

Modellierung von Krankenhausinformationssystemen als Föderation kooperierender Teilsysteme

Wilhelm Hasselbring

Universität Dortmund, Informatik 10 (Software-Technologie)

D-44221 Dortmund

E-mail: willi@ls10.informatik.uni-dortmund.de

Tel.: ++49-231-755-4712 Fax: ++49-231-755-2061

1 Einleitung

Die Techniken für föderierte Datenbanken [SL90] werden in unterschiedlichen Anwendungsbereichen eingesetzt. Beispiele sind die Fabrikplanung [HTJ⁺95] oder CAD-Systeme [BBN95]. Der vorliegende Beitrag diskutiert den Einsatz dieser Techniken für Krankenhausinformationssysteme und konzentriert sich dabei auf Fragen der Modellierung.

Zunächst einige Begriffsdefinitionen zur Einordnung: Ein Krankenhausinformationssystem (KIS) ist definiert als das gesamte informationsverarbeitende und informationsspeichernde Teilsystem eines Krankenhauses [Ehl93]. Der rechnerunterstützte Teil eines KIS (RKIS) ist definiert als der Teil eines KIS, der Rechner und Rechnernetze einsetzt. Die Unterscheidung von KIS und RKIS bietet sich an, weil der Arbeitsablauf in Krankenhäusern auch ohne den Einsatz von Rechnern durch den Austausch von Informationen geregelt wird [Ehl93]. Ein KIS ist ein Teilsystem eines "Systems Krankenhaus".

Anwendungssoftwaresysteme für Krankenhäuser, die eine ausreichende Rechnerunterstützung für das gesamte KIS bieten, sind nicht verfügbar [WZ95], auch wenn einige Anbieter dieses versprechen. Auch aus wirtschaftlichen Gründen ist es sinnvoll, optimal erscheinende Anwendungssoftwareprodukte als weitgehend autonome Anwendungssysteme zu installieren, die dann jeweils nur Teile des KIS unterstützen. Typische Beispiele sind Anwendungssysteme für die Patientenaufnahme und -abrechnung, die Leistungserfassung in Laboratorien oder Ambulanzen, und die Auswertung von Therapieergebnissen zur Qualitätskontrolle und zur medizinischen Forschung.

So entstehen RKIS, die durch Heterogenität in Hard- und Software gekennzeichnet sind. Im Sinne einer effizienten Unterstützung der Arbeitsabläufe im Krankenhaus müssen die Teilsysteme miteinander integriert werden, um mehrfache Eingaben von Daten und Inkonsistenzen zwischen verschiedenen Teilsystemen zu vermeiden. Die Teilsysteme müssen bei Bedarf modifiziert, ersetzt, ergänzt bzw. entfernt werden können. Notwendig ist somit ein modulares System als Föderation interoperabler und kooperativer Teile. Es wurde schon vor einiger Zeit festgestellt, daß *Integration* ein entscheidender Faktor für den erfolgreichen Einsatz eines RKIS ist [ESP92].

Die Integration muß durch ein Kommunikationssystem realisiert werden: Ein rechnerunterstütztes Krankenhauskommunikationssystem (RKKS) ist definiert als der Teil eines RKIS, der für den Austausch von Informationen zwischen den informationsspeichernden Teilsystemen eines RKIS zuständig ist.

2 Integration durch Kommunikationsserver

Zur Standardisierung der Datenübertragung in verteilten RKIS wurde das HL7-Protokoll [Ham93] entworfen, das in den USA von praktisch allen kommerziellen Applikationen für Krankenhausabteilungen unterstützt wird. Es gibt noch einige weitere Standardisierungsinitiativen [MMvG93]. Für die Integration von verteilten RKIS werden häufig Krankenhauskommunikationsserver als RKKS eingesetzt, die auch standardisierte Protokolle unterstützen [PD95].

