Föderierung heterogener Datenbanksysteme und lokaler Datenhaltungskomponenten zur systemübergreifenden Integritätssicherung – Grundlagen und Ziele des Projektes SIGMA$_{FDB}$[1]

Gunter Saake; Stefan Conrad; Michael Höding;
Sven Janssen; Ingo Schmitt; Can Türker

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Institut für Technische Informationssysteme
Postfach 4120, D–39016 Magdeburg

Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer Basis-Informationsinfrastruktur als Grundlage integrierter und einheitlicher Datenhaltung für alle Phasen der Fabrikplanung. Dazu soll ein föderiertes heterogenes Informationssystem entstehen, das als Rahmensystem zur Integration aller an der Fabrikplanung beteiligten Software-Werkzeuge einschließlich deren lokaler Datenbestände dient. Damit sollen bislang separate Werkzeuge, die für Produktentwurf, Produktionsplanung und Fabriksimulation eingesetzt werden oder dafür noch entwickelt werden, synergetisch zusammengefügt werden.
Zentrale Aufgabe eines solchen föderierten Informationssystem ist die systemübergreifende Gewährleistung der Datenkonsistenz. Um diese zu gewährleisten, sollen aktive Mechanismen auf einer übergeordneten Ebene realisiert werden, um die Einzelsysteme mit ihren unterschiedlichen Möglichkeiten der Integritätssicherung zu verbinden.

1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes “Neue Produktionssysteme/Experimentelle Fabrik“ fördert das Land Sachsen-Anhalt das Forschungsprojekt *Föderierung heterogener Datenbanksysteme und lokaler Datenhaltungskomponenten zur systemübergreifenden Integritätssicherung* [2], das der Erforschung föderierter Datenbanksysteme als Basistechnologie für die Integration heterogener Softwaresysteme dient [HTJ+95]. In diesem Bericht stellen wir wichtige Grundlagen und Techniken föderierter Datenbanksysteme (FDBS) vor und präsentieren erste Überlegungen zu den Projektschwerpunkten föderierter Datenbankentwurf und föderierte Konsistenzsicherung.

In diesem ersten Kapitel geben wir eine Motivation zur Erforschung und zum Einsatz föderierter Datenbanksysteme. Wir zeigen den Bedarf der Praxis an Integrationslösungen für heterogene Datenhaltungssysteme und die Möglichkeiten föderierter Datenbanksysteme, zur Erfüllung dieses Bedarfes beizutragen. Ferner erläutern wir die Einordnung des Projektes in das interdisziplinäre Forschungsvorhaben „Virtuelle Fabrik“.

[1] **SIGMA**$_{FDB}$ (**S**chema **I**ntegration and **G**lobal integrity **M**aintenance **A**pproach *for* **F***ederated* **D***ata* **B***ases*)

[2] Förderung durch das Land Sachsen-Anhalt unter FKZ 1987 A / 0025

1.1 Motivation

In den letzten Jahrzehnten haben sich Datenbanksysteme in vielen Bereichen von Wirtschaft, Verwaltung und Wissenschaft durchgesetzt [Bla95]. Insbesondere die Enwicklung relationaler Datenbanksysteme erschloß neue Anwendungsfelder jenseits des traditionellen Datenbankeinsatzes in Banken, Fluggesellschaften, Bibliotheken, etc. Auch in klein- und mittelständischen Unternehmen ist die Nutzung von Informationssystemen auf der Basis moderner Datenbanksysteme ein wichtiger Katalysator des Erfolgs geworden. Neben der Anwendung in Auftragsabwicklung, Rechnungswesen, etc. haben sich in den letzten Jahren weitere Systeme wie z.B. CAD- und CAE-Systeme durchgesetzt [Pau93, PWPH95]. Auch sie verwalten produkt- und unternehmensspezifische Daten, zum Teil bereits unter Nutzung von Datenbanksystemen. So ist in vielen Unternehmen eine Landschaft heterogener Datenbank- und Datenhaltungssysteme entstanden.

Ähnliche Forderungen bestehen auch im Bereich der integrierten Nutzung autonomer Werkzeuge zur Lösung von Spezialaufgaben [BG95, Zie95, ZWB95]. Diese Werkzeuge verfügen zumeist über eigene Datenhaltungssysteme, zum Teil auf Basis von Dateisystemen. Die Kopplung der Werkzeuge erfolgt dabei über den Im- und Export sowie die Transformation von Dateien. Auch hierbei treten Probleme durch redundante Datenbestände auf. Verbesserungspotentiale liegen in der Unterstützung von synchroner, interaktiver, kooperativer und konkurrierender Arbeit [Str93]. Damit wird es möglich, Produktionszykluszeiten zu verkürzen bzw. die Produktqualität zu erhöhen.

Die meisten der auftretenden Probleme resultieren aus den verschiedenen Arten von Heterogenität, wie

- Heterogenität von Hardware und Betriebssystemen,
- Heterogenität der zugrunde liegenden Datenmodelle,
- Heterogenität der Datenhaltungs- bzw.Datenbankmanagementsysteme,
- Heterogenität der Schemata und
- Heterogenität der Daten selbst.

