Entwicklung von Komponenten für den Einsatz bei bauingenieurspezifischen Problemen

Reinhard Hüttermann, Peter Milbradt, Martin Rose, Frank Sellerhoff

Kurzfassung: *Auf dem Forum Bauinformatik 1995 in Hannover war das Institut für Bauinformatik mit zwei Vorträgen vertreten, die zwei grundlegende Datenstrukturen der Informatik zum Thema hatten: Graphen und Simplexe. Diese beiden Datenstrukturen wurden erarbeitet, ohne sie bereits explizit mit möglichen Anwendungen des Bauingenieurwesens in Verbindung zu bringen. In der weiteren Vorgehensweise hat sich herausgestellt, daß sehr unterschiedliche Entwicklungen auf natürliche Weise zu einer komplexen Anwendung zusammenwachsen können. Aus der Sicht des Ingenieurs stellt die vorgestellte Software ein "Regelwerk" dar, das es ihm ermöglicht, seine spezifische Anwendungen zu analysieren und zu implementieren. Als Beispiele für diese effiziente Vorgehensweise werden gezeigt: Die Entwicklung eines objektorientierten Modells für eine dynamisch gesteuerte Lichtsignalanlage, das für bestimmte Teilaufgaben der Simulation auf einen Graph zurückgreift, die Auffassung eines simplizialen Komplexes als eine strukturierte Menge von Simplexen und die Formulierung einer Finite–Element–Approximation auf der Basis von Simplexen. Es wird gezeigt, wie Wiederverwendbarkeit von Software realisiert werden kann. Mit einigen wenigen Basisbausteinen können komplexe Anwendungen im Bauingenieurwesen modelliert werden.*

1 Einleitung

Die im folgenden vorgestellten Basiskomponenten sind zum größten Teil als parametrische Klassen (Schablonen) implementiert. Hierdurch wird der Charakter eines Regelwerkes unterstrichen. Werden Klassenschablonen normalerweise nur für Containerklassen genutzt, so werden sie an dieser Stelle verwendet, um Vorgehensweisen und Algorithmen für beliebige abstrakte Datentypen zu implementieren. Der in die Klassenschablone eingefügte Datentyp wird im folgenden Ausprägung genannt. Zum Beispiel stellt die Klassenschablone Zellkomplex, gefüllt mit der Ausprägung Simplex, seinerseits gefüllt mit der Ausprägung Punkt, die Anwendung der Regeln auf ein konkretes Beispiel euklidischer Simplizialkomplexe dar.

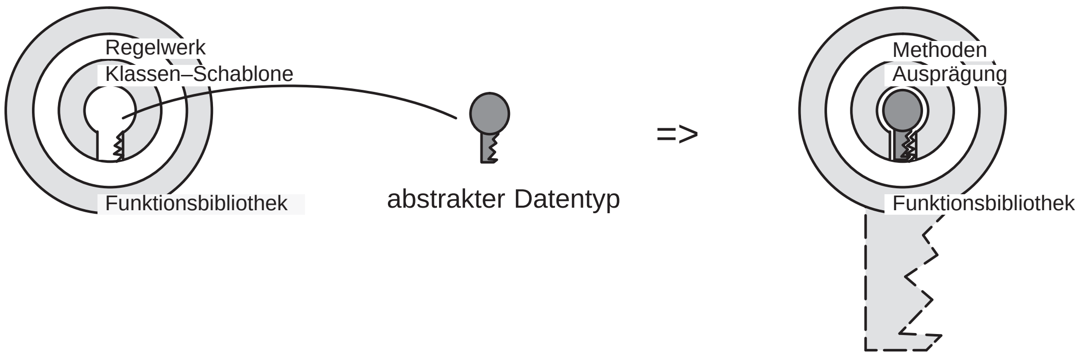


Bild 1: Regelwerk für bauingenieurspezifische Probleme

Dipl.–Ing. Reinhard Hüttermann, Dr.–Ing. Peter Milbradt
cand.–Ing. Martin Rose, Dipl.–Ing. Frank Sellerhoff

Institut für Bauinformatik
Universität Hannover

2 Die Basiskomponente Graph

Die Basiskomponente Graph umfaßt und nutzt entsprechend der Definition eines Graphen die Regeln der Mengen– und Relationenalgebra. Die Objekte werden durch eine Menge und die Beziehungen zwischen den Objekten durch eine Relation abgebildet.