Die Integrität der Daten, die in föderierten Datenbanken ein zentraler Aspekt ist [SL90], kann durch einen Kommunikationsserver jedoch nicht gewährleistet werden. Die Aktionen, die z.B. zur Aufrechterhaltung von Konsistenz zwischen Daten in verschiedenen Teilsystemen nötig sind, müssen durch die entsprechenden Teilsysteme initiiert werden. Weiterhin müssen bei einer Integration über Kommunikationsserver

die einzelnen Teilsysteme die Adressen der anderen Teilsysteme kennen, um Daten auszutauschen. Das erschwert den Aufbau und die Änderung des Gesamtsystems erheblich.

3 Integration durch ein Föderierungssystem

Aufgrund der in Abschnitt 2 erwähnten Probleme mit der Integration durch Kommunikationsserver scheint es vielversprechend zu sein, die Techniken für föderierte Datenbanken auch für RKKS einzusetzen. Krankenhauskommunikationsserver könnten dabei als Grundlage zur Implementierung verwendet werden.

Es muß davon ausgegangen werden, daß es in der absehbaren Zukunft kein standardisiertes konzeptuelles Schema für RKIS geben wird, das alle Hersteller als Grundlage für ihre Produkte verwenden, auch wenn zur Zeit an Standardisierungen der elektronischen Patientenakte gearbeitet wird [BHB95]. Für eine erfolgreiche Integration ist es jedoch notwendig, daß es zumindest Abbildungen zwischen den Teilen der lokalen Datenmodelle, die die gleichen Informationen bezeichnen, und zentrale Instanzen zur Steuerung von Transaktionen, Zugriffsschutz (Datenschutz), Konsistenzsicherung etc. gibt. Techniken für föderierte Datenbanksysteme sind für diese Aufgaben ein vielversprechender Ansatz.

Die konsistente Replikation von Daten erhöht die Zuverlässigkeit: falls ein Teilsystem ausfällt, können die anderen Teilsysteme weiterarbeiten. Die zentrale Instanz muß dann evtl. geeignete Maßnahmen zur späteren Wiederherstellung der Konsistenz durchführen. Eine Replikation wird sich auch nicht vermeiden lassen: kommerzielle Produkte können nicht dahingehend verändert werden, daß sie sich Daten, die auch in anderen Systemen gespeichert sind, über das Netzwerk holen statt sie aus der lokalen Datenbank zu laden. Die Replikation von Daten erlaubt auch einen effizienten lesenden Zugriff auf die Daten ohne ein Netzwerk zu belasten. Änderungsoperation könnten aufwendiger werden. In KIS werden Patientendaten jedoch nur selten geändert; zumeist gibt es Ergänzungen. Ein föderiertes RKIS könnte auf diese Anwendungsmuster hin optimiert werden.

4 Modellierung von föderierten RKIS

Ein aktueller Schwerpunkt der vorgestellten Arbeit ist die Modellierung von Referenzmodellen [Has96]. Referenzmodelle für RKIS dienen der Beschreibung typischer Strukturen der Informationsverarbeitung im Krankenhaus [WZ95]. Eine besondere Bedeutung kommt Referenzmodellen bei der Gestaltung und Implementierung von RKIS aus heterogenen Einzelsystemen zu. Jedes Einzelsystem wird als zentrale Komponente eine Datenbank zur persistenten Speicherung von Krankenhausdaten haben. Somit bietet es sich an, solche Referenzmodelle als föderierte Datenbanksysteme zu realisieren.

