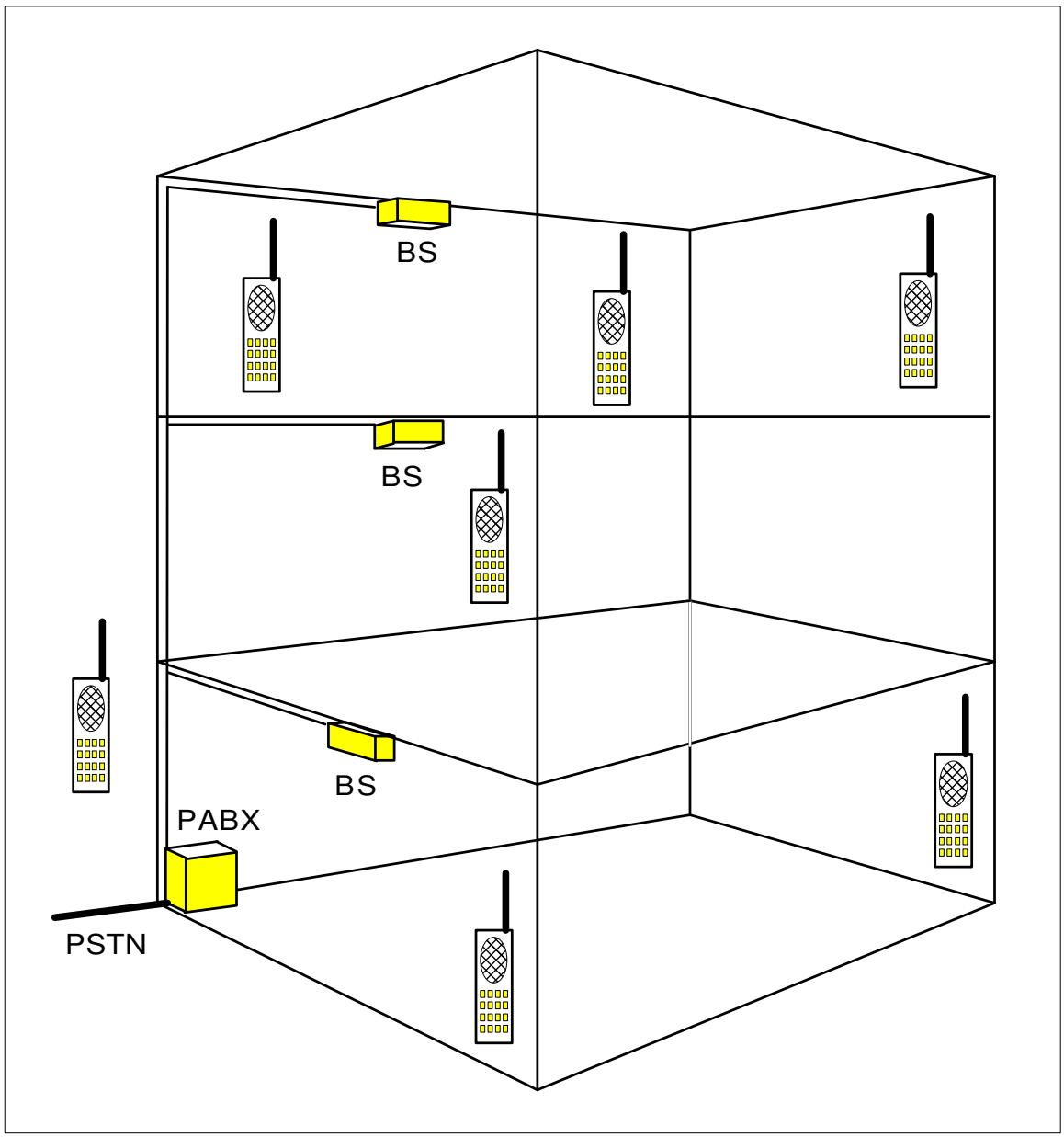
Das Werkzeug simuliert die Funkwellenausbreitung in Gebäuden und optimiert die Plazierung von Sendeanlagen für lokale, kabellose Kommunikationsnetze.

Weltweit gemeinsam mit AT&T WISE die ersten. 1996 IEEE Magazine USA innovative Anwendung in der Telekommunikation ausgewählt.
1998 Gewinner des Telecom Application Contest der Telecom Italia auf der CP'98 Constraint-Programmierung-Konferenz.

