

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 71 (1993)

**Heft:** 11

**Artikel:** Rechnergestützte Konstruktion : Nutzen und Problemlösungsmethoden

**Autor:** Liver, Beat

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-875530>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Rechnergestützte Konstruktion: Nutzen und Problemlösungsmethoden

Beat LIVER, Bern

## 1 Einleitung

Die rechnergestützte Konstruktion wird auch für Anbieter von Telekommunikationsdienstleistungen immer wichtiger, da einerseits die Produktion der Dienstleistungen und die Dienste komplex sind und andererseits die zugehörigen Prozesse rasch und in hoher Qualität durchgeführt werden müssen. Diese Anforderungen können zunehmend nur noch mit dem Einsatz rechnergestützter Konstruktionssysteme erfüllt werden.

Das Lösungsverfahren ist die zentrale Komponente rechnergestützter Konstruktionswerkzeuge. Praktisch ebenso wichtig ist die Benützerschnittstelle, da nur benutzerfreundliche Systeme erfolgreich eingesetzt werden können. Trotzdem wird hier nicht weiter darauf eingegangen. Die Lösungsverfahren und ihr Entwurf werden ausführlich dargestellt, um deren Potential und Grenzen zu zeigen. Als Möglichkeiten werden graphentheoretische, lineare und kombinatorische Optimierungsverfahren aus dem Operations-Research und Techniken aus der künstlichen Intelligenz<sup>1</sup> (Artificial Intelligence) wie wissensbasierte Systeme und CSP-Techniken (Constraint Satisfaction Programming, Programmierung zur Erfüllung von Randbedingungen) eingesetzt. Diese Verfahren weisen unterschiedliche Eigenschaften auf. Es wird daher versucht zu zeigen, dass für praktische Anwendungen diese Techniken mit Vorteil kombiniert werden. Damit soll auch die oft vertretene Ansicht widerlegt werden, dass Operations-Research-Methoden jene der Artificial Intelligence ersetzen oder umgekehrt. Diese Ansicht konnte nicht zuletzt auch dadurch entstehen, dass sehr wenige Fachleute in mehreren dieser Fachgebiete bewandert sind.

## 2 Notwendigkeit und Nutzen

Das Geschäftsumfeld stellt heute folgende Anforderungen an eine Unternehmung:

- Arbeitsprozesse müssen in kurzer Zeit ablaufen, da die Produkte kurze Lebenszyklen aufweisen bzw. die

<sup>1</sup> Die Übersetzung von «Intelligence» mit «Intelligenz» ist hier ungenau: Im Englischen versteht man unter Intelligenz auch die Fähigkeit des Handelns aufgrund von Nachdenken und Verstehen, im Gegensatz zu instinktivem oder automatischem Handeln. Im Deutschen bedeutet Intelligenz die Gesamtheit des geistigen Schaffens, Verstandeskraft und Einsicht. Im Fachgebiet der künstlichen Intelligenz wird also einerseits das Verständnis der menschlichen Intelligenz angestrebt, und andererseits werden komplexe informationsverarbeitende Systeme für Aufgaben entworfen und gebaut, die gemeinhin Intelligenz erfordern.

Kunden eine rasche Abwicklung von Aufträgen oder Anfragen erwarten.

- Komplexere Produkte werden produziert oder in der Produktion eingesetzt. Die Komplexität der Geschäftsabläufe wird durch die steigende Zahl externer Randbedingungen noch weiter vergrößert.
- Der Wettbewerbsdruck verlangt, dass Ressourcen aller Art optimal genutzt werden, damit das Preis-Leistungs-Verhältnis bei den Produkten marktgerecht ist.
- Die Produkte sind zunehmend variabel und kundenspezifisch.

Diese Anforderungen betreffen verschiedenste Konstruktionsprozesse in einer Unternehmung, wie folgende Klassifikation von Konstruktionsaufgaben nach [9] zeigt:

- *Konfigurieren*. Auswahl, Parametrisierung und Zusammenfügen von Basisobjekten zu einem Lösungsobjekt, das bestimmten Anforderungen genügt. Beispiele sind die Konfiguration von Computern und Teilnehmervermittlungsanlagen.
- *Zuordnen*. Eine Menge von Objekten eines Typs wird einer Menge von Objekten eines anderen Typs unter bestimmten Randbedingungen zugeordnet. Das Erstellen von Stundenplänen oder Maschinenbelegungsplänen ist ein Zuordnungsproblem.
- *Planen*. Dabei wird eine Sequenz von Operatoren gesucht, die einen Ausgangszustand einer Objektkonstellation in einen Zielzustand überführt, wie das Planen von Experimenten und Therapien. Bei der Planung ist oft noch das Problem der Vorhersage zu lösen. Da die Vorhersage nicht exakt durchgeführt werden kann, werden verschiedene Varianten oder Szenarien berechnet, um die künftige Entwicklung abzuschätzen.