Ein naheliegender Ansatz ist deshalb die Überwindung der Heterogenität durch den Einsatz eines zentralen Datenbanksystems, das alle Daten einheitlich und zentral verwaltet [MSJ94]. Versuche, unternehmensweite Datenmodelle zu entwickeln und einzusetzen, führten zu sehr mächtigen Systemen, die teilweise schwer handhabbar, unübersichtlich und langsam sind. Außerdem gibt es kein Datenbankmanagementsystem, das für alle Einsatzfälle gleichermaßen geeignet ist. Ein weiteres Problem ist der enorme Aufwand bei der Einführung eines zentralen Systems. Bereits existierende Anwendungen, die zumeist eine große Menge Know-how des Unternehmens darstellen, müssen für das neue zentrale System umprogrammiert werden. Dies ist teilweise nicht möglich, da in einigen Fällen kein Quellcode zu Verfügung steht. Ein weiteres Problem ist die Migration der „ererbten“ Datenbestände. Die Nachteile des Einsatzes eines zentralen Systems lassen die großen Risiken und den erheblichen Aufwand eines solchen Umstellungsschrittes erkennen.

Eine andere vielversprechende Möglichkeit zur Überwindung der Heterogenität ist die Nutzung föderierter Datenbanksysteme [HM85, SL90, LMR90, BHP92]. Bestehende (heterogene) Datenbank- und Datenhaltungssysteme werden zu einem umfassenden System föderiert, wobei die Einzelsysteme ihre Autonomie weitgehend bewahren. Dies hat den Vorteil, daß bestehende Anwendungen unverändert und weitgehend ohne Performance-Verlust weiterlaufen können, während neuen Anwendungen die Möglichkeit geboten wird, über eine einheitliche Schnittstelle auf die föderierten Datenbestände zuzugreifen. Damit wird die Einführung neuer bzw. eine sanfte Migration bestehender Applikationen möglich, womit das Fehlschlagrisiko beträchtlich sinkt.

Die Konzepte für Entwicklung, Einführung und Betrieb föderierter Datenbanksysteme sind Gegenstand der aktuellen Datenbankforschung. Wichtige Aspekte des Forschungsgebietes sind Methoden zur Schematransformation und -integration sowie zur Konsistenzsicherung in föderierten Systemen. Aus diesem Grund sind sie Schwerpunkte des Forschungsprojektes $\mathbf{SIGMA}_{FDB}$.

1.2 Einordnung des Projekts

Das Projekt ordnet sich in den Forschungsschwerpunkt der Otto-von-Guericke Universität *Neue Produktionssysteme - Experimentelle Fabrik* des Landes Sachsen-Anhalt ein. In diesem Rahmen haben sich Wissenschaftler aus Informatik, Maschinenbau und Physik zu interdisziplinärer Zusammenarbeit gefunden. Die Zusammenarbeit basiert auf dem gemeinsamen Thema *Virtuell-Explorative Fabrikplanung* und dient der Erforschung neuer Wege und Methoden für die integrierte Unterstützung aller Phasen im Lebenszyklus moderner Fabriken durch den Einsatz modernster Informationstechnologie.

In diesem Sinne ist es Aufgabe des Projektes, Grundlagen für die Informations- und Kommunikationsinfrastruktur der *Virtuellen Fabrik* zu schaffen. Dabei geht es sowohl um die Integration von Werkzeugen zur Planung und Entwicklung, als auch um Aspekte der informationstechnischen Unterstützung des Betriebes. Auf Basis der bereits oben aufgeführten Argumente, verbunden mit den nur begrenzt zur Verfügung stehenden personellen und materiellen Kapazitäten, ist der Einsatz von Föderierungstechniken zu empfehlen. Damit wird in Spezial-Applikationen enthaltenes Know-how im Sinne der Investitionssicherung, bei gleichzeitiger Flexibilität des Gesamtsystems, erhalten.

2 Grundlagen

Gegenstand dieses Kapitels sind die für das Gebiet föderierter Datenbanksysteme (FDBS) wichtigen Grundlagen und Begriffe. Nachdem wir eingangs eine Begriffsbestimmung und Einordnung der föderierten Datenbanksysteme vornehmen, wird genauer auf die Architektur von FDBS eingegangen. Dabei wird die 5-Ebenen-Referenz-Architektur [SL90] für föderierte Datenbanksysteme vorgestellt.

2.1 Begriffsbestimmung und Einordnung

Ein föderiertes Datenbanksystem besteht aus dem föderierten Datenbankmanagementsystem und aus einem oder mehreren *Komponentendatenbanksystemen* (CDBS). Das föderierte Datenbankmanagementsystem wird oft auch als Föderierungsdienst oder Föderierungsschicht bezeichnet [HM85, BEK+94]. Das FDBS dient dazu, logisch und möglicherweise physisch verteilte heterogene Datenbanksysteme bei weitgehender Erhaltung der lokalen Autonomie der CDBS zu föderieren.