Die Herausforderung

Optimale Plazierung der Sender

- Vollständige Versorgung
- Minimale Senderanzahl



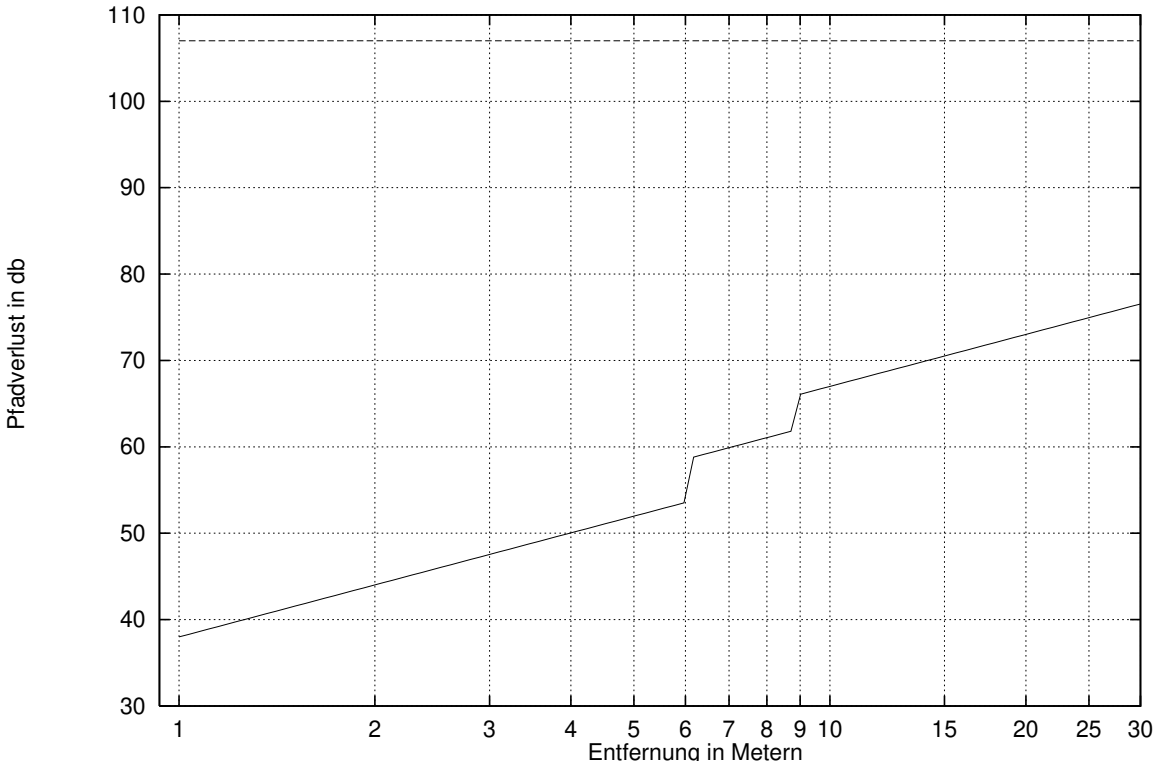
Keine Anmerkung

Funkausbreitung

Beeinträchtigt durch:

- Dämpfung mit zunehmender Entfernung,
- Abschattung, Beugung durch Hindernisse,
- Mehrwegeausbreitung durch Reflexion.

Pfadverlust, Wände bei $6m$ und $9m$,
logarithmische Darstellung



Anmerkung

Die Einfügungsdämpfung gibt dabei den Wert wieder, der als zusätzlicher Verlust beim Durchdringen einer bestimmten Wand bzw. Decke entsteht, der Wert ist je nach Baumaterial stark unterschiedlich. Die folgende Abbildung soll das Modell verdeutlichen. Die Darstellung beginnt bei einer Entfernung $d = 1m$ und dem damit verbundenen unteren Grenzwert von 38 dB. Die Sprungstellen in der Funktion entsprechen zwei Wänden im Ausbreitungspfad.

