Integrierbarkeit von Aggregatbedingungen

Sören Balko Can Türker

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Institut für Technische und Betriebliche Informationssysteme
Postfach 4120, D–39016 Magdeburg, Germany
{balko|tuerker}@iti.cs.uni-magdeburg.de

Zusammenfassung

Integritätsbedingungen müssen bei einer Schemaintegration berücksichtigt werden, um ein korrektes, der Realwelt entsprechendes integriertes Schema zu erhalten. Bisherige Arbeiten in diesem Gebiet konzentrierten sich auf die Integration von Objektbedingungen sowie bestimmten Klassenbedingungen wie Eindeutigkeitsbedingungen. In diesem Papier diskutieren wir die Integrierbarkeit von sogenannten *Aggregatbedingungen*, die auf Aggregatfunktionen basierende Integritätsbedingungen darstellen. Dazu definieren wir als grundlegende Integrationseigenschaften die *Zerlegbarkeit* und *Komponierbarkeit* von Integritätsbedingungen. Anhand dieser Eigenschaften können wir dann Aussagen über die Integrierbarkeit von Aggregatbedingungen treffen.

Schlüsselwörter: Aggregatbedingungen, Integrierbarkeit, Zerlegbarkeit, Komponierbarkeit.

1 Einleitung

Integritätsbedingungen sind ein zentraler Bestandteil eines Datenbankschemas. Sie legen die semantisch korrekten Datenbankzustände fest. Deshalb müssen Integritätsbedingungen auch während der Schemaintegration beim Entwurf föderierter Datenbanken [Sch98] berücksichtigt werden. Falls lokal existierende Integritätsbedingungen nicht im globalen Schema reflektiert werden, können global Datenbankzustände erzeugt werden, die nicht lokal darstellbar sind.

Dieses Problem soll anhand des in Abbildung 1 dargestellten Integrationsszenarios verdeutlicht werden. Wir nehmen an, daß zwei lokale Klassen zu einer globalen Klasse integriert werden. Jedoch werden bei der Integration die in den lokalen Klassen definierten Integritätsbedingungen nicht berücksichtigt. Damit können globale Operationen ohne ersichtlichen Grund für den globalen Benutzer zurückgewiesen werden. Ein solcher Fall tritt beispielsweise auf, wenn global ein neues Konto mit einem bestimmten Initialbetrag eingerichtet werden soll. Diese Operation wird genau dann zurückgewiesen, wenn sowohl der Kontostand den Kreditrahmen unterschreitet als auch durch dieses Konto die Summe aller Kontostände kleiner gleich Null wird.

Bisherige Arbeiten auf dem Gebiet der Integration von Integritätbedingungen im Rahmen einer Schemaintegration, wie zum Beispiel [RPG95, AQFG95, RR97, CST97], haben sich mit Objektbedingungen sowie Eindeutigkeits- und referentiellen Integritätsbedingungen beschäftigt. In [CST97] wurde zum Beispiel ein Regelwerk zum Integrieren der oben genannten Bedingungen vorgestellt.