2.1 Die Entwicklung

Die bei der Modellierung dieser Basiskomponente verfolgten Ziele wurden motiviert durch das Studium existierender Datenstrukturen für Graphen. Diese arbeiten meist zwar sehr effizient, führen aber zu einer unübersichtlichen Schnittstelle, weil sie die Regeln des Datenmodells nicht widerspiegeln. Daraus resultiert häufig ein Akzeptanzverlust bei den potentiellen Anwendern. Ziel war es, eine Schnittstelle zu schaffen, die explizit die Regeln des Datenmodells Graph widerspiegelt, sich also im Funktionsumfang auf diese Regeln beschränkt (minimale Schnittstelle) und die interne Datenstruktur kapselt. Dadurch ist eine hohe Akzeptanz und einen hoher Grad der Wiederverwendbarkeit des Regelwerkes durch den Benutzer erreicht worden.

Die Idee war, sich bei der Modellierung durch die mathematische Definition für einen Graph leiten zu lassen. Entsprechend wurden zur Modellierung die Regeln der Mengen– und Relationenalgebra formuliert und mit Hilfe der Programmiersprache C++ in den Klassen `set` und `relation` implementiert. Durch die Aggregation der Klassen `set` und `relation` zu einer neuen Klasse `graph` wurden die Regeln der Mengen– und Relationenalgebra auf den Datentyp `graph` übertragen. Basierend auf dieser Basiskomponente wurden weitere Datenmodelle entwickelt. Den aktuellen Stand der Entwicklung spiegelt Bild 2 wieder.

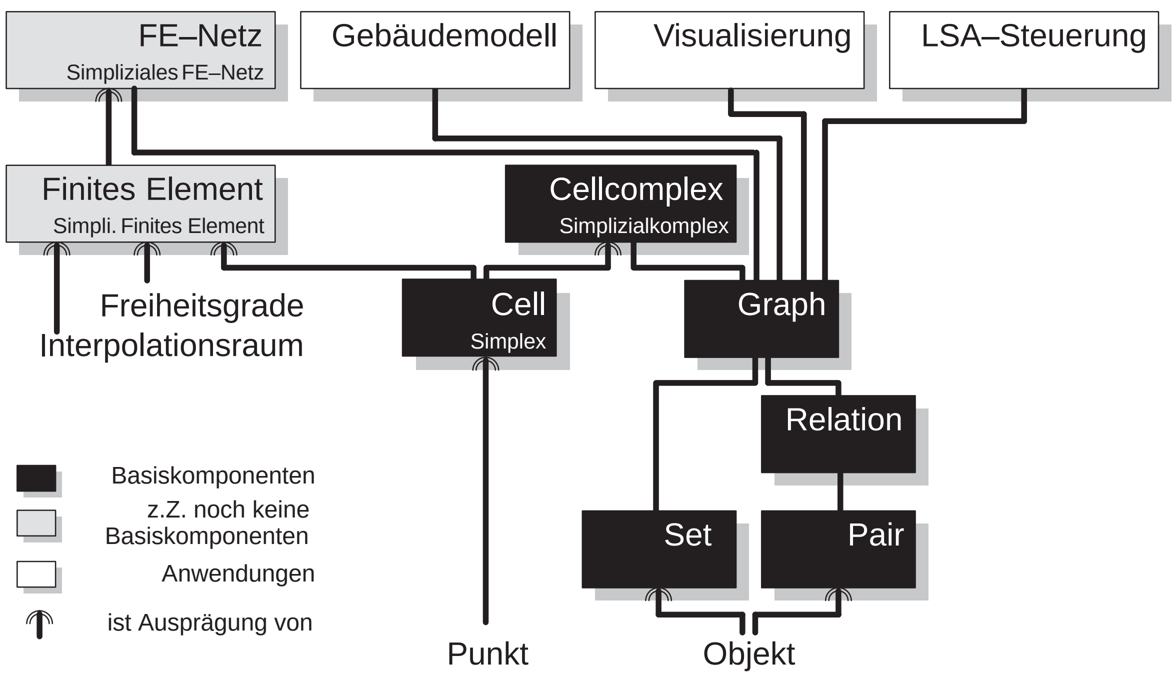


Bild 2: Basiskomponenten zur Modellierung von Anwendungen in Bauingenieurwesen

2.2 Die Regeln

Die Regeln der Basiskomponente Graph setzen sich aus den Regeln der Mengen– und der Relationenalgebra zusammen. Die diesen Regeln entsprechenden Operationen sind in [1] beschrieben. Sie waren die Orientierung für die Definition der minimalen Schnittstelle der Klasse `graph`. Durch die Realisierung mit Hilfe von Klassenschablonen kann die Basiskomponente Graph mit beliebigen Datentypen (Objekten) gefüllt werden, d. h. die für strukturierte Mengen in der Basiskomponente Graph festgelegten Regeln können auf beliebige Probleme mit strukturierten Mengen angewendet werden.