Der Constraint-Ansatz

• Simulation
- Gebäude modellieren: Wände und Material
- Funkwellenausbreitung durch Pfadverfolgung
• Optimierung
- Constraintlösen (Schneiden der Funkzellen)
- Suche (Wahlweises Gleichsetzen von Sendern)
- Optimierung (Branch and Bound)

[Frühwirth, Molwitz, Brisset, *IEEE Expert Magazine*, IEEE Press, 1996]

Anmerkung

Übliche Constraint-Ansätze funktionieren nicht:

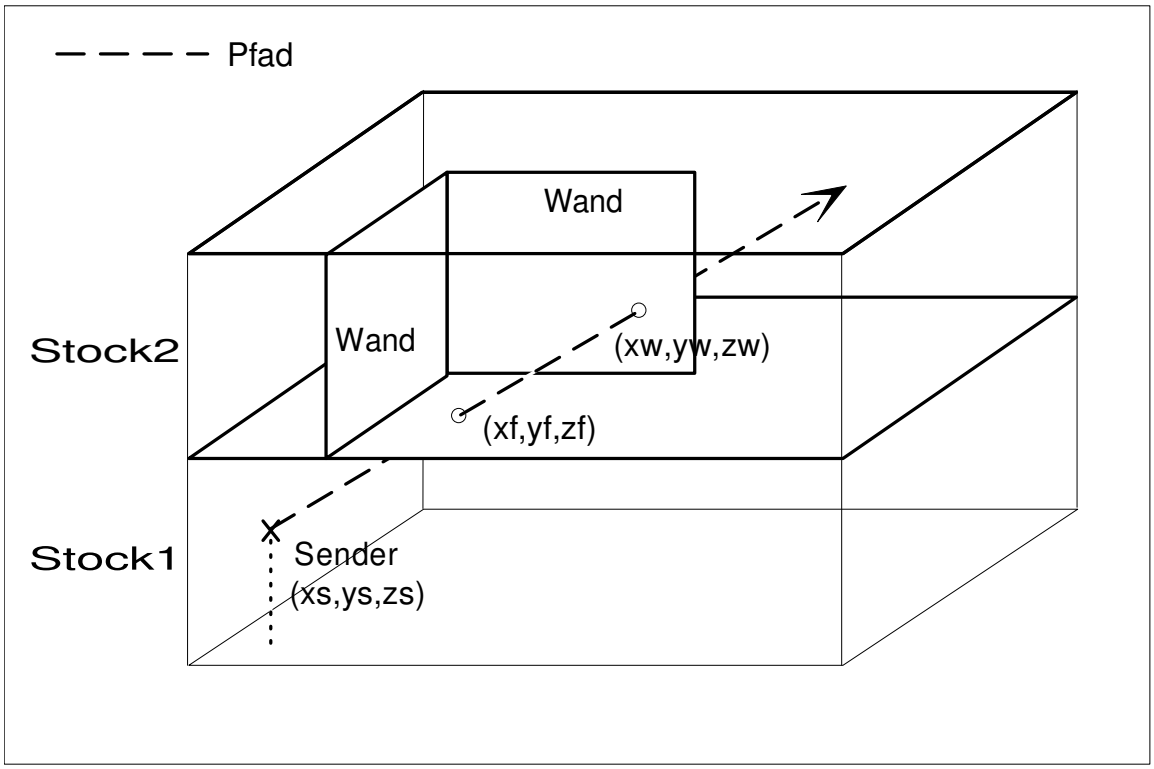
- Unendlicher Wertebereich, mehrdimensional
- Nichtlineare Gleichungen
- Kontinuierliche und diskrete Funktionen
- Disjunktive geometrische Constraints

Das Constraintlogikprogramm für POPULAR ist nur 4000 Zeilen lang, inklusive der Grafik für die Benutzerschnittstelle, die etwa die Hälfte des Programms ausmacht, Rest Simulation. WISE 7500 Zeilen C.

CONSTRAINT: Sender in Funkzelle.

Simulation der Funkausbreitung

Pfadverfolgung (Ray Tracing)