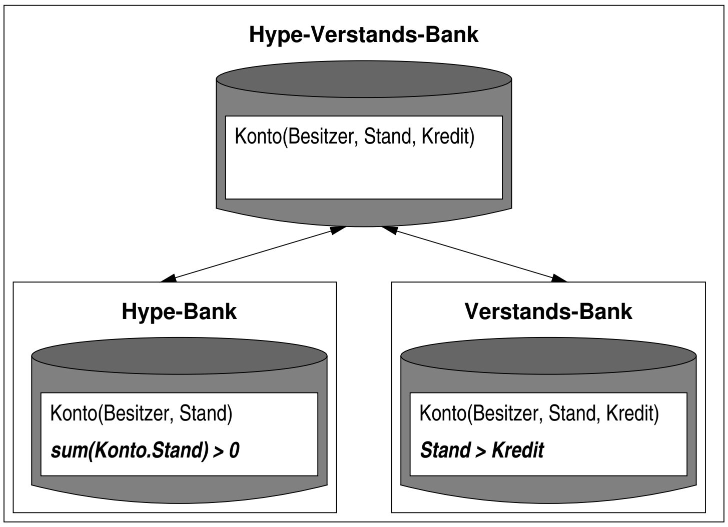

Abbildung 1: Beispielszenario für eine Integration von zwei Klassen

In diesem Papier untersuchen wir die Integrierbarkeit von sogenannten *Aggregatbedingungen* [RSSS98]. Aggregatbedingungen sind Integritätsbedingungen, die mit Hilfe von *Aggregatfunktionen* [Klu82] definiert werden. Bekannte Aggregatfunktionen sind **sum**, **avg**, **count**, **min** und **max**. Als wesentliche Integrationseigenschaften führen wir die *Zerlegbarkeit* und *Komponierbarkeit* von Integritätsbedingungen ein. Diese Eigenschaften korrespondieren unmittelbar zu den Schemamanipulationsoperationen *Selektion*, *Differenz*, *Schnitt* und *Vereinigung* von Klassenextensionen. Bei den ersten drei Operationen handelt es sich um *zerlegende* Operationen, deren Resultat eine Untermenge der Ausgangsmenge ist. Die Vereinigung ist eine *komponierende* Operation, die zu einer Obermenge der Ausgangsmenge(n) führt. Eine *zerlegbare/komponierbare* Integritätsbedingung ist dementsprechend eine Bedingung, die auch nach der korrespondierenden Schemamanipulationsoperation auf der Ergebnismenge gilt. Die *Zerlegbarkeit* und *Komponierbarkeit* bilden somit die Grundlage, um Aussagen darüber machen zu können, wann und wie eine Integritätsbedingung nach einer Schemamanipulationsoperation in die Ergebnismenge übernommen werden kann.

Ausgehend von sogenannten *Basisaggregatbedingungen* stellen wir Regeln für die Zerlegbarkeit und die Komponierbarkeit derartiger Bedingungen auf. Mit Hilfe von Erweiterungen der Basisaggregatbedingungen lassen sich komplexe Aggregatbedingungen bilden. Für die jeweiligen Erweiterungsmöglichkeiten geben wir Regeln an, die die Zerlegbarkeit und die Komponierbarkeit von komplexen Aggregatbedingungen auf die Zerlegbarkeit und die Komponierbarkeit der zugrundeliegenden Basisaggregatbedingung zurückführen. Somit sind wir in der Lage, selbst für komplexe Aggregatbedingungen die Integrationseigenschaft mittels eines überschaubaren Regelwerkes automatisch zu ermitteln.

Der Rest dieses Papiers ist wie folgt gegliedert: In Kapitel 2 werden die Grundlagen definiert. Kapitel 3 beschäftigt sich mit den Integrationseigenschaften *Zerlegbarkeit* und *Komponierbarkeit*. Dort wird ein Regelwerk zum Ableitung dieser Eigenschaften vorgestellt. Kapitel 6 beschließt dieses Papier mit einer Diskussion und einem Ausblick auf zukünftige Arbeiten.

2 Grundlagen

Im folgenden wollen wir Arten und Einsatz von Aggregatfunktionen diskutieren. Darauf basierend werden wir eine Syntax für die Definition von Aggregatbedingungen angeben. Anschließend sollen der Schemaintegration vier grundlegende Schemaoperationen zugeordnet und geeignet klassifiziert werden.

2.1 Aggregatfunktionen und Aggregatbedingungen

Unter einer Aggregatfunktion ist eine Abbildung zu verstehen, die aus einer Menge oder auch Multimenge von Werten eine Zahl berechnet. Jede beliebige Aggregatfunktion stellt demnach eine zusammenfassende, also aggregierende Betrachtung der Argumentmenge dar.

Aggregatfunktionen werden in Datenbanksystemen und -anwendungen für verschiedene Zwecke eingesetzt. Besonders hervorzuheben sind die Definition von Sichten unter Verwendung von Gruppierung und aggregierten Werten sowie ihre Verwendung zur Erlangung statistischer Informationen, insbesondere im Zusammenhang mit der Generierung von Datenbankreports. In [ÖÖM87] wird außerdem zusätzlich zur Anwendung von Aggregatfunktionen auf durch Gruppierung gebildete Untermengen, im Zusammenhang mit nichtnormalisierten Relationen die Berechnung von Aggregaten über mengenwertigen Attributen vorgeschlagen.

Daneben spielt der Einsatz von Aggregatfunktionen in Integritätsbedingungen eine wichtige Rolle. Integritätsbedingungen, in denen Aggregatfunktionen verwendet werden, werden im weiteren Verlauf dieses Papiers als *Aggregatbedingungen* bezeichnet. Wir werden die in diese Klasse fallenden Integritätsbedingungen später noch näher charakterisieren. Im folgenden werden wir unsere Untersuchungen auf die fünf Standard-Aggregatfunktionen **min**, **max**, **avg**, **sum** und **count** aus SQL beschränken.