Daraus ergibt sich, dass die rechnergestützte Konstruktion für Unternehmen immer wichtiger wird. Folgende Aufzählung zeigt den konkreten Nutzen des computergestützten Entwurfs:

- Es sind normierte Entwurfsverfahren vorhanden, die konsistent angewendet werden.
- Die Entwurfsverfahren sind explizit vorhanden. Dies hat den Vorteil, dass sie diskutiert werden können.
- Die Entwurfsverfahren berücksichtigen mehr Eigenschaften von Komponenten und Entscheidungsfaktoren. Im besonderen können auch komplexe (mathematische) Modelle verwendet werden. Dadurch sind genauere Kalkulationen möglich.
- Die Werkzeuge sind benutzerfreundlich, obwohl sie komplexe Entwurfsverfahren enthalten. In manchen



- Fällen ist es nicht einmal nötig, dass der Endbenutzer diese Verfahren im Detail versteht.
- Verschiedene Varianten können in kurzer Zeit mit geringem Aufwand berechnet werden. Dies ist sehr wichtig für die Zukunftsplanung.

Der Nutzen zeigt klar, dass diese Systeme die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens stark beeinflussen. Daher ist auch nicht zu erwarten, dass solche Entwurfs- und Optimierungssysteme auf dem Markt erhältlich sind. Folgende Beispiele aus der Praxis zeigen, dass obige Aussagen über den Nutzen gerechtfertigt sind.

#### *Arachne von Nynex*

Arachne ist ein Planungssystem für die Dimensionierung von Telefonnetzen ohne die Teilnehmeranschlüsse (Local Loop) [6]. Arachne ermittelt damit die nötigen Komponenten (einschliesslich der Übertragungsausrüstung), einen Zeitplan für deren Integration in das Netz und einen Leitwegplan (Routing), so dass die Bedürfnisse kostengünstig abgedeckt werden können. Eine Vorhersage des Verkehrsaufkommens für fünf Jahre und die Daten über das bestehende Netz fliessen in die Planung ein. Es werden folgende Kriterien berücksichtigt: das Verkehrsaufkommen, die vorhandenen Kapazitäten, Entwurfsregeln, die technologische Entwicklung, die Marktposition und interne Unternehmensregeln. Das System wurde in 2,5 Jahren mit einem Aufwand von 15 Informatiker-Personenjahren und 2 bis 3 Personenjahren von Planungsexperten entwickelt. Jährlich werden bei den Betriebskosten 2 Millionen US-Dollar eingespart. Bei einem ersten Test in New England wurden Einsparungen von 10 Millionen US-Dollar Kapitalkosten ermittelt. Als weitere Vorteile sind zu erwähnen:

- Der Planungsprozess benötigt weniger Zeit und weniger Planer, nicht zuletzt, weil Fehler bei der Planung vermieden werden.
- Die rasche Planung in Kombination mit genauen Werten bildet die Basis für exakte Budgets.
- Die Netzqualität wird verbessert, da die Planungsregeln vollständig, umfassend und konsistent angewandt werden.
- Neue Technologien, Planungsregeln und -strategien können rasch eingeführt werden.

#### *Weitere Beispiele von Konstruktionssystemen sind:*

- *Telecom Australia* hat ein Prototypwerkzeug für den Entwurf optimaler Telefonverteilstetze für Quartiere (Customer Access Network Design) entwickelt [3]. Ein Plan mit dem Aufwand einer Mannwoche wird in einigen Minuten berechnet.
- *CNET* und *France Telecom* entwickeln ein interaktives Werkzeug, mit dem Planer Planungsverfahren entwerfen können. Die Verwendung einer Programmiersprache wie FORTRAN entfällt damit weitgehend. Ein solches Werkzeug ist nützlich, da die Planungsaufgaben einem starken Wandel unterworfen sind.
- *Philips* hat ein System zur Planung von Netzen in pleiochroner und synchroner digitaler Hierarchie (PDH und SDH) entwickelt [7]. Die Planung solcher Netze wird als Dienstleistung angeboten. Dabei gewinnt die Firma auch Informationen über Marktpotentiale und -lösungen.