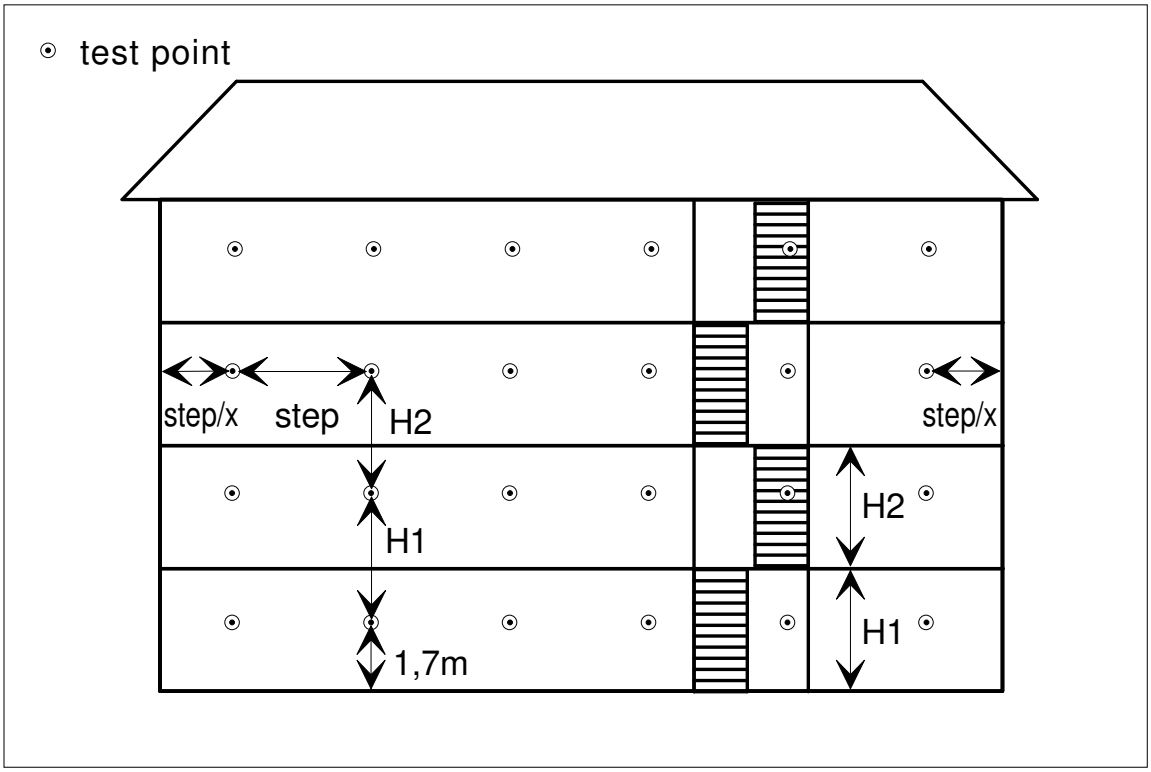


Anmerkung

Dazu wird eine fiktive Funkwelle in in einer ausreichenden Anzahl von Richtungen (mehr als hundert) untersucht. Der Ausbreitungspfad wird durch das gesamte Gebäude hindurch verfolgt.

