

Ein Schichtendiagramm zur dreidimensionalen Modellrepräsentation

Dipl.-Wirtsch.-Inf. Jean Allisat
Prof. Dr. Werner Esswein
Dipl.-Wirtsch.-Inf. Steffen Greiffenberg

Technische Universität Dresden
Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Systementwicklung

Abstract: Modelle sind das wichtigste Hilfsmittel, um Systeme analysieren und gestalten zu können (vgl. [FeSi98], S. 117). Die zunehmende Komplexität der untersuchten Systeme führt jedoch auch zu immer komplexeren Modellen (vgl. [Schü98], S. 115), deren grafische Repräsentation stets den Bedürfnissen und Fähigkeiten der Modellnutzer entsprechen muss (vgl. [FrPr97], S. 16). Übliche zweidimensionale Darstellungen stoßen dabei oft an Grenzen, weshalb Vorschläge zur dreidimensionalen Modellrepräsentation formuliert wurden.

Gegenstand des Beitrages ist die Entwicklung eines Systems, das die dreidimensionale Darstellung und Manipulation von Modellen auf eine Art und Weise zulässt, die in üblichen Modellierungsumgebungen realisiert werden kann. Als Basis dafür wird das Schichtendiagramm entworfen. Dieses folgt der Mehrzahl der Vorschläge zur dreidimensionalen Modellrepräsentation und bietet damit auch deren Vorzüge.

0 Einleitung

Die Verfügbarkeit kostengünstiger leistungsstarker Grafik-Hardware und die steigende Verbreitung standardisierter 3D-Grafiksysteme führt dazu, dass komplexe Szenarios zunehmend dreidimensional visualisiert werden (vgl. [RaGo00], S. 292 bzw. [Ware00], S. xxiii). Die Vorteilhaftigkeit der dreidimensionalen Visualisierung zur Analyse und Interpretation von wissenschaftlich-technischen Daten (vgl. [DäPa98], S. 39) ist dabei Ansporn zur Entwicklung neuer Konzepte auch in anderen Bereichen. „Für einen Menschen, geprägt durch die tägliche Erfahrung mit seiner Umwelt, ist es nahezu selbstverständlich in 3 Dimensionen zu navigieren und zu denken. Dieser Grund und das Wissen um eine stetige Erhöhung der Mächtigkeit von gegebenen Informationsräumen, läßt den Schritt in die 3. Dimension logisch erscheinen.“ ([Wüns98], S. 17)

Der Entwurf einer 3D-Visualisierungsumgebung ist jedoch deutlich schwieriger, als der eines vergleichbaren 2D-Systems (vgl. [Ware00], S. 310). Um ein benutzbares Visualisierungssystem zu definieren, bedarf es einer Vielzahl von Entscheidungen, wobei die Qualität jeder einzelnen das System jenseits der Grenze zur Unbenutzbarkeit bringen

kann (vgl. [Park+98], S. 8). WARE bemängelt dabei vor allem das Fehlen von Entwurfsregeln für dreidimensionale Umgebungen (vgl. [Ware00], S. 310).

Der Gegenstandsbereich der Wirtschaftsinformatik sind Informationssysteme (vgl. [FeSi98], S. 1). Die Systementwicklung als Teilbereich der Wirtschaftsinformatik befasst sich mit der Analyse, Konstruktion und Realisierung von Informationssystemen (vgl. [Stic97], S. 697). Die in diesem Rahmen auftretenden Kommunikationsprobleme zwischen Auftraggebern, Systemanalytikern und Systemdesignern lassen sich nur lösen, indem die Anforderungen an das zu entwickelnde System sowie die Struktur und Funktionsweise der Lösung durch geeignete Modelle beschrieben werden. Dazu gehört auch eine für die jeweils beteiligten Personen angemessene Art der grafischen Modellrepräsentation.

In der Literatur existiert eine Reihe von begründeten Vorschlägen zur dreidimensionalen Visualisierung von Modellen, deren Praktikabilität jedoch noch unerforscht ist. Motivation des Beitrages ist die Tatsache, dass in der Vergangenheit mehrfach die Visualisierung von Graphen auf Ebenen im Raum vorgeschlagen wird. Die Idee ist, ein System zu entwickeln, welches unabhängig von einer bestimmten Notation eine derartige Modellrepräsentation zulässt. Dabei soll eine möglichst praktikable Lösung gefunden werden, die eine direkte Manipulation des Modells im Rahmen einer üblichen zweidimensionalen Entwicklungsumgebung gestattet.

1 Bestimmung qualitativer Einflussfaktoren

Als Grundlage für das in Abschnitt 3 beschriebene Konzept zur dreidimensionalen Modellrepräsentation wurden zwei Rahmenwerke betrachtet. Anhand der Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM) als auf fachkonzeptueller Ebene umfassender Ansatz zur Bewertung der Qualität von Modellen (vgl. [Schü98], S. 174) wurde untersucht, inwiefern Visualisierungstechniken die Modellqualität positiv beeinflussen können. Des Weiteren wurden relevante allgemeine Einflussfaktoren der Visualisierungsqualität nach SCHUMANN und MÜLLER betrachtet, um Aspekte zu identifizieren, die bei der Gestaltung eines Systems zur dreidimensionalen Modellvisualisierung beachtet werden müssen.

1.1 Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung

Die GoM umfassen Ziele, anhand derer Aussagen über die Qualität von Informationsmodellen getroffen werden können, sowie Richtlinien, deren Einhaltung zur Modellqualität beiträgt ([Schü98], S. 112). Die Zielerreichung kann dabei durch geeignete Visualisierung unterstützt werden. Im Rahmen der Grundsätze wird deshalb die Anwendung

einer adressatengerechten und verständlichen Notation gefordert. Dies geht aus dem Grundsatz der Sprachadäquanz hervor. Der Grundsatz der Klarheit verfeinert dies, indem er Teilziele der adressatengerechten Hierarchisierung, Layoutgestaltung und Filterung formuliert. Der Grundsatz der Wirtschaftlichkeit gilt zudem auch für die Visualisierung, so dass deren Kosten gegenüber ihrem Nutzen gerechtfertigt sein müssen.