Die Komponentendatenbanksysteme können dabei hinsichtlich der Laufzeitumgebung, des Datenmodells und der Datenbankschemata heterogen sein [SL90]. Es ist möglich, daß ein CDBS seinerseits wieder als föderiertes Datenbanksystem realisiert ist. Auf der lokalen Schnittstelle der CDBS arbeiten lokale Applikationen, die auf die speziellen Gegebenheiten der Laufzeitumgebung, des unterstützten Datenmodells und der realisierten lokalen Schemata zugeschnitten sind. Das föderierte Datenbankmanagementsystem operiert ebenfalls auf den lokalen Schnittstellen der einzelnen CDBS. Bei vollständiger Wahrung der

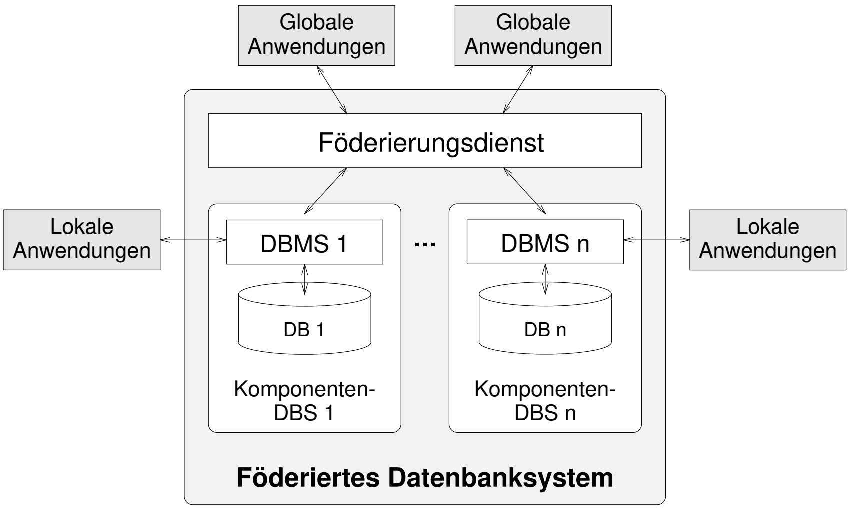

Abbildung 1: Komponenten eines Föderierten Datenbanksystem

Autonomie der CDBS verhält sich der Föderierungsdienst wie eine lokale Applikation. Aufgabe des Föderierungsdienstes ist die Überwindung der Heterogenität. Es werden ein oder mehrere föderierte Schemata für den einheitlichen, transparenten und integrierenden Zugriff auf alle föderierten Daten realisiert. Die Darstellung des föderierten Schemas basiert auf einem einheitlichen Datenmodell, dem sogenannten *kanonischen Datenmodell*. Über externe Schnittstellen können globale Applikationen die Dienste des föderierten Datenbanksystems nutzen [Hsi92a, Hsi92b].

Bei föderierten Datenbanksystemen wird in *lose* [CGW94] bzw. *eng* [Kac94] *gekoppelte* FDBS unterschieden. Bei lose gekoppelten Systemen greifen Applikationen mittels einer speziellen Multidatenbanksprache auf die verschiedenen heterogenen Datenbanksysteme zu, d.h. jede Anwendung schafft sich ein eigenes föderiertes Schema. In eng gekoppelten FDBS wird durch den Föderierungsdienst ein globales föderiertes Schema realisiert. Auf dieses Schema bzw. auf davon abgeleitete externe Schemata greifen alle Applikationen zu, die das FDBS nutzen.

Im Rahmen des Projektes $\mathbf{SIGMA}_{FDB}$ konzentrieren wir uns auf eng gekoppelte FDBS, da nur durch die enge Kopplung mittels eines globalen föderierten Schemas die Realisierung globaler Konsistenzsicherungsmechanismen möglich ist. Gerade für das zu untersuchende Gebiet des konkurrierenden und kooperierenden Arbeitens mit integrierten Werkzeugen ist Konsistenzsicherung von wesentlicher Bedeutung.

2.2 Architektur föderierter Datenbanksysteme

Die wesentliche Aufgabe dieser in Abschnitt 2.1 beschriebenen Föderierungsschicht besteht darin, eine globale homogene Schnittstelle für den einheitlichen und transparenten Zugriff auf föderierte Daten bereitzustellen. In [SL90] wird eine 5-Schema-Ebenen-Referenz-Architektur vorgestellt, die sich für die vergleichende Bewertung verschiedener Architekturen föderierter Datenbanksysteme und in der FDBS-Entwicklung durchgesetzt hat. Wegen der grundlegenden Bedeutung dieser Architektur wollen wir im folgenden genauer darauf eingehen. Wir setzen dabei voraus, daß für die Föderierungsschicht ein geeignetes kanonisches Datenmodell existiert.