3 Die Basiskomponente Zelle

Zur geometrischen Modellierung haben sich Simplexe in beliebigen Dimensionen, als die einfachsten geometrischen Objekte, als sehr geeignet herausgestellt [2]. Weiterführende Anwendungen der Simplexe, so als Träger Finiter Elemente, führen zur Forderung auch andere "einfache" geometrische Objekte zu beschreiben. Konvexe Polyeder bzw. konvexe Zellen stellen die natürliche Verallgemeinerung von Simplexen dar.

Die konsequente Fortführung der Betrachtung eines Simplexes als Ausprägung einer konvexen Zelle wird dazu führen, topologische Zellen, aufgefaßt als homöomorphes Bild einer konvexen Zelle, zu betrachten.

4 Die Basiskomponente Zellkomplex

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz abstrakter Modellvorstellungen ist der Zellkomplex. In ihm vereinigen sich die Modellvorstellungen von Punkten, Zellen und Graphen. Die Modellvorstellung Zellkomplex ist sowohl für den Einsatz in der geometrischen Modellierung als auch der Beschreibung finiter Elemente und deren Netze konzipiert.

4.1 Die Entwicklung

Die Modellvorstellung Zellkomplex stellt das Resultat der Abstraktion von Dreieck– und Rechtecknetzen dar. Zunächst wurde eine Variabilität in der Dimension angestrebt. Ergebnis dieser Bemühungen war die Beschreibung beliebigdimensionaler konvexer Hüllen und Triangulationen [2] auf der Basis von Simplexen. Sowohl eine konvexe Hülle, als auch eine Triangulation stellt einen Verbund von Simplexen dar. Aufgrund der Variabilität in der Dimension, konnte nicht auf Erfahrungen aus der zweiten Dimension zurückgegriffen werden. Dies führte zur Auffassung des *simplizialen* Komplex als einen Graph mit Knoten (Simplexen) und Kanten (Verbindungen zwischen Simplexen).

Die so gefundenen Regeln erwiesen sich für so allgemein, daß es möglich war, mit recht geringem Aufwand die Modellvorstellungen soweit zu modifizieren, das ein Zellkomplex als Schablone für bestimmte abstrakte Datentypen aufgefaßt werden kann. Diese Datentypen müssen lediglich den Regeln von topologischen Zellen genügen. Der Simplizialkomplex ist nunmehr eine spezielle Ausprägung des Zellkomplexes, der Simplex eine Ausprägung einer beliebigdimensionalen Zelle und der euklidische Punkt Ausprägung eines Punktes.

4.2 Die Regeln

Der Schablonencharakter sowohl des Zellkomplexes als auch der Zellen, Punkte, Graphen usw. macht es notwendig die Operationen und Methoden auf diesen als Regeln zu definieren. Wichtige charakteristische Regeln sind nachfolgend benannt:

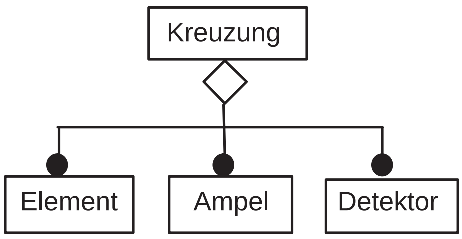
Punkt:	*Regeln eines linearen Raumes, Metrik, Norm, Identität*
Zelle:	*Kohärenz, Volumen, Identität*
Zellkomplex:	*Kohärenz, +–Operator*

Die Anwendung der Schablone auf einen konkreten Datentyp erzeugt aus den Regeln Methoden der Ausprägungen.

5 Anwendungen

5.1 Anwendung von Graph für die Steuerung einer Lichtsignalanlage

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde die Basiskomponente Graph zur Modellierung einer dynamisch gesteuerten Lichtsignalanlage herangezogen. Durch das Füllen des Regelwerkes Graph mit einem Datentyp `element`, der die durch Verkehrsteilnehmer benutzbaren Bereiche eines Verkehrsknotenpunktes beschreibt, wurde die Ausprägung Verkehrsknotenpunkt erzeugt. Der Verkehrsknotenpunkt wurde in Bereiche mit Betriebsmitteln wie Zebrastreifen, Fahrspuren, Haltelinien etc. eingeteilt. Die Beziehungen dieser, für unterschiedliche Verkehrsteilnehmer benutzbare Bereiche, können durch einen Graph beschrieben werden. Die Knoten des Graphen repräsentieren die Flächenelemente und die Kanten vorhandene Folgebeziehungen. Der Graph repräsentiert damit eine strukturierte Menge von Flächenelementen. Die durch den Graph geschaffene Ordnung kann durch weitere Betriebsmittel wie Ampeln zur Steuerung der Verkehrsteilnehmer und einer Menge von Detektoren zur Erfassung der Verkehrsteilnehmer unterstützt werden. Diese drei Komponenten repräsentieren gleichzeitig die Attribute einer Straßenkreuzung. Der Zusammenhang und der Klassenaufbau ist in Bild 3 dargestellt.




```
class Kreuzung {
     private: graph<element>DieFlaechenelemente;
              graph<long>   DieVerkehrsstroeme;
              detector*     DieDetektoren;
              ampel*        DieAmpeln;}
```