Moderne Architekturen für RKIS sollten nach [Dud95] folgendermaßen in drei Ebenen strukturiert werden:

1. Anwendungsebene
2. Kommunikationsebene (Middleware)
3. Dienstebene (Daten- und Wissensbanken)

Diese Ebenen können, wie in Abb. 1 dargestellt, der 5-Ebenen-Referenzarchitektur nach [SL90] zugeordnet werden, die als Referenzarchitektur für die Föderation autonomer heterogener Datenbanken anerkannt ist [Rah94, PBE95]. Die statischen Beziehungen der Schemata werden in Abb. 1 als OMT-Objektmodell [RMW⁺91] dargestellt. Die Schemata der Kommunikationsebene sind in der sogenannten *kanonischen* Datenmodellierungssprache des Föderierungssystems spezifiziert. Die lokalen und die externen Schemata sind in den spezifischen Datenmodellierungssprachen der Applikationen bzw. Dienstsyste spezifiziert. Die autonomen Teilsysteme werden als *Komponentendatenbanksysteme* (CDBS) bezeichnet. Die lokalen Datenmodelle sind die konzeptionellen Datenmodelle der CDBS entsprechend dem klassischen 3-Schichten-Modell für Datenbanksysteme [Dat95]. Bei den Abbildungen auf die externen Schemata muß evtl. zwischen verschiedenen Datenmodellierungssprachen transformiert werden. Die Filterung der Komponentenschemata auf die Exportschemata dient u.a. zur Auswahl der Daten, die föderiert werden sollen. Für genauere Diskussionen der Komponenten der 5-Ebenen-Referenzarchitektur sei auf [SL90, Rah94, PBE95] verwiesen.

Falls das föderierte Schema auf keine externen Schemata abgebildet wird, dient die Kommunikationsebene nur zur Integration der Teilsysteme. Das Föderierungssystem ist aus Sicht der CDBS eine

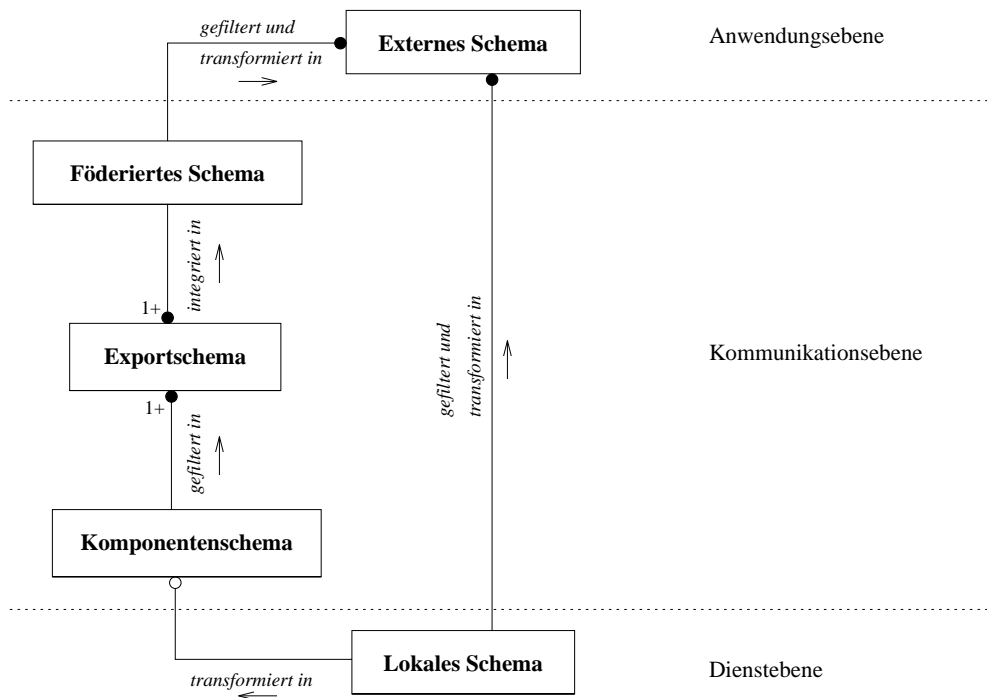


Abbildung 1: Modellierung der 5-Ebenen-Referenzarchitektur nach [SL90] als OMT-Objektmodell und Zuordnung zu den Strukturierungsebenen nach [Dud95]. Kardinalitäten für Assoziationen werden im OMT-Objektmodell durch \bullet ($0 \dots n$) und \circ (0 oder 1), sowie durch numerische Bereichsangaben spezifiziert. Die Pfeile sollen die Leserichtung für die Assoziationsnamen anzeigen.