Eine Visualisierungstechnik trägt somit dann zur Modellqualität bei, wenn sie, zu angemessenen Kosten, einen Sachverhalt für den Modelladressaten verständlicher als bisher bzw. einen komplexeren Sachverhalt mit gleicher Verständlichkeit vermitteln kann.

1.2 Einflussfaktoren der Visualisierungsqualität

Das Gebiet der Visualisierung beschäftigt sich mit der rechnergestützten, visuellen Repräsentation von Daten, Informationen und Wissen in einer für den Menschen adäquaten und für die jeweilige Anwendung in diesem Kontext sinnvollen Form (vgl. [ScMü00], S. V). Auf der Basis der GoM lassen sich keine konkreten Aussagen darüber ableiten, wie ein System zur dreidimensionalen Modellrepräsentation zu realisieren ist. Einen sinnvollen weiterführenden Anhaltspunkt zur Gestaltung eines derartigen Systems bieten die allgemeinen qualitativen Forderungen nach Expressivität, Effektivität und Angemessenheit der Visualisierungen von SCHUMANN und MÜLLER. Zu deren Erfüllung müssen die folgenden Einflussfaktoren betrachtet werden (vgl. [ScMü00], S. 61ff):

- Art und Struktur der Daten
- Bearbeitungsziele
- Wahrnehmungsfähigkeiten des Betrachters
- Präferenzen des Betrachters
- Charakteristika des Darstellungsmediums
- Konventionen des Anwendungsgebietes

Bei der gegebenen Zielsetzung, Modelle dreidimensional anstatt zweidimensional zu visualisieren, sind vor allem die Wahrnehmungsfähigkeiten und Präferenzen des Betrachters sowie die Charakteristika des Darstellungsmediums zu untersuchen, da sich vor allem hier Änderungen ergeben.

Wahrnehmungsfähigkeiten und Präferenzen des Anwenders

Die kognitiven Fähigkeiten des Betrachters bestimmen in entscheidendem Maße die Effektivität einer Visualisierung (vgl. [ScMü00], S. 68). Im Zusammenhang mit der Modellvisualisierung wurde in der Literatur eine Reihe von Anforderungen formuliert, die sich durch die Grenzen der kognitiven Verarbeitung begründen. FRANK und PRASSE weisen darauf hin, dass Notationen von Modellierungssprachen wahrnehmungspsycho-

logisch sinnvoll gestaltet werden müssen und fordern in diesem Zusammenhang deren empirische Evaluation (vgl. [FrPr97], S. 16ff).

Die folgenden Anforderungen an Visualisierungen wurden im Rahmen der Beschreibung wichtiger kognitiver Prozesse bei der Modellnutzung und im Zusammenhang mit der dreidimensionalen Visualisierung identifiziert:

- Beachtung ästhetischer Kriterien bei der Darstellung von Graphen, insbesondere Vermeidung von Kantenkreuzungen und Kantenknicken
- Maximierung intuitiver Aspekte des Layouts und der Notationsgestaltung zur Erleichterung der Interpretation des Sachverhalts für den Betrachter
- Vermeidung von Überladungen und Schaffung markanter Unterscheidungsmerkmale zur leichteren Identifikation der Notationselemente
- Tiefeninformationen zur Sicherstellung der 3D-Empfindung
- Bildung von sinnvollen Chunks durch Clusterung zur Überschreitung der Grenzen des Arbeitsgedächtnisses
- Zur Problemlösung benötigte Informationen stets direkt visuell wahrnehmbar (Interaktion, um verdeckte Informationen anzuzeigen, ist kognitiver Aufwand, welcher der Problemlösung entgegenwirkt)

Charakteristika des Darstellungsmediums

Die zur Erzeugung von grafischen Darstellungen verfügbaren technischen Ressourcen stellen einen entscheidenden limitierenden Faktor dar (vgl. [ScMü00], S. 116). Sie bestimmen maßgeblich die Angemessenheit bzw. Wirtschaftlichkeit einer Visualisierung. Wie im vorigen Abschnitt festgestellt, sind zur Erzeugung eines räumlichen Sinesindrucks genügend Tiefenmerkmale zu liefern (vgl. [GiKe98], S. 2), deren Bereitstellung in handgezeichneten Modellen aber undenkbar ist. Der Computer als Hilfsmittel zur automatisierten Generierung von entsprechenden Darstellungen ist allerdings auch nicht unproblematisch. Daraus ergeben sich weitere Anforderungen an das zu entwickelnde Visualisierungssystem.

Zum ersten ist ein Kompromiss zwischen den zu erzeugenden Tiefeninformationen zu finden, da die verfügbaren Ausgabemedien nur einen Teil der vom Menschen wahrnehmbaren Tiefeninformationen vermitteln können. Tiefeninformationen stehen zudem in Bezug auf die erforderliche Rechenleistung teilweise in Konflikt miteinander, denn kinetische Tiefeninformationen erfordern eine schnelle kontinuierliche Bildgenerierung, welche nicht sichergestellt werden kann, wenn gleichzeitig alle möglichen statischen Tiefeninformationen erzeugt werden sollen.

Eine weitere Einschränkung stellen die zu verwendenden zweidimensionalen Eingabegeräte dar. Sie sind nicht für eine dreidimensionale Manipulation und Navigation ausgelegt. Das System muss den Benutzer deshalb in geeigneter Weise unterstützen, indem die verfügbaren Freiheiten bei der dreidimensionalen Positionierung und Kamerasteuerung intuitiv eingeschränkt werden.