Bild 3: Attribute einer Kreuzung

Während eines Simulationsschrittes werden Verkehrsteilnehmer mit einem Quell– und Zielelement erzeugt. Jeder dieser Verkehrsteilnehmer muß sich mit diesen Informationen einen zulässigen, kürzesten Weg durch den Knotenpunkt suchen. Diese Aufgabe wurde auf die in der Graphentheorie bekannte Problemstellung der Routensuche zurückgeführt.

Im weiteren Verlauf eines Simulationsschrittes wird aufgrund definierter Kriterien ein Verkehrsstrom mit einer höchsten Priorität ermittelt. Um einen maximalem Abfluß an Verkehrsteilnehmern aus der Kreuzung zu ermöglichen, ist zu diesem Strom eine optimale Kombination weiterer mit ihm verträglicher Ströme zu berechnen. Dieses Problem wurde auf das in der Graphentheorie bekannte Problem des Einfärben eines Graphen zurückgeführt.

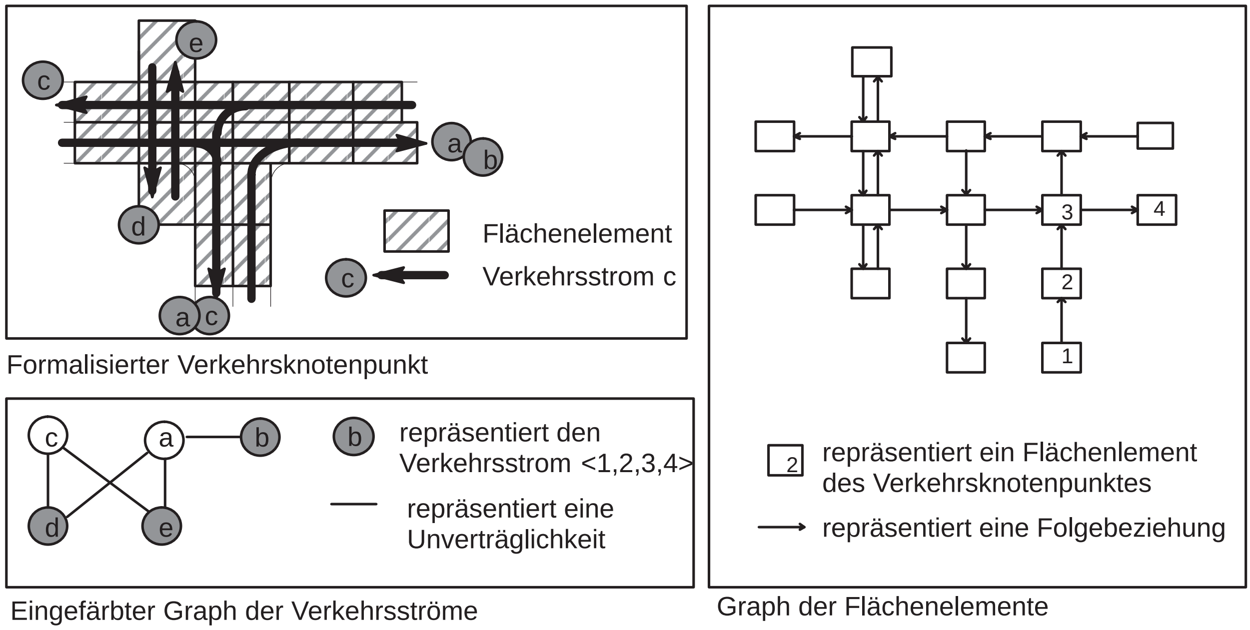


Bild 4: Verkehrsknotenpunkt, Graph der Verkehrsströme und der Flächenelemente

5.2 Anwendung von Zellkomplex für Geometrische Modelle

Der allgemeine Charakter des Zellkomplexes läßt erwarten, das er sich auf eine Vielzahl praktischer Fragestellungen einsetzen läßt. Die Funktionsfähigkeit wurde zunächst an beschränkten Problemstellungen getestet.