Weiterhin findet hier ausschließlich eine Betrachtung von reellwertigen Attributbelegungen statt. Zur Spezialisierung des bisher recht einfach gehaltenen Verständnisses von Aggregatbedingungen wollen wir nun eine Grammatik angeben.

Definition 2.1 (Syntax von Integritätsbedingungen)
Die Syntax der Aggregatbedingungen sei durch die kontextfreie Grammatik $\mathcal{G} = (\mathcal{V}, \mathcal{T}, \mathcal{P}, \mathcal{S})$ beschrieben. Dabei seien $\mathcal{V}$ die Menge der Variablen, $\mathcal{T}$ die Menge der Terminalsymbole, $\mathcal{P}$ die Menge der Produktionsregeln und $\mathcal{S}$ das Startsymbol.

$$\mathcal{V} = \left\{ \begin{array}{lll} \langle\text{aggr}\rangle & \langle\text{aritop}\rangle & \langle\text{pred}\rangle \\ \langle\text{logop}\rangle & \langle\text{pterm}\rangle & \langle\text{cterm}\rangle \\ \langle\text{pconst}\rangle & \langle\text{cconst}\rangle & \langle\text{attribute}\rangle \\ \langle\text{const}\rangle & & \end{array} \right\}$$

$$\mathcal{T} = \left\{ \begin{array}{cccccc} \textsf{\textbf{min}} & \textsf{\textbf{max}} & \textsf{\textbf{sum}} & \textsf{\textbf{avg}} & \textsf{\textbf{count}} & \\ + & - & \times & \div & (&) \\ > & \geq & = & \neq & \leq & < \\ \neg & \vee & \wedge & \rightarrow & & \\ 0\ldots9 & a\ldots z & A\ldots Z & . & , & \end{array} \right\}$$

$$\mathcal{P} = \left\{ \begin{array}{rcl} \langle\text{const}\rangle & := & [0\ldots9]^+[.[0\ldots9]^+]^{(0,1)} \\ \langle\text{attribute}\rangle & := & [[A\ldots Z, a\ldots z]+.]^{(0,1)}[A\ldots Z, a\ldots z] \\ \langle\text{aggr}\rangle & := & \textsf{\textbf{min}}|\textsf{\textbf{max}}|\textsf{\textbf{sum}}|\textsf{\textbf{avg}}|\textsf{\textbf{count}} \\ \langle\text{aritop}\rangle & := & +|-|\times|\div \\ \langle\text{pred}\rangle & := & >|\geq|=|\neq|\leq|< \\ \langle\text{logop}\rangle & := & \vee|\wedge|\rightarrow \\ \langle\text{pterm}\rangle & := & \langle\text{const}\rangle|\langle\text{attribute}\rangle|\langle\text{aggr}\rangle(\langle\text{attribute}\rangle) \\ \langle\text{cterm}\rangle & := & \langle\text{pterm}\rangle|(\langle\text{cterm}\rangle\langle\text{aritop}\rangle\langle\text{cterm}\rangle) \\ \langle\text{pconst}\rangle & := & \langle\text{cterm}\rangle\langle\text{pred}\rangle\langle\text{cterm}\rangle \\ \langle\text{cconst}\rangle & := & \langle\text{pconst}\rangle|\neg(\langle\text{cconst}\rangle)|(\langle\text{cconst}\rangle\langle\text{logop}\rangle\langle\text{cconst}\rangle) \end{array} \right\}$$

$$\mathcal{S} = \langle\text{cconst}\rangle$$

□

Die in Definition 2.1 beschriebene Grammatik gestattet offensichtlich neben der Erstellung von Integritätsbedingungen, die Aggregatfunktionen beinhalten, auch die Generierung einfacher Objektbedingungen, wie beispielsweise $(x > 3)$. Wie wir später noch zeigen werden, lassen sich diese Bedingungen aber durch arithmetische Verknüpfung mit komplexen Termen zu Aggregatbedingungen ausbauen.