2 Dreidimensionale Modellrepräsentationen

Bevor auf das entwickelte Konzept eingegangen wird, soll in diesem Teil zunächst ein kurzer Überblick über Potentiale und Restriktionen der dreidimensionalen Visualisierung von Modellen sowie über bereits existierende Ansätze zur dreidimensionalen Modellrepräsentation gegeben werden. Bei diesen geht es nicht um die Erstellung schöner Darstellungen (vgl. [GiKe98], S. 1). Die Verwendung einer dritten räumlichen Dimension eröffnet neue Möglichkeiten für die Visualisierung und ist damit in vielen Fällen nicht nur nützlich, sondern auch notwendig (vgl. [ScMü00], S. 175; [Gogo+99], S. 2). Das Konzept hat von der im Folgenden angestellten Betrachtung profitiert, denn die Erfahrungen der einzelnen Untersuchungen und Vorschläge waren dessen Grundlage.

2.1 Potentiale und Restriktionen der Dreidimensionalität

3D zur Reduktion von Kantenkreuzungen

Ein allgemeines Problem bei der Darstellung von Beziehungen zwischen Elementen durch Verbindungslinien sind Linienkreuzungen. Sie erschweren die visuelle Wahrnehmung des Sachverhaltes und sind oft nicht zu vermeiden. Ein Linienkreuzungen minimierendes Layout führt jedoch häufig zu einer Anordnung der Elemente, die keinen Bezug mehr zum dargestellten Sachverhalt hat und damit auch den Wahrnehmungsprozess erschwert (vgl. [SpAm94], S. 254).

Durch dreidimensionale Anordnung von Knoten und die dreidimensionale Führung von Kanten können Linienkreuzungen zwar gänzlich vermieden werden, bei der Projektion der 3D-Szenen entstehen jedoch durch Verdeckung erneut Kantenkreuzungen. In Abhängigkeit von der Qualität des vermittelten räumlichen Eindrucks sind diese aber deutlich unproblematischer. Das belegen die Ergebnisse einer Studie von WARE sowie auch die Ausführungen von SPRATT und AMBLER (vgl. [SpAm94], S. 255). Es zeigt sich, dass visuelle Tiefeninformationen der Wahrnehmung von Kantenkreuzungen, die erst durch die Projektion auf eine Fläche entstehen, entgegenwirken. Weiterhin wurde herausgefunden, dass kinetische Tiefeninformationen dabei effektiver sind als binokulare.

Die Möglichkeit, komplexe Netzwerke im Vergleich zu 2D verständlicher darstellen zu können, kann somit dazu genutzt werden, um an anderer Stelle, wie z. B. bei der intuitiven Platzierung von Knoten, Verbesserungen vorzunehmen (vgl. [SpAm94], S. 256f).

3D als natürliche Fokus-Kontext-Technik

Um große Strukturen verstehen zu können, ist es oft notwendig, sowohl kleine Teilstrukturen als auch die Gesamtstruktur zu betrachten (vgl. [Park+98], S. 2). Visualisierungskonzepte, die diese Anforderung adressieren, sind die so genannten Fokus-Kontext-Techniken. Sie gestatten es, einen kleinen Bereich, der von Interesse ist, detailliert dar-

zustellen, während die Umgebung nur im Überblick repräsentiert wird (vgl. [ScMü00], S. 342).

Neben Verzerrungs-, Zoom-, Auslassungs- und Fenstertechniken stellt 3D einen weiteren Grundtyp von Fokus-Kontext-Techniken dar. Fokus und Kontext werden dabei dadurch vermittelt, dass interessante Objekte im Vordergrund angeordnet sind und weniger interessante im Hintergrund. Durch Veränderung der Perspektive können andere Objekte in den Vordergrund gelangen und damit zum Fokus. Im Gegensatz zu den anderen Grundtypen ist 3D keine künstlich geschaffene Visualisierungstechnik sondern eine für den Menschen natürliche Form der Darstellung. Sie wird vom visuellen Wahrnehmungsprozess direkt unterstützt und besitzt damit einen Vorteil gegenüber anderen Fokus-Kontext-Techniken (vgl. [Park+98], S. 2ff).

Die vorteilhafte Nutzung von 3D zu diesem Zweck hängt in starkem Maße von der Gestaltung der 3D-Szene ab. Das Layout der Objekte hat großen Einfluss auf die möglichen Fokusse und den dabei verfügbaren Kontext (vgl. [Park+98], S. 7). Deshalb ist es in diesem Zusammenhang wichtig, eine 3D-Szene so zu gestalten, dass sinnvolle Fokusse möglich sind.

3D zur besseren Gestaltung von Notationselementen

Dreidimensional gestaltete Kanten liefern durch Schattierung und Reflexionen deutlich mehr Tiefeninformationen und sind damit bei der Erkennung von ungewollten Kantenkreuzungen vorteilhaft. Zusätzlich eröffnet die dreidimensionale Gestaltung mehr Möglichkeiten, Kanten verschiedenartig zu gestalten, wodurch der kognitive Aufwand zur Identifikation der Kantenart reduziert werden kann (vgl. [GiKe98], S. 2).

GIL und KENT schlagen des Weiteren vor, auf den durch die dreidimensionale Gestaltung zusätzlich verfügbaren Flächen der Notationselemente Informationen darzustellen. Ein Konzept, welches diese Idee umsetzt, wird von ihnen jedoch nicht beschrieben (vgl. [GiKe98], S. 2).

Ein weiterer Vorteil wurde von IRANI und WARE identifiziert. Sie fanden heraus, dass die Gestaltung von Notationselementen am Vorbild von Geonen von Vorteil ist, da Geone und die von ihnen gebildete Struktur vom visuellen System des Menschen direkt wahrgenommen werden. Die geonenhafte Gestaltung ist jedoch nicht unproblematisch. Ungeklärt ist, wie Geone beschriftet werden sollten (vgl. [IrWa00], S. 4).

3D für eine zusätzlich semantiktragende Dimension

Diagramme visualisieren Daten durch grafische Elemente in Verbindung mit bestimmten Attributen wie z. B. Position, Länge, Winkel, Orientierung, Fläche, Volumen, Helligkeit, Sättigung, Farbton, Textur, Verbindung, Umfang oder Form. Zur Generierung effektiver Diagramme müssen diese grafischen Elemente und deren Attribute gezielt eingesetzt werden. Die räumliche Position ist dabei die effektivste visuelle Variable zur Visualisierung aller Datenarten (vgl. [ScMü00], S. 126ff).