- Diverse Werkzeuge für den Entwurf von (virtuellen) privaten Netzen wurden von verschiedenen Firmen entwickelt. Die Schweizerischen PTT-Betriebe erforschen auch solche Werkzeuge [8].

## 3 Problemlösungsverfahren

### 31 Einführung und Beispielproblem

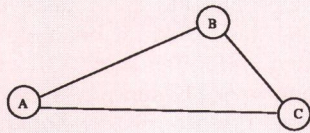
Probleme werden in *Komplexitätsklassen* eingeteilt. Die Komplexität ist der Aufwand zur Lösung eines Problems bezüglich «Zeit» oder Speicherplatz. Mit theoretischen Komplexitätsanalysen kann gezeigt werden, welcher Klasse ein Problem angehört.

Die verschiedenen Problemlösungsmethoden sind grundsätzlich gleich mächtig, d. h. jedes Verfahren kann im Prinzip auf ein Problem angewandt werden. Aber der Rechenaufwand hängt sowohl von der Komplexität des Problems als auch von der verwendeten Problemlösungsmethode ab. Zu einem Problemlösungsverfahren gehört auch eine geeignete Darstellung (Repräsentation) des Problems. Die Kunst beim Entwurf solcher Verfahren ist es, eine Darstellung für ein Problem zu finden, für die ein Lösungsverfahren entwickelt werden kann. Dabei sind neben den Eigenschaften des Problems auch die Anforderungen der Anwender, die Entwicklungskosten usw. zu berücksichtigen. Die Problemlösungsverfahren besitzen unterschiedliche Eigenschaften, die je nach Anforderungen an die Anwendung mehr oder weniger günstig sind. Folgende unvollständige Liste von Kriterien zur Bewertung der Eigenschaften ist für Konstruktionsverfahren zutreffend:

- Bei Verfahren, die die Lösung nur näherungsweise oder heuristisch berechnen, ist die Güte der Lösung ein wichtiges Kriterium. So ist bei Optimierungen die Abweichung der Lösung vom theoretischen Optimum zu untersuchen.
- Bei Konstruktionsproblemen ist es oft nötig, die Konstruktion oder die Pläne interaktiv zu überarbeiten. Damit dies dem Anwender möglich ist, muss ihm das rechnergestützte Konstruktionssystem den Entwurf und die Entwurfsentscheide «erklären» können.
- Die Kosten eines Algorithmus können zur Entwicklungszeit in Form von Ingenieurarbeit oder zur Ausführungszeit als Bedarf an Rechenleistung oder Speicherplatz anfallen.
- Schlussfolgerungen sollten gut nachvollziehbar sein. Dies hängt nicht zuletzt von der Art und Weise ab, wie Entscheidungskriterien, Präferenzen und Optimierungskriterien dargestellt werden müssen.
- Die Anpassbarkeit und damit die Wartbarkeit der Lösungsverfahren ist zu berücksichtigen.

Das Beispielproblem des Entwurfs optimaler Mietleitungsnetze ist für die Diskussion in diesem Artikel vereinfacht. Die gegebenen logischen Verbindungen mit vorgegebener Last sind auf physikalische (Miet-)Leitungen abzubilden, so dass die Gesamtkosten der Konfiguration der Leitungen minimal sind. Die Kosten einer Leitung sind das Produkt aus der Leitungslänge und ihrer Kapazität. In *Figur 1* ist ein Beispielnetz von Verbindungen gegeben. *Figur 2* zeigt eine dafür mögliche Konfiguration von Leitungen. Hier ist die Verbindung A—C über





Verbindung	Last [kbps]
A-B	30
A-C	30
B-C	20

Fig. 1 Gegebene Verbindungen und deren Last  $t_{ij}$

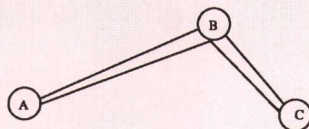
B, d. h. Route A—B—C, geführt. Die Routen aller Verbindungen legen gerade auch die Kapazitäten der Leitungen fest. Ferner ist zu bemerken, dass die Leitungen nur bestimmte Kapazitätswerte annehmen können.