Applikation. Es ist auch denkbar mit mehreren föderierten Schemata zu arbeiten. In eng gekoppelten Systemen sollte es nur ein föderiertes Schema geben.

Zur Beherrschung der Komplexität des globalen Datenmodells im föderierten Schema muß die kanonische Datenmodellierungssprache geeignete Strukturierungsmechanismen zur Verfügung stellen. Eine ausdrucksfähige Datenmodellierungssprache bietet sich auch deshalb an, weil die Integration der Exportschemata nicht vollständig automatisiert werden kann [BLN86]. Die involvierten Schemata sollten übersichtlich gestaltet werden können.

Zur Unterstützung des Managements von KIS wird ebenfalls die Modellierung auf drei Ebenen vorgeschlagen [WH95]:

1. Verfahrensebene: Netz von Verfahren
2. Logische Werkzeugebene: Netz von Anwendungssystemen
3. Physikalische Werkzeugebene: Netz von physikalischen Subsystemen

Die physikalische Werkzeugebene kann der Dienst- und Kommunikationsebene nach [Dud95] zugeordnet werden (siehe Abb. 1). Die logische Werkzeugebene und die Verfahrensebene entsprechen der Anwendungsebene. Diese Aufteilung soll als Basis für das Management von KIS dienen. Mit diesem Ansatz wird nur die grobe Struktur formal definiert, wobei jedes Teilsystem als atomare Einheit modelliert wird. Das reicht für das Management von KIS durch einen Administrator aus, jedoch nicht für die Konsistenzsicherung in RKIS, wie sie durch föderierte Datenbanksysteme realisiert werden soll. Die Modellierung muß dafür feingranularer auf Ebene der Datenmodelle erfolgen.

Die Verfahrensebene kann z.B. durch Workflow-Management-Systeme unterstützt werden. Für KIS ergeben sich hier besondere Anforderungen, die auch von existierenden Workflow-Management-Systemen bisher nur unzureichend erfüllt werden [KRND95, Has96]. Es bietet sich an, Workflow-Management-Systeme auf der Basis von externen Schemata zu realisieren, die aus dem föderierten Schema abgebildet werden. Der zu steuernde Informationsfluß wird i.a. mehrere autonome Teilsysteme betreffen. Für ein

Workflow-Management-System wird die Verteilung dann transparent und der Entwurf eines Workflow-Management-Systems kann sich auf die Verfahrensebene konzentrieren (separation of concerns).

Bei der Integration der Exportschemata in ein föderiertes Schema können vielfältige Konflikte auftreten [BLN86]. Um die Anforderungen an ein geeignete kanonische Datenmodellierungssprache in Hinblick auf den Integrationsprozeß zu definieren, ist die Berücksichtigung der möglicherweise auftretenden Konflikte notwendig. Im wesentlichen können hier die bekannten Techniken zur Integration verschiedener Sichten eingesetzt werden [BLN86]. Der Umfang und die Relevanz der geerbten Daten in den vorhandenen Systemen (legacy systems) spielt eine wichtige Rolle.

Die Verwendung einer semantisch reichen Datenmodellierungssprache kann durch die Vielfältigkeit der Modellierungsmöglichkeiten zu vielen Konflikten führen. Daher wird z.B. in [Sch95] die Verwendung einer semantisch armen Datenmodellierungssprache favorisiert, um schon durch die geringeren Modellierungsmöglichkeiten Konflikte zu vermeiden. Falls das föderierte Schema jedoch als Grundlage für externe Schemata, z.B. für Workflow-Management-Systeme, eingesetzt werden soll, ist eine semantisch reiche Sprache von Vorteil. Mit einer semantisch reichen Datenmodellierungssprache kann die Semantik der lokalen konzeptionellen Datenmodelle der CDBS verhältnismäßig einfach in die externen Schemata übertragen werden. Für ein RKIS bietet sich daher die Verwendung eines semantisch reichen Datenmodells an, um auch die Koordination im Krankenhaus angemessen unterstützen zu können.