Für Graphen als Modellvisualisierung existieren oft keine expliziten Vorgaben zur Nutzung der räumlichen Dimensionen. Damit hat der Modellierer im Rahmen der sekundären Notation die Möglichkeit, die räumlichen Dimensionen zur Abbildung von Semantik zu nutzen. Durch die zusätzliche räumliche Dimension kann zum einen die Anordnung von Modellelementen nach einem Kriterium erfolgen, wobei die Freiheiten des zweidimensionalen Layouts für den Modellierer erhalten bleiben. Zum anderen können bestehende Restriktionen um einen zusätzlichen Freiheitsgrad bei der Anordnung ergänzt werden.

2.2 Vorschläge zur dreidimensionalen Modellrepräsentation

Die dreidimensionale Darstellung von Beziehungsnetzwerken ist Gegenstand einer Vielzahl von Forschungsaktivitäten im Bereich der Visualisierung. Die Motivation ist dabei oft, Graphen mit mehreren hundert bzw. einigen tausend Knoten und Kanten automatisiert, semantisch sinnvoll und ästhetisch darzustellen. Zur dreidimensionalen Modellrepräsentation konnten nur die im Folgenden kurz vorgestellten Vorschläge identifiziert werden.

Geonendiagramme

Das Geonendiagramm von IRANI (Abbildung 2 zeigt ein Beispiel) basiert auf einer speziellen Notation, die nach dem Vorbild von Geonen gestaltet ist. Deren Vorteilhaftigkeit bei der Gestaltung von Notationselementen wurde von IRANI und WARE empirisch nachgewiesen. Da bei der Entwicklung der Notation des Geonendiagramms im Gegensatz zu den vorhergegangenen empirischen Studien eine entsprechend der zu repräsentierenden Semantik sinnvolle Auswahl von Geonen stattfand, konnte eine zusätzliche Verbesserung erreicht werden. Es zeigte sich, dass die Fehlerrate bei der Interpretation von Geonendiagrammen im Vergleich zu äquivalenten Diagrammen der Unified Modeling Language (UML) durchschnittlich um das fünffache geringer ist, wobei keine Unterschiede zwischen Neulingen und Experten festgestellt wurden (vgl. [Iran+01], S. 18f).

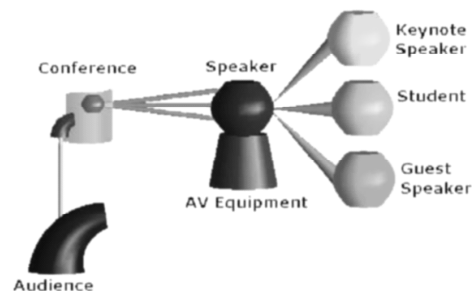


Abbildung 1: Geonendiagramm (vgl. [Iran+01], S. 17)

Die Mächtigkeit der verwendeten Notation ist jedoch gegenüber der UML gering. Die Kombinationsregeln und Formen der Notationselemente engen die modellierbaren Konstrukte stark ein (vgl. [Iran+01], S. 19).

Contract und Nested Box

GIL und KENT entwickelten zwei 3D-Diagrammtypen – das Contract-Box-Diagramm und das 3D-Sequenzdiagramm (vgl. [GiKe98], S. 1). Ersteres nutzt die dritte Dimension des Raumes zur gleichzeitigen Darstellung von Ausgangszustand und Endzustand eines Systems. Dazu werden zwei parallele Flächen im Raum angeordnet, auf denen die Zustände mit Hilfe einer zweidimensionalen Notation beschrieben werden. Die obere Fläche enthält dabei den Ausgangszustand, die untere den Endzustand (vgl. [GiKe98], S. 6). Mit Hilfe von Verbindungslinien zwischen Modellelementen des Ausgangszustandes und des Endzustandes können Transformationsbeziehungen intuitiv vermittelt werden.

Als Erweiterung zum Contract-Box-Diagramm wird das Nested-Box-Diagramm vorgeschlagen, welches eine Statusbeschreibung des Systems zu mehr als zwei Zeitpunkten für mehrere Transformationen erlaubt. Die Darstellung von so vielen Details wirkt sich jedoch negativ auf die Lesbarkeit aus. Zur Lösung wird deshalb vorgeschlagen, diese im Rahmen eines Visualisierungssystems je nach Bedarf ausblenden zu können (vgl. [GiKe98], S. 9).

Das von GIL und KENT beschriebene 3D-Sequenzdiagramm (siehe Abbildung 2) verwendet wie zweidimensionale Sequenzdiagramme eine räumliche Dimension zur Abbildung der Zeit. Im Gegensatz zu 2D bleiben dabei zwei Dimensionen zur freien Positionierung der Zeitachsen. Damit sind zwischen Zeitachsen mehr Beziehungen durch Verbindungslinien darstellbar als in 2D, da es nicht zu Überdeckungen kommt. GIL und KENT vergleichen die Perspektive von Oben (entlang der Zeitachsen) in diesem Zusammenhang mit dem Kollaborationsdiagramm der UML. Die Vorzüge dieses Diagramms sind somit im 3D-Sequenzdiagramm von GIL und KENT enthalten (vgl. [GiKe98], S. 8).