Die konzeptionellen Schemata (siehe Abbildung 2) der an der Föderierung beteiligten

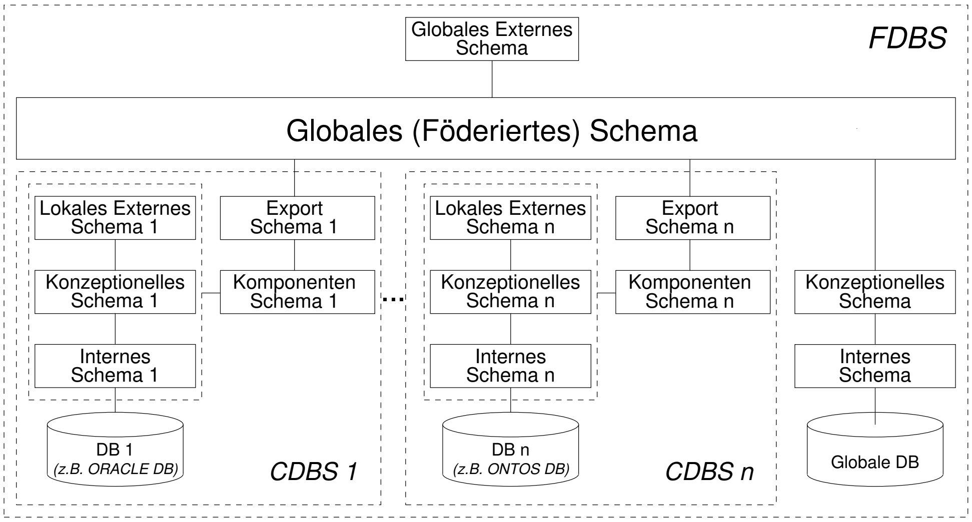

Abbildung 2: Schema-Architektur föderierter Datenbanksysteme nach [SL90]

Komponentendatenbanken (CDB) bilden die lokalen Schemata des FDBS. Sie basieren auf dem Datenmodell des jeweiligen Datenbankmanagemensystems. Die lokalen Schemata werden in das kanonische Datenmodell überführt. Dadurch wird die Heterogenität bezüglich des genutzten Datenmodells überwunden. Es enstehen die Komponentenschemata. Durch eine Filterung der an der Föderierung beteiligten Schemateile werden die Exportschemata erzeugt. Die Überwindung der Schemaheterogenität erfolgt durch die Integration aller Exportschemata zu einem globalen föderierten Schema. Dabei mögliche Integrationsstrategien werden u.a. in [BLN86] diskutiert. Bei der Schemaintegration treten die bereits aus der Sichtenintegration bekannten Konflikte auf, die nicht immer vollständig lösbar sind. Aus dem föderierten Schema können externe Schemata abgeleitet werden. Dabei ist nicht nur die Generierung von Schemaheterogenität, sondern auch von Datenmodellheterogenität möglich. Damit besteht die Möglichkeit, Schemata anzubieten, die äquivalent den lokalen Schemata sind, wodurch die Migration von lokalen Applikationen vom lokalen Datenbanksystem auf das föderierte Datenbanksystem durchführbar wird [RS94].

Nicht alle Schemaebenen müssen in der Realisierung eines FDBS ausgeprägt sein. So ist es beispielsweise möglich, die Filterung der zu föderierenden Schemateile bereits durch Nutzung externer Schemata des lokalen DBMS zu realisieren. Dadurch kann eine größere Entwurfsautonomie der lokalen Systeme unterstützt werden.

Wichtig ist die Einbeziehung von auf Dateien basierenden Datenhaltungssystemen. Dafür ist eine nachträgliche Modellierung der in den Dateien enthaltenen Informationen nötig. Die Struktur der Datenabspeicherung kann für diese Systeme als implizites Datenmodell des Datenhaltungssystems aufgefaßt werden. Die nachträgliche Modellierung kann dabei als Transformation in das kanonische Datenmodell aufgefaßt werden. Dieser Vorgang ist sehr aufwendig im Verhältnis zur Transformation zwischen den in etablierten DBS zum Einsatz kommenden Datenmodellen, für die zumeist theoretisch fundierte und praxiserprobte Methoden und Werkzeuge existieren.

Eine wichtiges Kriterium für die Anwendbarkeit von FDBS ist die Erweiterbarkeit [SW91]. Dabei ist vor allem die Unterstützung verschiedener Datenmodelle für CDB, aber auch für externe Schemata von besonderer Bedeutung. Dazu wird das Adapterkonzept genutzt, daß ein Ein- und Ausklinken von Datenbanksystemen ermöglicht. Der

Föderierungsdienst besteht aus einem Kern, Datenbankadaptern und externen Adaptern. Der Kern nimmt auf Basis des kanonischen Datenmodells die Filterung der Exportschemata und ihre Integration zum föderierten Schema sowie die Datenintegration vor. An den Kern ist eine flexible Anzahl heterogener Datenbankmanagementsysteme bzw. Datenhaltungssysteme über eine variable Menge von Datenbankadaptern ankoppelbar. Diese speziellen Adapter übernehmen die Datenmodelltransformation zur Überwindung der Datenmodellheterogenität für jedes zu unterstützende Datenmodell. Zur Ableitung externer Sichten und zur Erzeugung von Datenmodellheterogenität werden externe Adapter eingesetzt. Ein ähnlicher Ansatz wird auch im Rahmen der Projekte Efendi [BEK+94, BK95] und FIHD [Jan95] verfolgt.