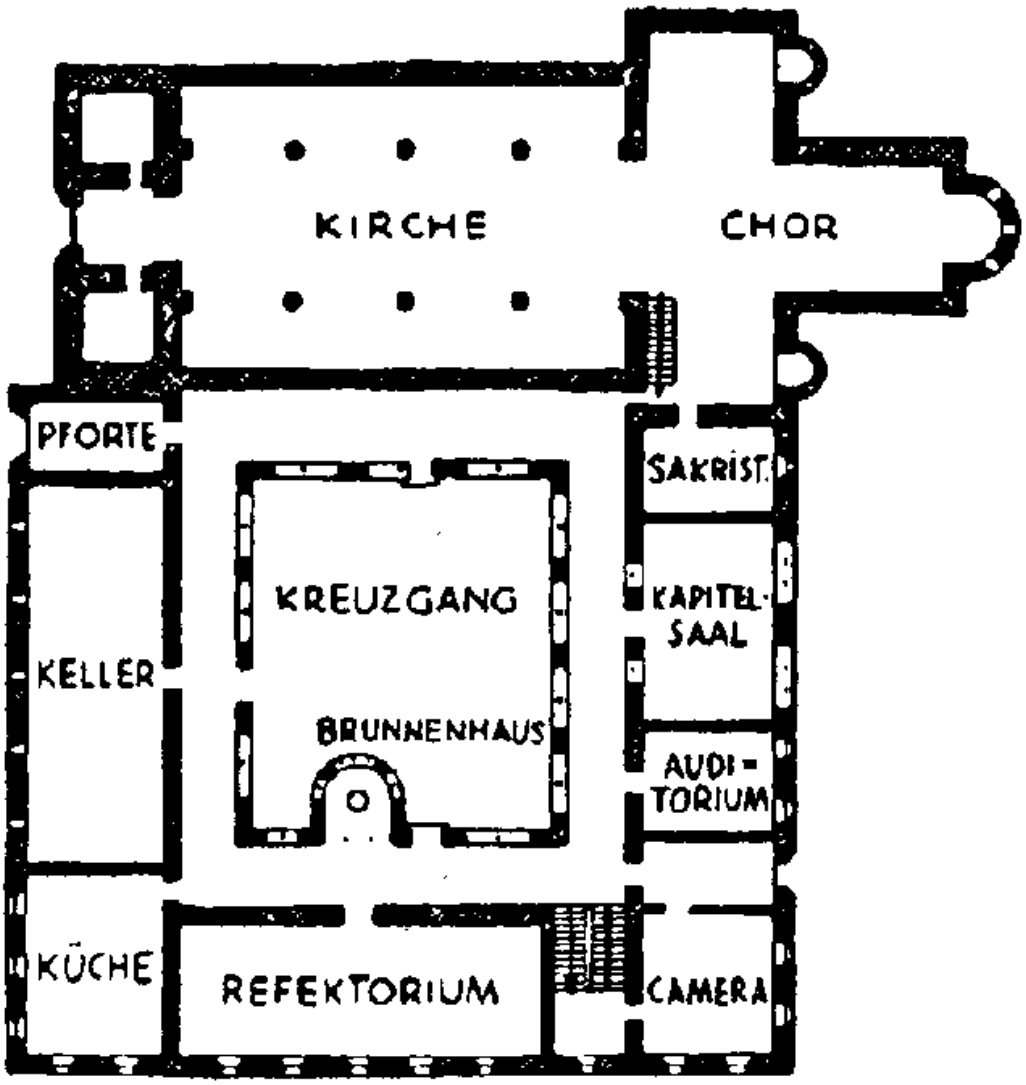
Entlang des Pfades werden alle Schnittpunkte mit Wänden und Decken festgestellt und die zugehörigen Einfügungsdämpfungen registriert. Dabei werden die Antennendämpfung in Pfadrichtung, die entfernungsabhängige Dämpfung und die registrierten Einfügungsdämpfungen längs des Pfades bis zum zulässigen Grenzwert des Pfadverlustes aufaddiert. Danach werden durch binäre Suche entlang des Pfades ausreichend genau die Koordinaten des zugehörigen Grenzwertpunktes ermittelt. Die Hülle der Grenzpunkte eines Testpunktes beschreibt dann die Funkzelle. Eine Funkzelle umfaßt normalerweise mehrere Räume in mehreren Stockwerken.

Testpunkt-Raster



Keine Anmerkung

Funkzellen


KIRCHE
CHOR
PFORTE
SAKRIST.
KREUZGANG
KAPITEL-SAAL
KELLER
BRUNNENHAUS
AUDI-TORIUM
KÜCHE
REFEKTORIUM
CAMERA

Anmerkung

Die Funkwellenausbreitung im Gebäude:

- Dämpfung des Signals je nach Entfernung,
- Abschattung und Beugung durch Hindernisse,
- Mehrwegeausbreitung durch Reflexion.

SIMULATION: Dazu wird eine fiktive Funkwelle in in einer ausreichenden Anzahl von Richtungen (mehr als hundert) untersucht. Der Ausbreitungspfad wird durch das gesamte Gebäude hindurch verfolgt.

Entlang des Pfades werden alle Schnittpunkte mit Wänden und Decken festgestellt und die zugehörigen Einfügungsdämpfungen registriert. Dabei werden die Antennendämpfung in Pfadrichtung, die entfernungsabhängige Dämpfung und die registrierten Einfügungsdämpfungen längs des Pfades bis zum zulässigen Grenzwert des Pfadverlustes aufaddiert. Danach werden durch binäre Suche entlang des Pfades ausreichend genau die Koordinaten des zugehörigen Grenzwertpunktes ermittelt. Die Hülle der Grenzpunkte eines Testpunktes beschreibt dann die Funkzelle. Eine Funkzelle umfaßt normalerweise mehrere Räume in mehreren Stockwerken.

APPROXIMATION durch Rechtecke orthogonal zum Koordinatensystem.