### 32 Vollständige Suche

Bei der vollständigen Suche werden alle möglichen Konfigurationen mit deren Kosten erzeugt. Die optimale Lösung ist die Konfiguration mit den geringsten Kosten. Die *Tabelle* rechts oben zeigt die Zahl der potentiellen Lösungen, auch Grösse des Suchraums genannt, in Funktion der Anzahl der Knoten. Die Komplexität ist bei  $n$  Knoten und  $q$  Verbindungen  $O(n^q)$ , d. h. die Zahl der Möglichkeiten ist von der Grössenordnung  $n^q$  und das Problem somit kombinatorisch. Praktisch heisst das, dass mit der vollständigen Suche nur triviale Fälle gelöst werden können. Viele der praktisch interessanten Entwurfsprobleme sind durch solch enorm grosse Suchräume charakterisiert.

Die vollständige Suche ist ein sehr allgemeines Verfahren, weil für die Lösung kein besonderes Wissen über das Problem verwendet wird. Praktikable Lösungsverfahren benützen zusätzliches Wissen oder Informationen über den Lösungsraum, um möglichst wenige potentielle Lösungen zu berechnen und zu bewerten.

Dieses zusätzliche Wissen muss natürlich formalisiert werden, damit es einem Problemlösungsverfahren zur



Leitung	Last [kbps]	Leitungskapazität [kbps]
A-B	60	64
B-C	50	64

Fig. 2 Mögliche Lösung zu Figur 1

*Tabelle.*  
Grösse des Suchraums für vier Verbindungen

Zahl der Knoten	Zahl der Möglichkeiten
3	16
4	625
5	65536
6	16777216
7	11294588176

Verfügung gestellt werden kann. Diese Formalisierung wird *einmal* durchgeführt und kann danach für beliebig viele Instanzen des Problems verwendet werden. Daher kann man sagen, dass die vollständige Suche ein Verfahren ist, bei dem Ingenieurarbeit durch Rechenleistung ersetzt wird. Diese Art von Kostenreduktion macht in gewissen Fällen erst die wirtschaftliche Ausführung einer Anwendung möglich. Auch die Ermittlung von Problemlösungswissen selbst kann automatisiert werden. Ein Beispiel ist in [4] zu finden, bei dem die automatische Ermittlung fünfzigmal günstiger ist.

### 33 Ganzzahlige lineare Optimierung

In diesem Unterkapitel wird das Mietleitungsproblem als ganzzahliges lineares Optimierungsproblem formuliert. Auf das eigentliche Lösungsverfahren wird nur bezüglich der Revision eingegangen. Das Problem ist gegeben durch:

- $n$  Knoten mit den Distanzen  $d_{ij}$  zwischen allen Knotenpaaren  $(i, j)$
- die Menge der Verbindungen  $V$  mit  $q$  Verbindungen  $(i, j)$  und dem Verkehrsaufkommen  $t_{ij}$

Gesucht sind die Werte der Kapazitäten  $c_{ij} \geq 0$  jeder möglichen Leitung  $(i, j)$  zwischen den Knoten, so dass die Gesamtkosten

$$\sum_{(i,j)} d_{ij} c_{ij} \stackrel{!}{=} \text{minimal} \quad (1)$$

mit

$$c_{ij} = \sum_{(m,n) \in V} \alpha_{mn}^{ij} t_{mn} \quad \text{mit } \alpha_{mn}^{ij} \in \{0,1\}$$

minimal sind.  $\alpha_{mn}^{ij} = 1$  bedeutet, dass die Verbindung  $(m, n)$  über die Leitung  $(i, j)$  geführt wird.

#### Nebenbedingungen

Neben der Zielfunktion (1) muss die Lösung noch eine Reihe von Nebenbedingungen erfüllen. An Hand des Beispiels, dass eine Verbindung über eine kontinuierliche Route geführt werden muss, wird gezeigt, wie eine Bedingung als Gleichung formuliert wird. Für die weiteren Überlegungen werden gerichtete Leitungen eingeführt. Gemäss *Figur 3* muss jene Route der Verbindung (6, 4), die zum Knoten 2 hinführt, auch von diesem weg-führen (Kontinuitätsbedingung). Ferner soll sie nur über



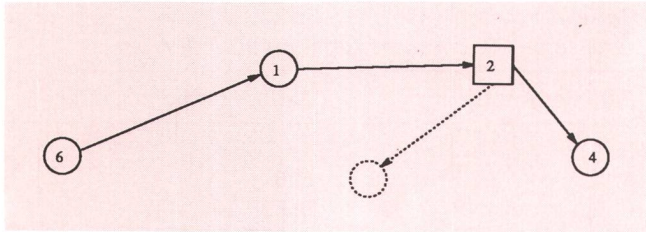


Fig. 3 Darstellung einer Route für die Verbindung (6, 4)

eine einzige Leitung weggeführt werden. Diese Bedingungen sind als Gleichung (2) formuliert.