3 Projektziele

Ein wesentliches Ziel des Projektes ist es, Grundlagen zur Schaffung einer zukunftsorientierten Unternehmens-, Informations- und Kommunikationsinfrastruktur zu untersuchen. Eine solche Infrastruktur ist für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen von entscheidender Bedeutung. Die Forderung nach kürzeren Innovationszyklen und qualitativ höherwertigen Produkten bedarf der Umsetzung sowie der informationstechnischen Unterstützung neuer Methoden des integrierten Arbeitens [Zie95]. Dazu gilt es, die Datenbestände der im Unternehmen vorhandenen Softwaresysteme einheitlich zu verwalten, konsistent zu halten und weiterhin zusätzliche Funktionalität zu offerieren. Bei der Einführung dieser Infrastruktur darf es aber nicht zu anwendungsfremden Restriktionen für die lokalen Nutzer kommen. Daraus resultiert die Forderung nach Gewährleistung der Autonomie der zu integrierenden Einzelsysteme. Ein geeignetes Mittel zur Lösung der damit verbundenen Probleme liegt im Einsatz föderierter Datenbanksysteme, die Integrationsmöglichkeiten bei gleichzeitiger Wahrung der lokalen Autonomie bieten. FDBS sind somit eine geeignete Basistechnologie für die Schaffung einer Informations- und Kommunikationsinfrastruktur.

Ein scheinbares Risiko für den Erfolg eines solchen Projektvorhabens mag in der Komplexität der Problemstellung liegen. Wir wollen uns deshalb auf die Untersuchung von Szenarien aus dem Bereich Fabrikplanung [Agg90] beschränken. Ziel der Fabrikplanung ist die optimierte Gestaltung der Fabrikanlage. Während eines mehrstufigen, iterativen Gestaltungsprozesses werden eine Reihe von speziellen Systemen (CAx, PPS, etc.) bzw. ihre Daten genutzt [ZWB95]. Es existieren heterogene Datenhaltungssysteme mit heterogenen Datenbeständen, die den Einsatz föderierter Datenbanksysteme sinnvoll erscheinen lassen. Die bei der Erforschung dieser Problemstellungen gewonnenen Erkenntnisse können im Rahmen der Projektkooperation mit Fabrikplanern und Logistikern überprüft und abgeglichen werden.

Entsprechend diesen Zielen und der Bearbeitung durch zwei wissenschaftliche Mitarbeiter ist das Projekt in zwei Teile untergliedert, auf die im folgenden näher eingegangen wird.

3.1 Integration lokaler Datenhaltungskomponenten

Eine Vielzahl der für den Entwurfs- und Planungsprozeß vorgesehenen Werkzeuge besitzt eine eigene lokale Datenhaltungskomponente. Da es sich hierbei oft nicht um Datenbanksysteme handelt, treten hier gegenüber der Föderierung von Datenbanksystemen neue

Probleme auf. Typische Beispiele für solche Anwendungssysteme mit eigenen Datenhaltungskomponenten sind beliebige CAχ-Systeme und viele Simulationswerkzeuge.

Insbesondere fehlende Eigenschaften wie Integritätsüberwachung erfordern eine andere Form der Integration. Darüber hinaus sind viele dieser Werkzeuge als Ein-Benutzer-Systeme ausgelegt, so daß ihre Einbindung in ein globales Informationssystem, bestehend aus verschiedenen Datenbank- und Anwendungssystemen, eine zusätzliche Einkapselung erfordert.

Hierzu sind die Anforderungen der Anwendungssysteme an ihre eigenen lokalen Datenhaltungskomponenten zu analysieren und mit den sich aus dem Zusammenschluß der verschiedenen Systemen ergebenden Anforderungen abzugleichen. Ausgehend von dieser Anforderungsanalyse soll zunächst eine integrative Schnittstelle von dem betrachteten Anwendungssystem (z.B. ein CAD-System) zum übrigen Teil des globalen Informationssystems entworfen werden.

Das an einem oder mehreren konkreten Anwendungssystemen entwickelte Integrationskonzept ist anschließend so zu verallgemeinern, daß für derartige Integrationsaufgaben, die aufgrund der schnellen technischen Entwicklung in dem betrachteten Anwendungsszenario (Virtuelle Fabrik) immer wieder anfallen werden, eine methodische Leitlinie vorliegt. Dadurch soll zum einen eine einheitliche Integration verschiedener Anwendungssysteme in das globale Informationssystem sichergestellt werden und zum anderen der Aufwand für die Durchführung der einzelnen Integration erheblich reduziert werden. Erste Ergebnisse dazu befinden sich in [Sch95, SS95].

3.2 Aktive Konsistenzsicherungsmechanismen

Aktive Mechanismen zur Konsistenzsicherung (in sogenannten „aktiven Datenbanken") stellen ein aktuelles und vielversprechendes Prinzip zur Konsistenzsicherung in einzelnen, aber auch föderierten Datenbanksystemen dar [CT95]. Sie beruhen auf regelbasierter Konsistenzüberwachung und -erzwingung. Für potentiell konsistenzverletzende Aktionen werden Regeln definert, die die für die jeweilige Situation geeigneten Korrekturmaßnahmen festlegen. Tritt eine solche Aktion ein, wird die entsprechende Regel aktiviert, die dann die konsistenzwahrenden Maßnahmen initiiert (falls erforderlich). So ist es möglich, eine regelorientierte Wissensbasis zur Konsistenzsicherung des gesamten Datenbestandes anzulegen.