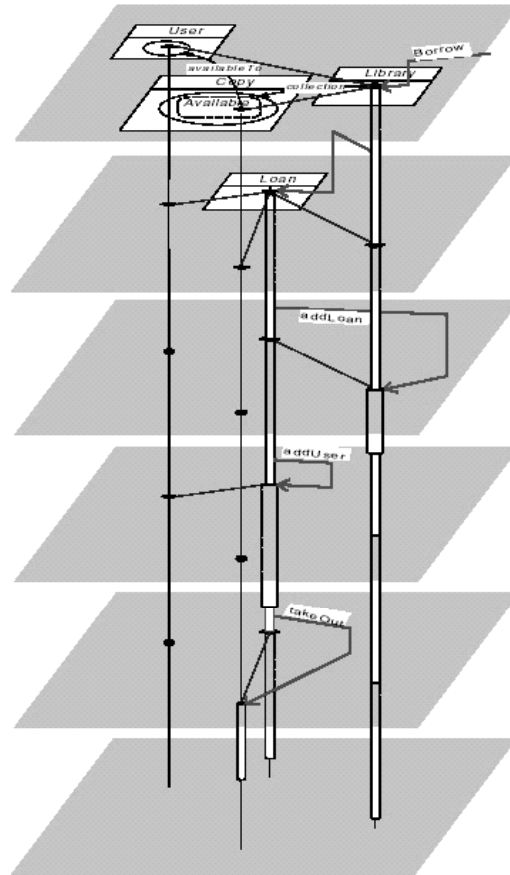


Abbildung 2: 3D-Sequenzdiagramm von Gil und Kent (vgl. [GiKe98], S. 8)

Die Autoren betonen, dass die volle Unterstützung des Erstellungsprozesses nur im Zusammenhang mit einem Virtual Reality Interface sinnvoll ist. Als Alternative wird vorgeschlagen, separate zweidimensionale Diagramme anzufertigen, welche dann mit Hilfe eines Werkzeugs automatisch zu einem dreidimensionalen Diagramm transformiert werden. Dieses soll dann aus verschiedenen Perspektiven betrachtbar sein, wobei vor allem stereoskopische Tiefeninformationen zur Verfügung stehen sollen (vgl. [GiKe98], S. 2ff). Weder die eine noch die andere Art der Werkzeugunterstützung wurde bisher realisiert.

3D UML

GOGOLLA und RADFELDER entwickelten eine Reihe von Vorschlägen zur dreidimensionalen Gestaltung von Diagrammen der UML, um deren Verständlichkeit zu erhöhen (vgl. [Gogo+99], S. 2).

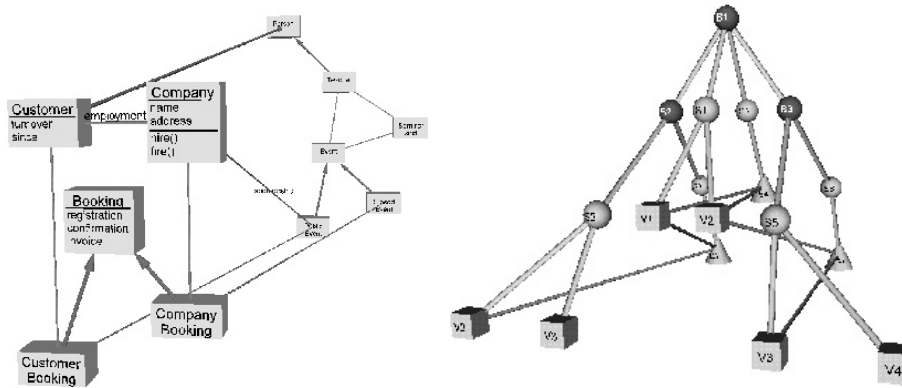


Abbildung 3: 3D-Klassen- und Objektdiagramm (vgl. [Gogo+99], S. 4f)

Das von ihnen entwickelte 3D-Klassendiagramm (siehe Abbildung 3) nutzt zur Darstellung der Klassenstruktur eine Ebene im Raum, vor der sich eine zweite parallele Ebene befindet. Selektierte Klassen können vom Benutzer auf dieser im Vordergrund liegende Ebene positioniert werden, wobei Beziehungen zu Klassen der hinteren Ebene bestehen bleiben (vgl. [Gogo+99], S. 2). Durch die nähere Anordnung von Teilstrukturen des Klassendiagramms zum Betrachter werden diese hervorgehoben (vgl. [RaGo00], S. 293), so dass überschaubare Sachverhalte im Kontext eines komplexen Gesamtmodells betrachtet werden können (vgl. [Gogo+99], S. 4).

Ein weiterer Vorschlag ist das 3D-Objektdiagramm. Knoten werden in diesem Diagramm entsprechend nominaler Eigenschaften auf parallelen Ebenen im Raum angeordnet. Vorteilhafte Anordnungskriterien werden jedoch nicht explizit beschrieben. Vielmehr wird eine individuelle Nutzung der Ebenen in Abhängigkeit vom Anwendungskontext vorgeschlagen (vgl. [Gogo+99], S. 11).

Wie bereits beim 3D-Sequenzdiagramm von GIL und KENT, wird im 3D-Sequenzdiagramm von GOGOLLA und RADFELDER die zusätzliche Dimension zur zweidimensionalen Platzierung der Zeitachsen verwendet. Ihr Ziel ist allerdings nicht die Abbildung von zusätzlichen Informationen, sondern lediglich die Vermeidung von sich überlagernden Nachrichtenbeziehungen, die einen erhöhten Aufwand bei der visuellen Wahrnehmung darstellen. Durch die zusätzliche Dimension zur Anordnung von Zeitachsen können dagegen mehr als zwei gleichzeitige Interaktionsbeziehungen zu anderen Objekten gut lesbar wiedergegeben werden. Die Klarheit der Darstellung wird dadurch erhöht (vgl. [Gogo+99], S. 8f).

Aufgrund der Freiheiten bezüglich der Positionierung der Zeitachsen können zusätzlich semantisch stark zusammenhängenden Gruppen in räumlicher Nähe angeordnet werden, so dass durch die Wahl entsprechender Perspektiven auf bestimmte Aspekte des dargestellten Sachverhaltes fokussiert werden kann (vgl. [Gogo+99], S. 8).