$$\alpha_{mn}^{ik} + \sum_{j=1}^n \alpha_{mn}^{kj} \leq a_{mnk} \alpha_{mn}^{ik} \quad (2)$$

mit

$$\alpha_{mn}^{ki} = 0$$

$$a_{mnk} = \begin{cases} 2 & \text{wenn } m \neq k \wedge n \neq k \\ 1 & \text{wenn } n = k \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\alpha_{mn}^{im} = 0$$

Führt keine Leitung (i, k) für die Verbindung (m, n) zu k, so darf auch keine Verbindung wegführen, ausser es sei n=k. Dies wird durch die entsprechende Definition von a<sub>mnk</sub> erreicht. Der Fall n=k entspricht dem Anfang einer Route.

#### Präferenzen

Präferenzen und andere Entscheidungskriterien werden als Zahlenwerte modelliert und müssen in der Kostenfunktion vorkommen. Dies wird nun am Beispiel der freien Kapazitäten diskutiert. Mietleitungen sind nur in diskreten Kapazitäten erhältlich. Daher muss für eine bestimmte benötigte Kapazität c<sub>ij</sub> die nächstgrössere Mietleitungskapazität [c<sub>ij</sub>] gemietet werden. Die Kostenfunktion (1) kann nun angepasst werden, so dass die freien Kapazitäten minimiert werden.

$$\sum_{(i,j)} d_{ij} c_{ij} + \beta \sum_{(i,j)} \frac{[c_{ij}] - c_{ij}}{[c_{ij}]} \stackrel{!}{=} \text{minimal} \quad (3)$$

Mit Gleichung (3) werden die Gesamtkosten und die freien Kapazitäten minimiert. Der Faktor β ≥ 0 bestimmt die Gewichtung der Minimierung der freien Kapazitäten. Die Wahl des Wertes für β ist problematisch, da ein zu grosser Wert die kostenoptimale Lösung ausschliesst. Der Grund dafür ist, dass minimale freie Kapazitäten keine kostenoptimale Lösung garantieren.

Dieses Beispiel zeigt, dass die Wahl der Koeffizienten für Präferenzen, besonders für vielschichtige, problematisch ist. Der Grund dafür ist der Verlust von Information durch die Transformation der Präferenzen in numerische Koeffizienten.

#### Revision

Bei der linearen Optimierung kann keine Erklärung der Lösung erzeugt werden. Dies ist besonders ungünstig, wenn keine Lösung gefunden wird. Oft schliessen die Nebenbedingungen eine Lösung aus. In diesem Fall muss der Anwender den Konflikt zwischen den Nebenbedingungen auflösen. Dazu müsste er wissen, welche Nebenbedingungen miteinander in Konflikt stehen. Diese Information kann die lineare Optimierung aber nicht liefern. Diese Problematik wird z. B. in [5] im Detail behandelt.

### 34 Heuristische Konstruktion

An dieser Stelle wird an die Diskussion aus Kapitel 32 über die Verwendung zusätzlichen Wissens, um die Aufgabe berechenbar zu machen, angeknüpft. Heuristiken sind genau solches Wissen. Zum Beispiel wird in Fig. 4 eine einfache Heuristik gezeigt, die eine gewisse Struktur erkennt und in eine kostengünstigere überführt. Durch die Einschränkung der Auswahl wird der Suchraum verkleinert.

Mit Heuristiken dieser Art kann in einem Suchverfahren die jeweils lokal beste Alternative gewählt werden. Ein solches lokales Suchverfahren besteht aus folgenden Schritten:

1. Eine Basislösung<sup>2</sup>, der erste Kandidat, wird erstellt. Dies entspricht der Bestimmung des Startpunktes für die Suche im Suchraum.
2. Bewertung der Kandidaten bezüglich einer Zielfunktion.
3. Abbruchbedingung prüfen. Ist zum Beispiel einer der Kandidaten als Lösung akzeptabel, so endet der Algorithmus.
4. Neue Kandidaten aus den besten vorhandenen Kandidaten mit heuristischen Modifikationen erzeugen. Mit Schritt 2. fortfahren.

Lokale Suchverfahren kennen die globalen Eigenschaften des Suchraums nicht, so dass sie in Sackgassen geraten können, d. h. das Verfahren findet keine bessere

<sup>2</sup> Ein einfaches Verfahren zur Bestimmung einer Basislösung ist die Verwendung einer Leitung je Verbindung.