Die bislang erforschten Prinzipien aktiver Datenbanken beziehen sich ausschließlich auf einzelne Datenbanksysteme oder aber zumindest auf homogene Datenbanksysteme. Hier sollen diese Prinzipien auf föderierte, heterogene Datenbanksysteme erweitert werden. Da die verwendeten Datenbanksysteme in dem betrachteten Anwendungsszenario in der Regel keine aktiven Mechanismen zur Konsistenzsicherung anbieten, sind die aktiven Mechanismen auf der Ebene des föderierten Systems, also datenbankübergreifend anzusiedeln.

Fast alle kommerziellen Datenbanksysteme bieten eigene Integritätsüberwachungsmechanismen an, die aber nur einen Bruchteil der Möglichkeiten aktiver, regelbasierter Mechanismen leisten. Aus Effizienzgründen müssen diese mitgelieferten Mechanismen aber unbedingt miteinbezogen werden. Daher muß diese Einbeziehung für die konkret verwendeten Systeme analysiert und konzeptionell vorbereitet werden. Angestrebt wird dabei eine Aufteilung derart, daß die aktiven, regelbasierten Mechanismen die globale Kontrolle bei der Konsistenzsicherung übernehmen und die lokal zu behandelnden Teile an die einzelnen Datenbanksysteme weitergeben.

4 Arbeitsschritte

Wie bei der Beschreibung der Projektziele werden die erforderlichen Arbeitsschritte in die Bereiche “Flexible Schematransformation und -integration“ sowie “Mechanismen zur globalen Konsistenzsicherung“ unterteilt, die parallel bearbeitet werden. Da sich die beiden Bereiche einander inhaltlich bedingen, findet eine enge Zusammenarbeit statt. Auf die beiden Bereiche wird im einzelnen eingegangen.

4.1 Flexible Schematransformation und -integration

- Analyse der Ausgangssituation

  Bei der Analyse der Ausgangssituation erfolgt die Untersuchung vorhandener Konzepte zum Thema föderierte Datenbanksysteme mit Schwerpunkt Schematransformation und Schemaintegration, die Analyse der Datenmodelle der im Rahmen der Virtuellen Fabrik zu föderierenden Datenhaltungssysteme und deren Interaktionsmöglichkeiten unter Berücksichtigung von Standards im Bereich Datenmodelle, Anfragesprachen und Datenaustausch (ODMG-93, SQL2, ODBC, ...). Parallel dazu werden vorhandene Prototypen föderierter Datenbanksysteme, zum Beispiel OpenDM, IRO-DB und ZOO_{IFI}, evaluiert.

- Erarbeitung eines detaillierten Anforderungskatalogs für ein im Rahmen der Virtuellen Fabrik einsetzbares föderiertes Datenbanksystem (vgl. dazu 4.2.)

  Es werden föderierungstypische Anforderungen an globale und lokale Schnittstellen, Anfragesprachen, die generische Konfigurationsstruktur und Konsistenzsicherungsmechanismen unter Berücksichtigung spezifischer Besonderheiten des Anwendungsgebiets Virtuelle Fabrik erarbeitet. Dabei werden auch technische Anforderungen wie Performance und Nutzung von Netzstrukturen untersucht.

- Definition einer erweiterbaren föderierten Systemarchitektur unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen

  Der Analyse und konzeptionelle Erweiterung der Architekturen existierender Prototypen föderierter Datenbanksysteme folgt die Festlegung eines geeigneten kanonischen Integrationsmodells mit entsprechender Anfragesprache und der Auswahl der benötigten Datenmodelle als Basis für lokale und globale Schemata.

- Konfiguration und eventuelle Erweiterung eines Prototypsystems

  Ein Prototyp soll um datenhaltungs- und datenmodellspezifische Adapter als Verbindungsstelle des föderierten Systems zu lokalen Datenhaltungssystemen und globalen Anwendungen sowie um geeignete Schematransformatoren erweitert werden. Darauf aufbauend erfolgt die prototypische Realisierung eines geeigneten Föderierungsbeispiels aus dem Themenbereich Virtuelle Fabrik

- Ableitung einer Methodik zum Erstellen einer föderierten Datenbank

  Diese Methodik dient der Vorbereitung von Datenhaltungssystemen zur Föderierung, der Erstellung von Komponentenschemata aus lokalen Schemata zur Überwindung von Heterogenität auf Datenmodellebene, der Integration verschiedener Komponentenschemata zu einem föderierten Schema (eng gekoppelt), der Ableitung externer Schemata auf der Basis des integrierten Schemas und zur Durchführung der Datenintegration.

- Erstellung von Bewertungskriterien bezüglich Integrierbarkeit durch Föderierung

  Diese Bewertungskriterien werden für Datenhaltungssysteme, deren Schnittstellen und den darauf basierenden Anwendungen erstellt.