Für das 3D-Klassendiagramm wird momentan ein Prototyp entwickelt (vgl. [Radf01]). Dieser soll eine Erstellung des Diagramms in der von zweidimensionalen Modellie-

rungswerkzeugen bekannten Art und Weise unterstützen. Zusätzlich soll der Benutzer das Diagramm aus verschiedenen Perspektiven betrachten können, deren Wechsel animiert wird (vgl. [Gogo+99], S. 7). Näheres zu den verfügbaren Perspektiven und deren Steuerung durch den Anwender wurde jedoch nicht beschrieben. Die aktuelle Version des Prototyps unterstützt lediglich eine vollkommen freie Steuerung der Kameraposition über die Tastatur (vgl. [Radf01]).

3 Das Schichtendiagramm

3.1 Ebenen im Schichtendiagramm

Die obigen Ausführungen zeigen, dass bisherige Vorschläge Knoten von Graphen auf parallelen Ebenen im Raum anordnen und diesen Ebenen eine bestimmte Semantik zuweisen. BEHRENS schlägt vor, Ebenen generell zur Abbildung verschiedener 2D Diagramme zu verwenden, um Beziehungen zwischen diesen visualisieren zu können. Außerdem kann durch deren vertikal parallele Anordnung der Eindruck von aufeinander aufbauenden Schichten intuitiv vermittelt werden (vgl. [Behr99]). Entsprechende Strukturen, die in der Systementwicklung oft anzutreffen sind (vgl. [Balz82], S. 37), lassen sich auf diese Weise anschaulich repräsentieren. Eine über die reine Aufzählung von Ideen weitergehende Betrachtung liefert BEHRENS jedoch nicht (vgl. [Behr99]).

Die dreidimensionale Anordnung von Notationselementen auf Ebenen steht aber im Konflikt mit der Sichtbarkeit der Elemente, da in 3D im Gegensatz zu 2D Verdeckungen und perspektivische Verzerrungen auftreten. Keiner der genannten Autoren berücksichtigt diese Tatsache ernsthaft. Es wird stets darauf verwiesen, dass verdeckte Informationen durch den Wechsel der Perspektive sichtbar gemacht werden können. Jede Interaktion, die deshalb notwendig ist, stellt jedoch kognitiven Aufwand dar, welcher der Effektivität der Problemlösung entgegenwirkt. Zudem erfordert die freie Navigation im Raum entweder besondere Interaktionstechniken oder spezielle Eingabegeräte. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass sich die Erfahrung potentieller Benutzer eines solchen Systems auf den Umgang mit zweidimensionalen Benutzeroberflächen beschränkt.

Ein weiterer Punkt, der von den Autoren der beschriebenen Ansätze übergangen wird, ist die Frage der interaktiven Erstellung der dreidimensionalen Diagramme. Wie bereits dargelegt, ist dazu eine weitreichende Unterstützung durch das Modellierungswerkzeug notwendig.

Parallele Ebenen im Raum können jedoch sehr gut für eine sinnvolle Einschränkung der Navigationsfreiheiten sowie zur Realisierung einer intuitiven Systemunterstützung bei der Erstellung entsprechender Diagramme genutzt werden. Probleme der Sichtbarkeit lassen sich zudem durch eine entsprechende Gestaltung der Notationselemente reduzieren. Der Ansatz wird deshalb in den folgenden Abschnitten diesbezüglich verfeinert. Die erwähnten parallelen Ebenen werden dabei als **Schichten** und entsprechende Diagramme

als **Schichtendiagramme** bezeichnet. Auf den Schichten sollen Notationselemente wie in zweidimensionalen Diagrammen, die Modelle als Graphen repräsentieren, verwendet werden. Zusätzlich ist es möglich, Kanten zwischen Elementen verschiedener Schichten zu nutzen, um schichtenübergreifende Beziehungen darzustellen.

3.2 Einschränkung der Navigationsfreiheiten

Die Freiheitsgrade der Navigation sowie die einstellbaren Perspektiven können bei Schichtendiagrammen sinnvoll eingeschränkt werden. Es ist unnötig, Schichten von hinten, von unten, von links oder von rechts zu betrachten, denn derartige Perspektiven erschweren die Lesbarkeit von Beschriftungen bzw. machen sie teilweise unmöglich.

Deshalb sollen drei verschiedene Betrachtungsmodi zur Verfügung stehen, zwischen denen der Nutzer beliebig wechseln kann, wobei die Kameraeinstellung stets schrittweise anzupassen ist, um abrupte Sichtwechsel zu vermeiden. Wie in Abbildung 4 dargestellt, sind innerhalb einer Ansicht stets nur zwei Freiheitsgrade der Kamera durch den Benutzer steuerbar. Die Navigation im Schichtendiagramm stellt damit gegenüber 2D keine besonderen Anforderungen an Eingabegeräte und Fähigkeiten des Nutzers. Durch die geringfügige Kopplung der Kamera mit der Position des Mauscurors in der Anzeige wird sichergestellt, dass die Kamera ständig minimal in Bewegung ist und die wichtigen kinetischen Tiefeninformationen erzeugt werden. Selektions- und Manipulationsinteraktionen werden dabei nicht beeinträchtigt. Die Blickrichtung ist dabei nie senkrecht zur Y- und Z-Koordinatenachse, um perspektivische Tiefeninformationen zu erzeugen.

Alle Objekte, die sich über der betrachteten Schicht im Raum befinden, werden ausgeblendet, um Verdeckungen zu vermeiden. Die aktuell betrachtete Schicht wird zudem halb durchsichtig gestaltet, so dass Kontextinformationen der nächst tieferen Schichten als Kontext wahrgenommen werden können. Die Stärke der Durchsichtigkeit muss dabei so gewählt sein, dass zum Kontext gehörige Informationen deutlich als solche identifiziert werden.