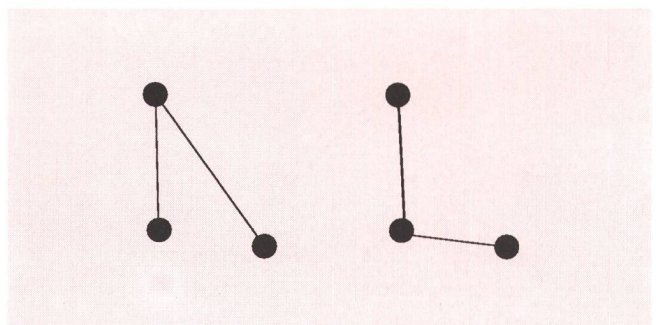


Fig. 4 Vermeiden von langen Leitungen

Im linken Bild sind zwei lange Leitungen vorhanden. Die Heuristik zum Vermeiden von langen Leitungen erzeugt die auf der rechten Seite dargestellte Konfiguration. Dabei sind natürlich neben den Distanzen auch die Lasten auf den Leitungen zu berücksichtigen



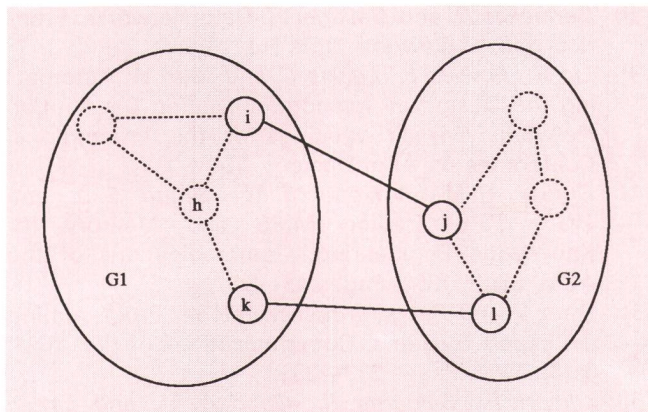


Fig. 5 Mietleitungsnetz aufgeteilt in zwei Teilnetze  $G_1$  und  $G_2$

Alternative, weil es ein lokales Optimum erreicht hat. Daher können lokale Suchverfahren oft keine optimalen Lösungen garantieren. In der Praxis werden sie aber eingesetzt, da es für gewisse Probleme grosser Komplexität keine besseren Verfahren gibt und bei geeigneter Wahl der Basislösung gute Ergebnisse erzielt werden können [2].

### 35 Erfüllung von Randbedingungen

Die Erfüllung von Randbedingungen (Constraint Satisfaction Problem) mit CSP-Techniken (Constraint Satisfaction Programming, Programmierung zur Erfüllung von Randbedingungen) wird im folgenden diskutiert. Mit diesen kann der Suchraum auf jenen Teilraum eingeschränkt werden, in dem alle Randbedingungen erfüllt sind. Bei Optimierungsaufgaben ist die Lösung dann im verbleibenden Teilraum zu suchen. Die Interaktion der Randbedingungen ist bei diesem Verfahren explizit vorhanden. So können Randbedingungen, die eine Lösung ausschliessen, einfach ermittelt werden.

Im folgenden wird das Entwurfsbeispiel um eine Randbedingung erweitert: Bei Ausfall einer einzigen Leitung muss der zugehörige Verkehr über andere Leitungen geführt werden können. Aus dieser neuen Forderung folgt, dass zu jedem Knoten mindestens zwei Leitungen führen. Wenn die Knoten eines Netzes in zwei Mengen  $G_1$  und  $G_2$  aufgeteilt werden, so verbinden eine oder mehrere Leitungen diese Teilnetze, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist. Um einen Ausfall einer Leitung tolerieren zu können, muss die Bedingung aufgestellt werden, dass mindestens zwei Leitungen alle möglichen Paare von Teilnetzen  $G_i$  des Netzes verbinden. Wenn nun die Leitung  $(k, l)$  ausfällt, so muss die Leitung  $(i, j)$  die Last von  $(k, l)$  übernehmen. Daraus folgt die Bedingung (4).

$$c_{ij} \geq \sum_{(m,n) \in EV} \alpha_{mn}^{kl} t_{mn} + \sum_{(m,n) \in EV} \alpha_{mn}^{ij} t_{mn} \quad (4)$$

Aus Fig. 5 ist auch ersichtlich, dass je Knoten mehrere Bedingungen bestehen, weil ein Mietleitungsnetz in unterschiedliche Paare von Teilnetzen ( $G_1, G_2$ ) aufgeteilt werden kann. Die Bedingungen bilden zusammen ein

Netz (Constraint Network). Die Bedingung (4) schränkt den Wertebereich der Variablen  $c_{ij}$  ein, ohne einen exakten Wert festzulegen. Dieses Vorgehen, genannt Least Commitment (kleinste Verpflichtung), ist oft vorteilhaft, da der exakte Wert so spät wie möglich festgelegt werden kann.