4.2 Mechanismen zur globalen Konsistenzsicherung

- Analyse der bislang entwickelten Konzepte zur aktiven Konsistenzsicherung in dem Bereich aktiver Datenbanken

  Es erfolgt die Aufarbeitung der verschiedenen Ansätze für aktive Datenbanken (relational und objektorientiert) mit einer vergleichenden Bewertung der Konzepte.

- Übertragung und Erweiterung dieser Konzepte auf föderierte, heterogene Datenbanksysteme

  Darunter fallen die Bestimmung der Anforderungen föderierter, heterogener Datenbanksysteme an eine systemübergreifende Konsistenzsicherung, die Überprüfung der analysierten Konzepte auf ihre Übertragbarkeit auf föderierte, heterogene Datenbanksysteme sowie die Bestimmung fehlender Konzepte und die Entwicklung von Vorschlägen zur Erweiterung bestehender Konzepte für die besonderen Anforderungen föderierter Datenbanksysteme

- Definition einer systemübergreifenden Föderierungsschicht, in der aktive Mechanismen zur Konsistenzsicherung eingesetzt werden

  Dazu wird eine geeigneten Systemarchitektur für föderierte Datenbanksysteme mit globaler Konsistenzsicherung auf der Basis der Standardarchitektur föderierer Systeme unter Berücksichtigung gegebenfalls vorhandener lokaler Integritätssicherungsmechanismen entwickelt und ein Vergleich mit anderen Ansätzen zur Konsistenzsicherung, z.B. für verteilte (homogene) Datenbanksysteme, vorgenommen.

- Entwurf eines solchen aktiven Konzeptes zur föderierten Konsistenzsicherung unter Verwendung der in den einzelnen Datenbanksystemen vorhandenen Integritätsüberwachungsmechanismen

  In diesem Arbeitsschritt wird die konzeptionelle Entwicklung einer föderierten Konsistenzsicherung auf der Basis der entstandenen Systemarchitektur angestebt. Es erfolgt die Integration der analysierten aktiven Konzepte und eine Behandlung der verschiedenen einzubindenden Datenbanksysteme.

- Anwendung dieses Konzeptes zur Föderierung auf die konkret verwendeten Datenbanksysteme

  Die Entwicklung eines Integrationskonzept für bestehende Datenbanksysteme (relational und objektorientiert) und der Entwurf einer Anbindung dieser Datenbanksysteme an die föderierte Konsistenzsicherung unter Einbeziehung ihrer lokal vorhandenen Konsistenzsicherungsmechanismen ist Ergebnis dieses Arbeitsschrittes. Weiterhin findet die konzeptionelle Vorbereitung einer prototypischen Realisierung statt.

- Erweiterung des aktiven Konsistenzsicherungskonzeptes von föderierten heterogenen Datenbanksystemen für die Integration lokaler Datenhaltungskomponenten ohne volle Datenbankfunktionalität

Nach der Analyse der besonderen Anforderungen für die Konsistenzsicherung in lokalen Datenhaltungskomponenten von Anwendungssystemen (z.B. CAD- oder PPS-Systeme) und der Erweiterung der gefundenen Systemarchitektur für die Berücksichtigung lokaler Datenhaltungskomponenten wird ein Adapter für lokale Datenhaltungssysteme realisiert.

- Realisierung der aktiven konsistenzsichernden Mechanismen in einem Prototypen

  Abschließend findet eine prototypische Realisierung der Systemarchitektur für eine föderierte Konsistenzsicherung unter Verwendung bestehender Software-Werkzeuge für die Föderierung von Datenbanksystemen statt. In diesen Prototypen erfolgt eine Einbindung bestehender Datenbanksysteme mit eigenen Integritätsmechanismen und eine evtl. prototypische Realisierung eines Adapters für ein Anwendungssystem mit lokaler Datenhaltungskomponente.

5 Ausblick

Die hier begonnene interdisziplinäre Zusammenarbeit von Maschinenbauern und Informatikern ermöglicht die Untersuchung des Einsatzes neuer Techniken und Methoden für das integrierte Arbeiten während des Fabrikplanungsprozesses. In diesem Sinne sollen Beispiele aus dem Anwendungsgebiet Fabrikplanung Möglichkeiten des Einsatzes föderierter Datenbanksysteme dokumentieren. Sowohl im theoretisch-konzeptionellen als auch im praktisch-technischen Bereich besteht auf dem Gebiet föderierter Datenbanksysteme Forschungsbedarf. Bei der Validierung gewonnener Erkenntnisse in Zusammenarbeit mit Partnern aus dem Maschinenbau können allgemeine und spezielle Problemstellungen realitätsnah untersucht werden.

Literatur

[Agg90] B. Aggteleky. *Fabrikplanung*, Band 1–3. C. Hanser Verlag, München-Wien, 1990.

[BEK+94] R. Böttger, Y. Engel, G. Kachel, S. Kolmschlag, D. Nolte und E. Radeke. Enhancing the Data Openness of Frameworks by Database Federation Services. Technical Report, Cadlab Paderborn No 38/94, Germany, 1994.

[BG95] M. Bounab und C. Godart. A Federated Approach to Tool Integration. In J. Iivari, K. Lyytinen und M. Rossi, Hrsg., *Proc. 7th Conf. on Advanced Information System Engineering (CAiSE'95), Jyvaskyla, Finland*, S. 269–282. LNCS 932, Springer-Verlag, 1995.