Constraintlöser

```
% Sender in Rechteck

nicht_leer @
S in (A,B)#(C,D) ==> A<C, B<D.

durchschnitt @
S in (A1,B1)#(C1,D1), S in (A2,B2)#(C2,D2) <=>
      A = max(A1,A2), B = max(B1,B2),
      C = min(C1,C2), D = min(D1,D2),
      S in (A,B)#(C,D).
```

Anmerkung
Konkrete Syntax! Regelnamen!

CONSTRAINT: Sender in Funkzelle.

In einer ersten Implementierung des Constraintlösers hat man sich auf ein Stockwerk beschränkt und jede Funkzelle durch ein eingeschriebenes Rechteck approximiert. Rechtecke sind orthogonal zum Koordinatensystem und jeweils durch den linken unteren und rechten oberen Eckpunkt definiert. Für jede Funkzelle wird das Constraint `Sender in Rechteck` eingeführt, wobei `Sender` geometrisch gesehen ein Punkt ist, der im Rechteck `Rechteck` liegen muß. Die Koordinaten für einen Punkt haben die Form `(X,Y)`.

Die `durchschnitt`-Regel ersetzt zwei Constraints, die besagen, daß derselbe Sender in zwei verschiedenen Rechtecken liegt, durch ein Constraint, wobei das neue Rechteck der Schnitt der beiden ursprünglichen Rechtecke ist. `A<C, B<D` stellt sicher, daß ein Rechteck nicht leer ist.

```
% Erweiterung zu Mengen von Quadern

S in nil <=> false.

S in L1, S in L2 <=>
    durchschnitt_quader(L1, L2, L3), S in L3.

 durchschnitt_quader(L1, L2, L3) <=>
    setof(R3,(waehle(R1, L1), waehle(R2, L2),
              durchschnitt_quader(R1,R2,R3)),
          L3).

 waehle(X,cons(Y,L)):- (X=Y ; waehle(X,L)).

% Prolog Suche - Sender gleichsetzen

sender_gleichsetzen(nil):- true.
sender_gleichsetzen(cons(S,L)):-
    (waehle(S,L) ; true),
    sender_gleichsetzen(L).

% Prolog Optimierung - Branch and Bound

bb(C,M,L):-
    constraints(C,S), max_sender(S,M),
    sender_gleichsetzen(S), sender_anzahl(S,N),
    (bb(C,N-1,L) ; L=S).
```

Anmerkung
PROLOG code mit :- !