2.2 Schemamanipulationen

Nachdem wir unser Verständnis von Aggregatbedingungen dargelegt haben, wollen wir uns nun den Vorgängen bei der Schemaintegration widmen. Typische Vorgänge während einer Schemaintegration beinhalten die Erzeugung disjunkter Extensionen, die Vereinigung intensional übereinstimmender Extensionen, die Ableitung externer Sichten aus dem föderierten Schema sowie Optimierungen hinsichtlich Minimalität und Verständlichkeit integrierter Schemata [Con97, Sch98, CHJ+96]. Eine Realisierung dieser Vorgänge erfolgt durch Operationen auf den beteiligten Schemata. Mit Hilfe der Schemaoperationen

- Vereinigung,
- Schnitt,
- Selektion und
- Differenz/Teilmengenbildung

können alle Integrationsvorgänge durchgeführt werden [CST97]. Diese vier Operationen wollen wir im weiteren Verlauf als Standard-Mengenoperationen bezeichnen. Bei der Betrachtung der Standard-Mengenoperationen fällt auf, daß sie sich im Hinblick auf Ergebnis- und Argumentmengen in zwei Klassen unterteilen lassen:

1. Die Ergebnisse von *zerlegenden* Schemamanipulationen sind immer Untermengen der Ursprungsmenge.
2. Die Ergebnisse von *komponierenden* Schemamanipulationen sind immer Obermengen der Ursprungsmengen.

Selektion, Differenz- und Teilmengenbildung sowie Schnitt fallen in die Klasse der zerlegenden Schemamanipulationen. Die Vereinigung bildet die Klasse der komponierenden Schemamanipulationen.

Anstelle von „zerlegende (komponierende) Schemamanipulation" wird im weiteren Verlauf dieses Papiers häufig der Begriff *Zerlegung* (Komposition) gebraucht.

3 Integrationseigenschaften

Aus der grundlegenden Klassifikation der Schemamanipulationen aus Abschnitt 2.2 in zerlegende und komponierende Mengenoperationen ergibt sich eine einfache Möglichkeit zur Einteilung von Aggregatbedingungen, die sich für deren Integration ausnutzen läßt. Manche Integritätsbedingungen, die auf einer Objektmenge definiert sind, gelten auch auf jeder Untermenge bzw. Obermenge davon. Das heißt, sie können bei zerlegenden oder komponierenden Schemamanipulationen unverändert in die Ergebnismenge übernommen werden. Diese Eigenschaften von Integritätsbedingungen wollen wir im weiteren Verlauf als *Zerlegbarkeit* bzw. *Komponierbarkeit* bezeichnen. Allgemein sollen diese Merkmale durch den Begriff *Integrationseigenschaften* zusammenfassend beschrieben werden. Bevor wir diese Integrationseigenschaften definieren, wollen wir zunächst eine Notation für Integritätsbedingungen einführen.

Definition 3.1 Aus [CST97] wird folgende Notation für Integritätsbedingungen übernommen: Das Prädikat

$$\Theta_\phi(E)$$

ist wahr, falls die Integritätsbedingung ϕ auf der Objektmenge E erfüllt ist. Dabei bezeichnet ϕ eine beliebige Integritätsbedingung, welche für die mit E bezeichnete Objektmenge gilt. Wenn nicht explizit anders angegeben, beziehen sich damit die in ϕ eingesetzten Attribute immer auf die Objekte in der Extension E. □

Definition 3.2 (Zerlegbarkeit) Eine Integritätsbedingung ϕ heißt genau dann *zerlegbar*, wenn für die nicht leeren Multimengen M und M_{sub} gilt:

$$(M_{sub} \sqsubseteq M) \wedge M_{sub} \neq \emptyset \wedge \Theta_\phi(M) \rightarrow \Theta_\phi(M_{sub})$$

Eine zerlegbare Integritätsbedingung ϕ wird durch die Schreibweise $\phi^\ominus$ kenntlich gemacht. □

Definition 3.3 (Komponierbarkeit) Eine Integritätsbedingung ϕ heißt genau dann *komponierbar*, wenn für die nicht leeren Multimengen M und M_{sup} gilt:

$$(M_{sup} \sqsupseteq M) \wedge M \neq \emptyset \wedge \Theta_\phi(M) \rightarrow \Theta_\phi(M_{sup})$$

Eine komponierbare Integritätsbedingung ϕ wird durch die Schreibweise $\phi^\oplus$ kenntlich gemacht. □

Eine Integritätsbedingung wollen wir also dann als zerlegbar bezeichnen, wenn sie auch auf jeder Untermenge ihrer Argumentmenge erfüllt bleibt. Analog dazu bleibt eine komponierbare Integritätsbedingung auch auf jeder Obermenge erfüllt. Aus den Definitionen für Zerlegbarkeit und Komponierbarkeit von Integritätsbedingungen ergeben sich die weiteren Zielstellungen: Für die nach Definition 2.1 generierbaren Aggregatbedingungen soll eine Methodik entwickelt werden, die es gestattet, den Bedingungen die entsprechenden Integrationseigenschaften zuzuordnen.