[BHP92] M. Bright, A. Hurson und S. Pakzad. A Taxonomy and Current Issues in Multidatabase Systems. *IEEE Computer*, 25(3):50–56, 1992.

[BK95] R. Böttger und G. Kachel. Implementierungsaspekte der Database Federation Services. In C. Eckert, H.-J. Klein und T. Polle, Hrsg., *7. GI-Workshop "Grundlagen von Datenbanken"*, S. 25–29. Hildesheimer Informatik Berichte Nr. 12, 1995.

[Bla95] A. Blaser. Die BTW im Wandel der Datenbank-Zeiten. In G. Lausen, Hrsg., *Proc. GI-Fachtagung "Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft" (BTW'95)* , S. 48–50. Informatik aktuell, Springer-Verlag, 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, 1986.

[CGW94] S. Chawathe, H. Garcia-Molina und J. Widom. Constraint Management in Loosely Coupled Distributed Databases. Technical Report, Department of Computer Science, Stanford University, 1994.

[CT95] S. Conrad und C. Türker. Active Integrity Maintenance in Federated Database Systems. Preprint Nr. 9, Fakultät für Informatik, Universität Magdeburg, November 1995.

[HM85] D. Heimbigner und D. McLeod. A Federated Architecture for Information Management. *ACM Transactions on Office Information Systems*, 3(3):253–278, 1985.

[Hsi92a] D. Hsiao. Federated Databases and Systems: Part I – A Tutorial on Their Data Sharing. *The VLDB Journal*, 1(1):127–179, 1992.

[Hsi92b] D. Hsiao. Federated Databases and Systems: Part II – A Tutorial on Their Resource Consolidation. *The VLDB Journal*, 1(2):285–310, 1992.

[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 $\mathbf{SIGMA}_{FDB}$. Preprint 12, Fakultät für Informatik, Uni Magdeburg, 1995.

[Jan95] S. Janssen. Realisierung einer Anfragesprache für objektorientiert remodellierte relationale Datenbestände. Diplomarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik, 1995.

[Kac94] G. Kachel. Coupling of Heterogeneous Databases by Federation Services. Technical Report, Cadlab Paderborn, 1994.

[LMR90] W. Litwin, L. Mark und N. Roussopoulos. Interoperability of Multiple Autonomous Databases. *ACM Computing Surveys*, 22(3):267–293, 1990.

[MSJ94] H. Mertins, W. Süsshuth und R. Jochen. *Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse*. C. Hanser Verlag, München-Wien, 1994.

[Pau93] G. Paul. Produkt(daten)modellierung als Grundlage der Integration von CAx– und PPS–Komponenten. Preprint ITI 1/93, Fakultät für Informatik, Universität Magdeburg, 1993.

[PWPH95] G. Paul, H. Wierschin, R. Paul und M. Hofmann. Produktdatenverwaltungssysteme – Methode und Werkzeug zur Unternehmensintegration. *CIM Management*, S. 49–54, 1995.

[RS94] E. Radeke und M. H. Scholl. Federation and Stepwise Reduction of Database Systems. In W. Litwin und T. Risch, Hrsg., *Proc. 1st Int. Conf. on Applications of Databases, Vadstena, Sweden*, S. 381–399. LNCS 819, Springer-Verlag, 1994.

[Sch95] I. Schmitt. Flexible Integration and Derivation of Heterogeneous Schemata in Federated Database Systems. Preprint Nr. 10, Fakultät für Informatik, Universität Magdeburg, 1995.

[SL90] A. P. Sheth und J. A. Larson. Federated Database Systems for Managing Distributed, Heterogenous, and Autonomous Databases. *ACM Computing Surveys*, 22(3):183–236, 1990.

[SS95] I. Schmitt und G. Saake. Managing Object Identity in Federated Database Systems. In M. Papazoglou, Herausgeber, *Proc. of the 14th Int. Conf. on Object-Oriented and Entity-Relationship Modeling (OOER'95), Gold Coast, Australia*, S. 400–411. LNCS 1021, Springer-Verlag, 1995.

[Str93] Jürgen Strauss. Eine kurze Einführung in Concurrent Engineering. Cadlab Report 1/93, Cadlab Paderborn, Germany, 1993.

[SW91] H.-J. Schek und G. Weikum. Erweiterbarkeit, Kooperation, Föderation von Datenbanksystemen. In H.-J. Appelrath, Hrsg., *Proc. GI-Fachtagung "Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft" (BTW'91), Kaiserslautern*, S. 38–71. Informatik-Fachberichte, Springer-Verlag, 1991.

[Zie95] D. Ziems. Kooperation und Integration - Aktuelle Herausforderungen an Planungsprozesse. In *Planung von Logistiksystemen - Kooperation und Integration 95, Magdeburg*, S. 3–22, 1995.

[ZWB95] D. Ziems, O. Wolter und F. Barth. Adaptive Strukturbestimmung im integrierten und durchgängigen Gestaltungsprozeß. In *Fachtagung "Integration von Bild, Modell und Text", Magdeburg*, S. 207–218, 1995.