Gerade im medizinischen Bereich kommt dem Datenschutz eine besondere Bedeutung zu. Die Patienten haben Anspruch auf die Wahrung ihrer Privatsphäre und die behandelnden Ärzte und das Pflegepersonal haben ein Recht auf die Wahrung ihrer beruflichen Interessen. Zugriffsschutz über die externen Schemata, die direkt aus den lokalen Schemata der CDBS abgebildet werden, muß durch die jeweiligen Systeme selbst gewährleistet werden. Im Föderierungssystem werden Zugriffsrechte mit der Abbildung der Komponentenschemata auf die Exportschemata spezifiziert (siehe Abb. 1). Zugriffskontrolle für bestimmte Benutzersichten wird auf Ebene der externen Schemata spezifiziert. Für die Übertragung über ein Netzwerk müssen evtl. kryptographische Verfahren eingesetzt werden, was jedoch nicht Gegenstand der Modellierung ist.

5 Ideen zur Realisierung

Ziel der vorgestellten Arbeit ist es, Grundlagen zu entwickeln, um aus den isolierten rechnerunterstützten Informationssystemen einzelner Krankenhausabteilungen ein verteiltes, kooperierendes Informationssystem schaffen zu können. Dazu sollen zunächst ausführbare Referenzmodelle als föderierte Datenbanksysteme modelliert und, darauf aufbauend, in einzelnen Partnerkliniken exemplarisch implementiert werden. Dieser Beitrag diskutiert die Modellierung. Die Werkzeuge zur Spezifikation der Datenmodelle sollten mit den anderen Komponenten des Föderierungssystems — Schemaintegration und -transformation, Integritätssicherung, Transaktionsverarbeitung etc. — integriert sein. Wir verfolgen hier den Ansatz, graph-basierte Integrationstechniken zu verwenden, wie sie auch zur Werkzeugintegration in Softwareentwicklungsumgebungen eingesetzt werden [Emm95, Zam96]. Die Schemata mit den Verbindungen untereinander können als abstrakte Syntaxgraphen abgelegt werden. Die Komponenten des Föderierungssystems arbeiten dann auf diesen gemeinsamen abstrakten Syntaxgraphen.

Literatur

- [BBN95] B. Burkert, S. Bublitz, und D. Nolte. Anwendung und Einsatz von DBF. In C. Eckert, H.-J. Klein, und T. Polle, Hrsg., *7. GI-Workshop über Grundlagen von Datenbanken*, Informatik-Bericht 12/95. Universität Hildesheim, Juni 1995.
- [BHB95] A.R. Bakker, W.E. Hammond, und M. Ball. Summary report of observations, conclusions and recommendation of the IMIA WG 10 Hospital Information Systems Working Group Conference 1994. *International Journal of Bio-Medical Computing*, 39(1):11–15, 1995.
- [BLN86] C. Batini, M. Lenzerini, und S.B. Navathe. A Comparative Analysis of Methodologies for Database Schema Integration. *ACM Computing Surveys*, 18(4):323–364, Dezember 1986.
- [Dat95] C.J. Date. *An introduction to database systems*. Addison-Wesley, 6. Auflage, 1995.
- [Dud95] J. Dudeck. Moderne Architekturen in Krankenhaus-Informationssystemen. In *Abstracts zur 40. GMDS-Jahrestagung*, Seite 51. Ruhr-Universität Bochum, September 1995.