### 36 Kombinierte Verfahren

Das gewählte Beispiel zeigt, dass erst die Kombination der vorher skizzierten Problemlösungsmethoden zu einem praktisch verwendbaren Verfahren führt.

Nach Fig. 6 können Mietleitungsnetze lokale Häufungen von Knoten aufweisen, entsprechend den gestrichelten Kreisen. In solchen Fällen ist es sinnvoll, das Originalproblem zu vereinfachen, indem die Häufungen zu einem einzigen Knoten, entsprechend den Kreisen, zusammengefasst werden. Für das vereinfachte Problem wird dann ein optimales Netz entworfen. In einem zweiten Schritt werden die «lokalen» Netze für die Verbindungen innerhalb der Kreise entworfen. Die lokalen Netze können praktisch unabhängig voneinander entworfen werden. Die wenigen Abhängigkeiten können besonders gut mit CSP-Techniken behandelt werden.

Aus Gleichung (4) folgt, dass die beiden Leitungen  $(i, j)$  und  $(k, l)$  der Fig. 5 die gleiche Kapazität haben müssen. Daher ist es sinnvoll, ein Netz für die Verbindungen mit grosser Last zu konstruieren, bevor jene mit kleiner Last berücksichtigt werden. Diese Erkenntnis erlaubt die Vereinfachung des Problems durch Verminderung der Problemgrösse. Bei der Kombination dieser beiden Vereinfachungen ist zu beachten, dass sie nicht unabhängig sind. Dies hat zur Folge, dass die Reihenfolge der Anwendung die Qualität der Lösung bestimmt.

Zum Entwurf der Teilnetze können die vorher genannten Verfahren eingesetzt werden. Die Anforderungen an die Anwendung bestimmen, welches Verfahren geeignet ist.

### 4 Schlussbemerkungen

Die Ausführungen zeigen, warum die rechnergestützte Konstruktion, besonders für den Entwurf und die Optimierung von Telekommunikationsnetzen, für ein Telekommunikationsunternehmen unerlässlich ist. Rechnergestützte Hilfsmittel tragen dazu bei, dass ein Unterneh-

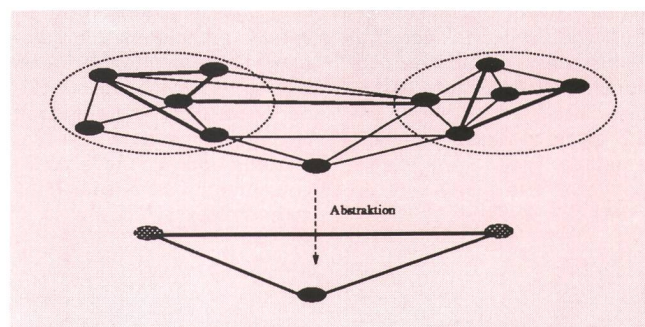


Fig. 6 Lokale Häufungen

Die obere Hälfte zeigt ein Netz mit zwei lokalen Häufungen an Knoten und deren Verbindungen. Die untere Hälfte stellt das abstrahierte Netz dar



men den gestellten Anforderungen gerecht werden kann. Mit solchen Werkzeugen können auch Marktvorteile erreicht werden. Diese Überlegungen werden durch Projekte verschiedener Telekommunikationsunternehmen bestätigt.

Die unterschiedlichen Eigenschaften der Verfahren zeigen klar, dass für die Problemlösungskomponente computerunterstützter Konstruktionssysteme die richtige Kombination der richtigen Problemlösungsverfahren gefunden werden muss. Dies wird auch durch kommerziell erfolgreiche Anwendungen bestätigt. Neben den in Kapitel 2 erwähnten Anwendungen zeigt ein Projekt, in dem Werkzeuge zur Untersuchung dynamischer Systeme wie Klima, Populationsdynamik usw. entwickelt werden, gut die Möglichkeiten, die die Kombination von Problemlösungsverfahren eröffnet [1, 10].