Bild 5: Konvexe Hülle von Punkten der dritten Dimension und zugehörige Schnittfigur. Schnittfigur (Prisma) eines Simplex vierter Ordnung mit einem Raum.

Die klassische Herangehensweise an geometrische Modelle kann durch eine allgemeinere ersetzt werden. Es können Punkte beliebiger Gestalt in beliebiger Dimension zunächst uneingeschränkt trianguliert werden, in einer beliebigen Form zu Zellen verbunden und in einem Zellverband Zellkomplex verwaltet werden.

```
// Definition von Containern und eines Simplex ...
   liste   < punkt > Punkte;
   liste   < punkt > Raum  ;
   simplex < punkt > s     ;
// Ermitteln der konvexen Hülle ...
   complex < simplex < punkt > > Huelle = Convex_Hull( Punkte );
// Hinzufügen eines Simplex zur konvexen Hülle ...
   Hull += s;
// Ermitteln der Schnittfigur mit einem zuvor definiertem Unterraum ...
   complex < simplex < punkt > > Schnitt = Cut( Huelle, Raum );
// Triangulieren der Punkte der Schnittfigur ...
   complex < simplex < punkt > > Netz = Triangulate( Schnitt );
```

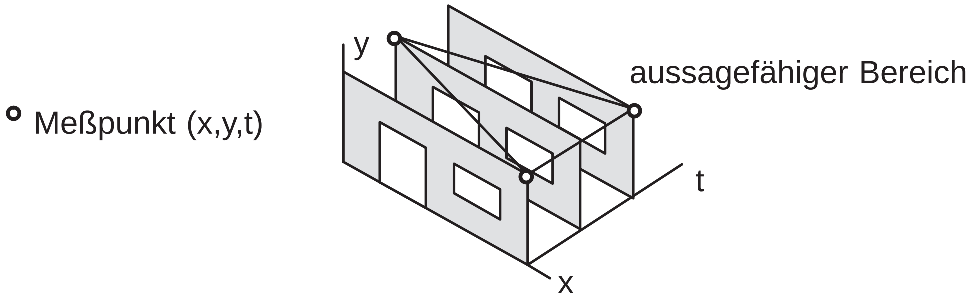


Bild 6: Auswertung einer Meßreihe von drei Punkten an unterschiedlichen Orten, zu verschiedenen Zeitpunkten

Erweitert man diese geometrische Sichtweise auf die Anwendung Begleitende Bauwerksvermessung, so läßt sich auf der Basis nur weniger Meßwerte (in Ort und Zeit) ein umfassendes Bild über Vorgänge (z.B. Setzungen) während des Meßprogramms machen.

5.3 Kombination von Zellkomplex und Finite–Element

Zur Beschreibung kontinuierlicher Strukturen werden Finite Elemente verwendet. Die Auffassung eines Finiten Elementes (vgl. Bild 2) beinhaltet als Träger der Geometrie eine kompakte Menge, einen Interpolationsraum und Freiheitsgrade. Ensprechend wird ein Finites–Element erzeugt durch die Zusammenführung der Ausprägung einer kompakten Menge (in diesem Beispiel: Simplex), der Ausprägung eines Interpolationsraumes (z. B. die LAGRANGE'schen Polynome der SERENDIPITY–Klasse) und der Ausprägung für die Freiheitsgrade (z. B. der Freiheitsgrad zwei für ein BERNOULLI–Balkenelement).

Ein Finite–Element–Netz besteht aus einer Menge von Finiten Elementen, denen eine Struktur aufgeprägt wird. Aus diesem Verständnis heraus liegt es nahe, einen Zellkomplex mit der Ausprägung Finite–Element (z. B. Simpliziales Finites Element) zu füllen und damit eine Ausprägung eines Finite–Element–Netzes zu erhalten. Damit eignet es sich die Eigenschaften und Regeln eines Finiten–Elementes und eines Zellkomplexes an.

Weitere Details dieser Anwendungsmöglichkeiten sind in dem Beitrag “Allgemeine komponenten–orientierte Finite–Element–Modellierung” von cand.–Ing. Markus König und Dr. Ing.–Peter Milbradt ausführlich beschrieben.

[1] Entwicklung einer Datenstruktur für Graphen zum Einsatz in Ingenieuranwendungen. M. Rose, R. Hüttermann. 7. Forum Bauinformatik, Hannover.

[2] Objektorientiertes Modell für simpliziale Zerlegungen im n–dimensionalen Raum. F. Sellerhoff. 7. Forum Bauinformatik, Hannover.