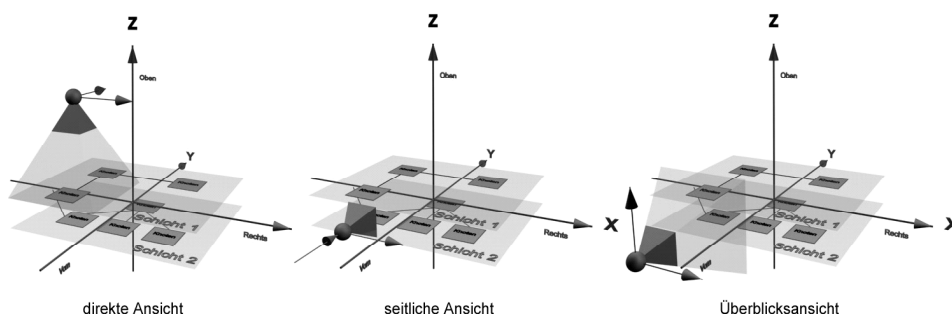


Abbildung 4: Betrachtungsmodi für das Schichtendiagramm

Die direkte Ansicht einer Schicht entspricht der gewohnten Ansicht zweidimensionaler Diagramme. Der Sachverhalt wird damit auf der fokussierten Schicht im Vergleich zu 2D mit der gleichen Klarheit dargestellt. Vorteilhaft ist zusätzlich, dass Informationen direkt wahrgenommen werden können, ohne ein anderes Diagramm betrachten zu müssen bzw. diese Zusatzinformationen aus dem Gedächtnis zu reproduzieren. Beziehungen zu anderen Schichten werden durch abgeschnittene nach oben und unten führende Kanten repräsentiert. Letztere werden dabei durch die halb durchsichtige Schicht teilweise verdeckt.

Bei der Überblicksansicht blickt der Betrachter von vorn auf das Diagramm. Dabei wird keine Schicht im Einzelnen betrachtet und alle Schichten durchsichtig gestaltet. Er erhält damit einen Überblick über die Schichten des Diagramms, sowie über die Verflechtungen zwischen diesen.

Bei der seitlichen Ansicht einer Schicht blickt der Betrachter aus der vorgegebenen Entfernung der direkten Ansicht und mit der Blickrichtung der Überblicksansicht auf die aktuelle Schicht. Ausgehend von der Überblicksansicht stellt der Wechsel zu dieser Ansicht eine Zoom-Technik der Fokus-Kontext-Techniken dar. Der Wechsel ausgehend von der direkten Ansicht ermöglicht die Einblendung der sonst nur angedeuteten Beziehungen zur direkt oberhalb angeordneten Schicht sowie der vorher verdeckten Kontextinformationen der direkt unterhalb gelegenen Schicht.

3.3 Grafische Gestaltung

Ein wichtiges Kriterium für die Vorteilhaftigkeit dreidimensionaler Visualisierungen ist generell die Qualität des vermittelten 3D-Eindrucks. Sie ist vor allem dann wichtig, wenn kinetische Tiefeninformationen aufgrund der Restriktionen eines anderen Ausgabemediums, wie z. B. Papier, nicht mehr zur Verfügung stehen. Deshalb sollen Notationselemente generell dreidimensional gestaltet werden, um die Erzeugung statischer Tiefeninformationen zu ermöglichen. Um Probleme der Verdeckung von Informationen zu vermeiden, wurden zwei weitere Festlegungen getroffen:

- Kantenenden dürfen nur orthogonal zur Z-Achse an einem Knoten enden.
- Kantenbeschriftungen müssen sich dynamisch ausrichten.

Das Aussehen einer Kante dient häufig als Erkennungsmerkmal des Kantentyps. Es werden jedoch oft nur die Kantenenden unterschiedlich gestaltet (vgl. [GiKe98], S. 2). Diese können durch ihre direkte Nähe zu Knoten von diesen verdeckt werden. Deshalb sollen Verbindungspunkte zu Knoten nur an deren linken, rechten, vorderen und hinteren Seite möglich sein. Kanten müssen in diesen Verbindungspunkten zudem orthogonal zur Z-Achse münden. Damit ist die Sichtbarkeit aller Kantenenden an den Knoten der fokussierten Schicht stets sichergestellt.

Die Ausrichtung von Kanten kann im Gegensatz zu Knoten variieren. Sie ergibt sich aus den zu verbindenden Punkten. Daraus resultiert die Problematik, dass statische Kanten-

beschriftungen nicht aus allen einstellbaren Perspektiven lesbar sind. Beschriftungen von Kanten müssen sich deshalb automatisch so ausrichten, dass der Betrachter sie lesen kann.

3.4 Manipulation

Aufgrund der Beschränkung, dass Knoten nur auf Schichten platziert werden können und Kanten nur an Knoten enden dürfen, ist eine rein dreidimensionale Positionierung von grafischen Objekten im Raum nicht nötig. Es kann somit eine weitgehend übliche interaktive Manipulation der Darstellung durch den Benutzer erfolgen. Es ist stets sichergestellt, dass die 2D-Koordinaten der Maus in sinnvolle 3D-Koordinaten transformiert werden können. Positionierungsgrundlage für Notationselemente ist dabei immer eine Schicht, die auch während des Positionierungsvorganges gewechselt werden kann. In der Überblicksansicht können Schichten entlang der Z-Achse mit der Maus verschoben werden.

4 Prototypische Implementierung

Das spezifizierte System wurde im Rahmen einer Diplomarbeit am Lehrstuhl für Systementwicklung der TU Dresden in einem Prototyp realisiert. Zur Reduktion des Aufwandes wurden dabei die 3D-Grafiksysteme Java3D (vgl. [Sun00]) zur Visualisierung und die Virtual Reality Modeling Language (VRML) (vgl. [DäPa98]) zur Beschreibung der Darstellungsformen verwendet. Entsprechend werden absolute Geometriedaten auf der Basis von VRML-Dateien benutzt, deren Erstellung im Rahmen eines VRML-Editors einfach möglich ist. Da eine absolute Definition des Aussehens von Kanten nicht sinnvoll ist, werden deren Geometriedaten generell relativ interpretiert. Für das entwickelte System ist dies zureichend, um die grundlegende Funktionalität zu demonstrieren.