Ferner zeigen die Ausführungen, dass Techniken der künstlichen Intelligenz jene des «Operations Research» nicht ersetzen oder umgekehrt, sondern dass diese Techniken sich ergänzen.

### Bibliographie

[1] *Abelson H. and Eisenberg M. et al.* Intelligence in Scientific Computing. Communications of the ACM, 32(5), 1989.

[2] *Bertsekas D. and Gallager R.* Data Networks. Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ, 1987.

[3] *Liu H., Rowles C., Leckie C. and Wen W.* Automating the Design of Telecommunication Distribution Networks. In «Proceedings of the International Conference on AI in Design», 1991.

[4] *Creedy R. H., Masand B. M., Smith S. J. and Waltz D. L.* Trading MIPS and Memory for Knowledge Engineering. Communications of the ACM, 35(8), 1992. Pages 48–64.

[5] *Dhar V. and Ranganathan N.* Integer Programming vs. Expert Systems. Communications of the ACM, 33(3), 1990. Pages 323–336.

[6] *Glibert E., Salgame R., Goodarzi A. and Lin Y.* ARACHNE: Weaving the Telephone Network at NYNEX. Proceedings of the IAAI'92. AAAI, 1992.

[7] *Jüchter H. und Hammer M.* Rechnergestützte Netzplanung für PDH- und SDH-Netze. Philips Telecommunication Review, 51(1), 1993. S. 43–50.

[8] *Oppliger R., Weber S. und Liver B.* Expertensystem konfiguriert virtuell private Netze. Output (5), 1992. S. 43–47.

[9] *Puppe F.* Problemlösungsmethoden in Expertensystemen. Berlin, Springer, 1990.

[10] *Man-Kam Yip K.* KAM: A system for Intelligently guided numerical experimentation by computer. London, MIT Press, 1991.

### Zusammenfassung Résumé

*Rechnergestützte Konstruktion: Nutzen und Problemlösungsmethoden*

Die Notwendigkeit und der Nutzen der rechnergestützten Konstruktion für Aufgaben im Telekommunikationsbereich werden dargestellt. Das Problemlösungsverfahren ist die zentrale Komponente rechnergestützter Konstruktionswerkzeuge. Um das Potential und die Grenzen von Verfahren und deren Entwurf zu zeigen, werden diese ausführlicher dargestellt. Ferner wird dargelegt, dass praktische Anwendungen oft eine Kombination verschiedener Lösungstechniken erfordern. Es wird auch gezeigt, dass Techniken der künstlichen Intelligenz (Artificial Intelligence) jene des «Operations Research» nicht ersetzen oder umgekehrt, sondern dass beide sich ergänzen.

*Construction assistée par ordinateur: utilité et méthodes de résolution des problèmes*

L'auteur explique la nécessité et l'utilité de recourir à la construction assistée par ordinateur pour les tâches relevantes des télécommunications. La procédure de résolution des problèmes est l'élément constitutif principal des outils de construction assistés par ordinateur. L'article présente quelques procédures et ses phases d'étude en détail afin d'en montrer le potentiel et les limites. Il se révèle que les applications pratiques présupposent souvent une combinaison de diverses techniques de solution. L'auteur montre aussi que la technique de l'intelligence artificielle ne saurait remplacer celle de la recherche opérationnelle ou inversement, mais que les deux se complètent.

### Riassunto

*Costruzione assistita da calcolatore: sua utilità e metodi adottati per la soluzione dei problemi*

L'autore spiega la necessità e l'utilità della costruzione assistita da calcolatore per compiti nell'ambito delle telecomunicazioni. La procedura di soluzione dei problemi è la componente centrale degli strumenti per la costruzione assistita da calcolatore. I metodi e i relativi progetti vengono presentati in modo più dettagliato per mostrare il potenziale e i limiti insiti in essi. Egli spiega in seguito che le applicazioni pratiche richiedono spesso una combinazione di diverse tecniche di risoluzione; mostra inoltre che le tecniche dell'intelligenza artificiale (Artificial Intelligence) non sostituiscono quelle dell'«Operations Research» o viceversa, ma si completano.

### Summary

*Computer Aided Construction: Utility and Problem Solving Methods*

The necessity and the utility of computer aided construction for projects in the field of telecommunications are described. The problem solving procedure is the central component of computer aided construction tools. In order to show the potential and the limits of procedures and their concepts, these are described in detail. Furthermore it is pointed out that practical applications often require a combination of different solution techniques. The author also shows that techniques of artificial intelligence do not replace those of «Operations Research» or vice versa but that they complement each other.