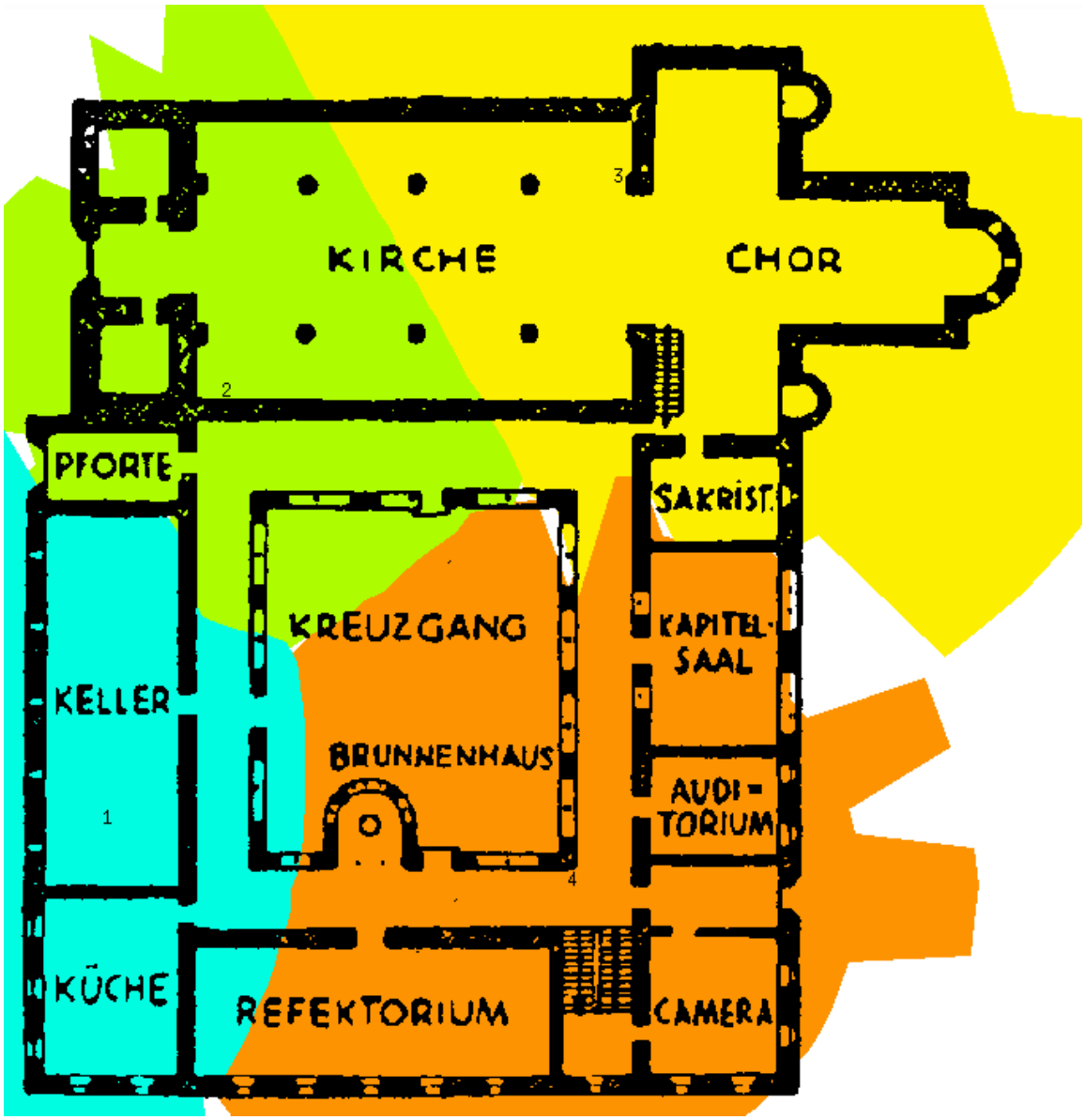
Listen mit cons/1 und nil/0!

In 10 Minuten konnte man diesen Constraintlöser so erweitern, daß er mit Vereinigungen von Rechtecken funktioniert. Damit können die Funkzellen mit beliebiger Genauigkeit approximiert werden. Die Vereinigung von Rechtecken entspricht dem disjunktiven Constraint `S in (R1` $\vee$ `S in R2` $\vee$ `...` $\vee$ `S in Rn`. Es wird kompakter als
`S in cons(R1,cons(R2,...,Rn))` geschrieben.

Das Erweitern des Constraintlösers auf den dreidimensionalen Fall mit mehreren Stockwerken ist ähnlich einfach machbar. Jedes Rechteck wird zusätzlich mit einer Stockwerkskennung versehen, und nur Rechtecke in der gleichen Ebene (im gleichen Stockwerk) werden miteinander geschnitten.

Der Constraintlöser kann auch modifiziert werden, so daß er mit anderen geometrischen Objekten als Rechtecken arbeitet, indem man die Listenelemente `(A,B)#(C,D)#(E,F)` durch die Beschreibung der Objekte ersetzt und die Schnittberechnung in `durchschnitt_rechteck/3` entsprechend adaptiert.

Vollständige Versorgung



Anmerkung

Das Beispiel zeigt das Ergebnis der Versorgung eines mittelalterlichen Klosters mit vier Sendern. Ein Abdeckungsgebiet ist jeweils dem stärksten Sender zugeordnet.

Zusammenfassung

Constraint-Programmierung mit CHR erwies sich als

- **schnell:** Prototyp in wenigen Mann-Monaten.
- **expressiv:** alles in CLP - auch Pfadverfolgung und graphische Benutzerschnittstelle.
- **flexibel:** von einzelnen Rechtecken zu Mengen von Quadern innerhalb von Minuten.
- **erweiterbar:** Sender auf Wandplazierungen einschränken - nur ein Constraint mehr pro Sender.
- **effizient:** Typische Firmengebäude können innerhalb von Minuten geplant werden.

Anmerkung

While we worked on POPULAR, without knowing from each other: WiSE uses an adaptation of the Nelder-Mead direct search method that optimizes the percentage of the building covered. About 7500 lines of C++. WiSE has been patented and is in commercial use by Lucent Technologies since 1997 to plan their DEFINITY Wireless Business System - PWT.