Die Benutzeroberfläche des Prototyps enthält die Anzeige des Darstellungsraums, zwei Bildlaufleisten zur Navigation und eine Liste der verfügbaren grafischen Objekte. Listeneinträge können per Drag & Drop in die Anzeige gezogen werden. Befehle zum Wechsel des Ansichtsmodus etc. werden in einer Werkzeuggeste zur Verfügung gestellt.

5 Zusammenfassung

Durch die dreidimensionale Repräsentation von Modellen kann die Modellqualität gesteigert werden. Die Nutzung der Dreidimensionalität ist jedoch mit einer Vielzahl von Restriktionen behaftet, deren Berücksichtigung bei der Gestaltung von entsprechenden Systemen unumgänglich ist. Das hierzu in diesem Beitrag konzipierte Schichtendiagramm realisiert einen allgemeinen Ansatz zur dreidimensionalen Modellrepräsentation, dessen Vorteilhaftigkeit in verschiedener Hinsicht belegt wurde. Die Wahrnehmungsfähigkeiten der Systemnutzer und die Charakteristika des Computers als Darstellungsmedium wurden dabei weitgehend berücksichtigt, um dessen praktischen Einsatz zu ermöglichen. Die tatsächliche Praktikabilität des Konzepts muss sich jedoch erst in der Anwendung zeigen. Deshalb wurde ein Prototyp entwickelt, der die Grundfunktionalität des Konzepts implementiert.

Abhängig von den Evaluationsergebnissen kann eine Integration in entsprechende Modellierungswerkzeuge erfolgen. Als Erweiterung wären z. B. komplexere Schichtendiagramme denkbar, in denen Schichten nicht nur übereinander, sondern auch nebeneinander angeordnet werden können. Baumorientierte Hierarchien von Schichten könnten damit anschaulich wiedergegeben werden. Es ist jedoch zu klären, wie Beziehungen zwischen Schichten repräsentiert werden sollten und inwiefern eine Anpassung der Navigationstechniken notwendig ist.

Literaturverzeichnis

- [Balz82] BALZERT, H.: Die Entwicklung von Software-Systemen: Prinzipien, Methoden, Sprachen, Werkzeuge. Reihe Informatik, Band 34, Mannheim, 1982
- [Barr01] BARRILLEAUX, J.: 3D User Interfaces with Java3D. Greenwich, 2001
- [Beck+95] BECKER, J.; ROSEMANN, M.; SCHÜTTE, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. In: Wirtschaftsinformatik, 37 (1995) 5, S. 435-445
- [Behr99] BEHRENS, H.: Dreidimensionale Visualisierung statischer und dynamischer Softwaremodelle.
<http://www.informatik.fernuni-hagen.de/import/pi3/henrik/forschung/GI-Nachwuchstagung.html>, 12.11.99, download 15.08.01
- [Booc+99] BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I.: Das UML Benutzerhandbuch. 2. Auflage, Bonn, 1999
- [DäPa98] DÄBLER, R.; PALM, H.: Virtuelle Informationsräume mit VRML: Informationen recherchieren und präsentieren in 3D. Heidelberg, 1998
- [FeSi98] FERSTL, O. K.; SINZ, E. J.: Grundlagen der Wirtschaftsinformatik. Band 1, 3. Auflage, München, 1998
- [FrPr97] FRANK, U.; PRASSE, M.: Ein Bezugsrahmen zur Beurteilung objektorientierter Modellierungssprachen: veranschaulicht am Beispiel von OML und UML.
<http://www.uni-koblenz.de/~prasse/publications/tr-nr6.pdf>, 30.09.97, download 21.08.01

- [GiKe98] GIL, J.; KENT, S.: Three Dimensional Software Modelling. In: International Conference on Software Engineering, 20 (1998), Proceedings
- [Gogo+99] GOGOLLA, M.; RADFELDER, O.; RICHTERS, M.: Towards Three-Dimensional Representation and Animation of UML Diagrams. In: Second International Conference on The Unified Modeling Language, (1999)
- [Iran+01] IRANI, P. P.; WARE, C.; TINGLEY, M.: Using Perceptual Syntax to Enhance Semantic Content in Diagrams. In: IEEE Computer Graphics and Application, (2001)
- [IrWa00] IRANI, P. P.; WARE, C.: Should the Elements of Diagrams be Rendered in 3D. In: IEEE Symposium on Information Visualization, (2000) Late Breaking Hot Topics
- [Park+98] PARKER, G.; FRANCK, G.; WARE, C.: Visualization of Large Nested Graphs in 3D: Navigation and Interaction. In: Journal of Visual Languages and Computing, 9 (1998) 3, S. 299-317
- [Radf01] RADFELDER, O.: UML3D for Three Dimensional Animated UML. <http://dustbin.informatik.uni-bremen.de/projects/uml3d>, 04.09.01, download 23.10.01
- [RaGo00] RADFELDER, O.; GOGOLLA, M.: On Better Understanding UML Diagrams through Interactive Three-Dimensional Visualization and Animation. In: Conference on Advanced Visual Interfaces, (2000) Proceedings, S. 292-295
- [Schü98] SCHÜTTE, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung: Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Wiesbaden, 1998
- [ScMü00] SCHUMANN, H.; MÜLLER, W.: Visualisierung: Grundlagen und allgemeine Methoden. Berlin, 2000
- [SpAm94] SPRATT, L.; AMBLER, A.: Using Tubes to Solve the Intersecting Lines Problem. In: IEEE Symposium on Visual Languages, 10 (1994), S. 254-261
- [Stic97] STICKEL, E.: Wirtschaftsinformatik-Lexikon. Wiesbaden, 1997
- [Sun00] Sun Microsystems (Hrsg.): Java 3D FAQ. <http://www.j3d.org/faq/intro.html>, 12.08.00, download 23.04.01
- [Ware00] WARE, C.: Information Visualization: Perception for Design. San Diego, 2000
- [Wüns98] WÜNSCHE, V.: Eine Begriffswelt für die Informationsvisualisierung. In: Rostocker Informatik-Berichte, 28 (1998) 4, S. 113-132