- [Ehl93] C.-Th. Ehlers. Aufgaben und Bedeutung eines Krankenhausinformationssystems. In J. Michaelis, Hrsg., *Europäische Perspektiven der Medizinischen Informatik, Biometrie und Epidemiologie*, Seiten 342–349. MMV Medizin, München, 1993.
- [Emm95] W. Emmerich. *Tool Construction for Process-Centered Software Development Environments based on Object Database Systems*. Dissertation, Universität Paderborn, 1995.
- [ESP92] C.-Th. Ehlers, H. Schillings, und P.M. Pietrzyk. HIS and Integration. In A.R. Bakker, C.-Th. Ehlers, J.R. Bryant, und W.E. Hammond, Hrsg., *Hospital Information Systems: Scope – Design – Architecture*, Seiten 49–56. North-Holland, 1992.
- [Ham93] W.E. Hammond. Health Level 7: A Protocol for the Interchange of Healthcare Data. In G.J.E. De Moor, C.J. McDonald, und J.N. van Goor, Hrsg., *Progress in Standardization in Health Care Informatics*, Seiten 144–148. IOS Press, 1993.
- [Has96] W. Hasselbring. Gestaltung und Implementierung von Krankenhausinformationssystemen als föderierte Datenbanksysteme. In *Proc. Workshop zu Föderierten Datenbanksystemen*. Preprint der Fakultät für Informatik, Universität Magdeburg, April 1996.
- [HTJ⁺95] M. Höding, C. Türker, S. Janssen, K.-U. Sattler, S. Conrad, G. Saake, und I. Schmitt. Föderierte Datenbanksysteme - Grundlagen und Ziele des Projektes SIGMA_{FDB}. Preprint Nr. 12, Fakultät für Informatik, Universität Magdeburg, Dezember 1995.
- [KRND95] K. Kuhn, M. Reichert, M. Nathe, und P. Dadam. Unterstützung der klinischen Kooperation durch Workflow-Management-Systeme — Erwartungen, Forschungsbedarf, Perspektiven. In *Abstracts zur 40. GMDS-Jahrestagung*, Seite 145. Ruhr-Universität Bochum, September 1995.
- [MMvG93] G.J.E. De Moor, C.J. McDonald, und J.N. van Goor, Hrsg. *Progress in Standardization in Health Care Informatics*. IOS Press, 1993.
- [PBE95] E. Pitoura, O. Bukhres, und A. Elmagarmid. Object Orientation in Multidatabase Systems. *ACM Computing Surveys*, 27(2):141–195, Juni 1995.
- [PD95] H.U. Prokosch und J. Dudeck, Hrsg. *Hospital Information Systems: Design and Development Characteristics; Impact and Future Architecture*. Elsevier, 1995.
- [Rah94] E. Rahm. *Mehrrechner-Datenbanksysteme: Grundlagen der verteilten und parallelen Datenbankverarbeitung*. Addison-Wesley, Bonn, 1994.
- [RMW⁺91] J. Rumbaugh, B. Michael, P. William, E. Frederick, und L. William. *Object-Oriented Modelling and Design*. Prentice Hall, 1991.
- [Sch95] I. Schmitt. Flexible Integration and Derivation of Heterogeneous Schemata in Federated Database Systems. Preprint Nr. 10, Fakultät für Informatik, Universität Magdeburg, November 1995.
- [SL90] A. Sheth und J. Larson. Federated database systems for managing distributed, heterogeneous, and autonomous databases. *ACM Computing Surveys*, 22(3):183–236, 1990.
- [WH95] A. Winter und R. Haux. A three-level graph-based model for the management of hospital information systems. *Methods of Information in Medicine*, 34(4):378–396, 1995.
- [WZ95] A. Winter und R. Zimmerling. Die Bedeutung von Referenzmodellen für das Management von Krankenhausinformationssystemen. In F. Huber-Wäschle, H. Schauer, und P. Widmayer, Hrsg., *GISI 95 Herausforderungen eines globalen Informationsverbundes für die Informatik*, Seiten 703–710. Springer-Verlag, 1995.
- [Zam96] A. Zamperoni. GRIDS – Graph-based, Integrated Development of Software: Integrating Different Perspectives of Software Engineering. In *Proc. 18th International Conference on Software Engineering (ICSE '18)*, Berlin, März 1996. IEEE Computer Society Press.