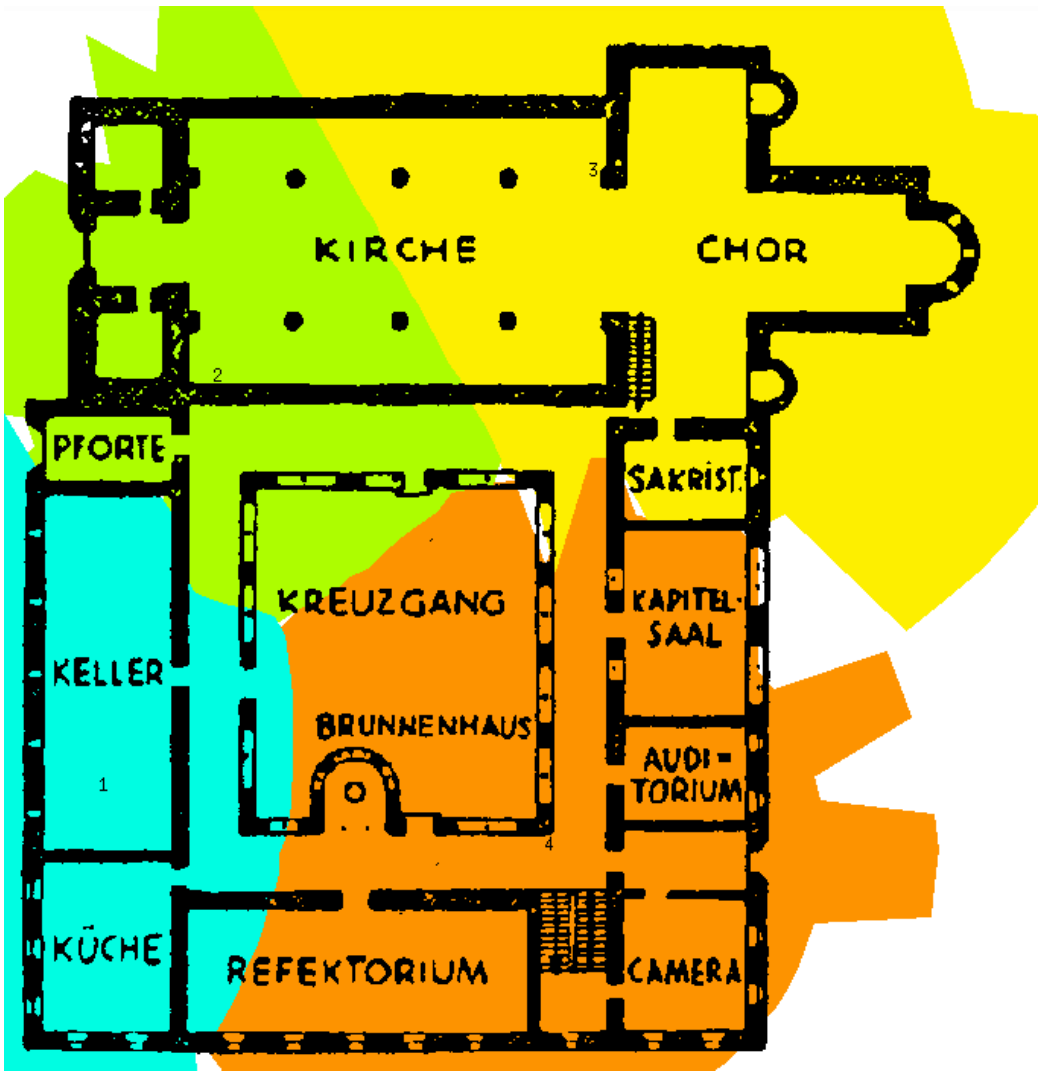
Constraint-Programmierung

mit Constraint Handling Rules

Optimale Plazierung von Sendern für digitale drahtlose Telekommunikation

IEEE Expert Magazine, USA: Beste Anwendung in der Telekommunikation 1996.

Gewinner Telecom Application Contest der Telecom Italia bei CP'98-Konferenz 1998.



Anmerkung

Das Beispiel zeigt das Ergebnis der Versorgung eines mittelalterlichen Klosters mit vier Sendern. Ein Abdeckungsgebiet ist jeweils dem stärksten Sender zugeordnet.

Wir haben auch ein Lehrbuch zur Constraint-Programmierung!