4 Basisaggregatbedingungen

Wir wollen nun anhand der Syntaxbeschreibung für Aggregatbedingungen einige besonders einfach strukturierte Bedingungen klassifizieren. Basierend auf der Untersuchung der Integrationseigenschaften dieser *Basisaggregatbedingungen* soll dann auch die Integration von komplexer strukturierten Bedingungen ermöglicht werden. Tabelle 1 präsentiert das Ergebnis unserer Klassifikation. Es können so drei wesentliche Gruppen ermittelt werden: α-, $\beta-$ und γ-Basisaggregatbedingungen. Aus einer weiteren Unterteilung dieser Gruppen

Benennung	Syntax	Beispiel
α_1	$x_1\theta c_1$	$Gehalt < 5000$
α_2	$x_1\theta x_2$	$MitarbeiterID \neq AbteilungID$
α_3	$x_1\theta x_1$	$Gehalt = Gehalt$
β_1	$f_1(x_1)\theta c_1$	$\mathbf{sum}(Gehalt) \leq 100000$
β_2	$f_1(x_2)\theta x_1$	$\mathbf{count}(AbteilungID) < Budget$
β_3	$f_1(x_1)\theta x_1$	$\mathbf{avg}(Gehalt) \neq Gehalt$
γ_1	$f_1(x_1)\theta f_2(x_2)$	$\mathbf{sum}(Kosten) > \mathbf{avg}(Gehalt)$
γ_2	$f_1(x_1)\theta f_1(x_2)$	$\mathbf{sum}(MGehälter) > \mathbf{sum}(Kosten)$
γ_3	$f_1(x_1)\theta f_2(x_1)$	$\mathbf{sum}(Gehalt) > \mathbf{count}(Gehalt)$

Tabelle 1: Typen von Basisaggregatbedingungen

ergeben dann jeweils noch Spezialisierungen:

- Bei α-Bedingungen handelt es sich um Objektbedingungen. Wir werden jedoch im folgenden noch zeigen, daß sich diese arithmetisch zu Aggregatbedingungen erweitern lassen.
- In β-Bedingungen wird der Rückgabewert einer Aggregatfunktion mit einer Konstanten oder Attribut verglichen.
- Für γ-Aggregatbedingungen ist der Vergleich des Ergebnisses zweier Aggregatfunktionen kennzeichnend.

4.1 Verhaltenstendenzen

In diesem Abschnitt wollen wir den Aggregatfunktionen *Verhaltenstendenzen* zuordnen. Dabei handelt es sich um eine Abschätzung der Rückgabewerte der Aggregatfunktionen vor und nach einer zerlegenden bzw. komponierenden Schemamanipulation. Wir unterscheiden prinzipiell zwischen zwei Verhaltenstendenzen ja Schemamanipulationsart. Während bei Aggregatfunktionen mit ansteigender Tendenz ($\nearrow$) der Rückgabewert im Anschluß an die Schemamanipulation größer gleich als vor der Schemamanipulation ist, wird das Ergebnis einer Aggregatfunktion mit fallender Tendenz ($\searrow$) nach der Operation kleiner gleich sein als zuvor.

Beispiel 4.1 Die Aggregatfunktion **min** weist hinsichtlich der Zerlegung eine ansteigende Verhaltenstendenz auf. Wir wollen diese Eigenschaft anhand der Mengen M_1 und M_2 deutlich machen:

$$\begin{aligned} M_1 &= \{1, 2, 6, 9, 15\} \\ M_2 &= \{2, 9, 15\} \end{aligned}$$

Offensichtlich handelt es sich bei M_2 um eine Untermenge von M_1, die dementsprechend durch Zerlegung entstanden sein könnte. Dabei gilt:

$$\textbf{min}(M_1) = 1 < \textbf{min}(M_2) = 2$$

Wie das Beispiel zeigt, kann der Rückgabewert der Aggregatfunktion **min** im Anschluß an eine zerlegende Schemamanipulation nur größer werden oder gleich bleiben. Damit hat **min** in diesem Fall eine steigende Verhaltenstendenz. □

In Tabelle 2 werden den Standard-Aggregatfunktionen für Zerlegung und Komposition die entsprechenden Verhaltenstendenzen zugeordnet. Während sich im Fall der Aggregatfunktionen **min**, **max** und **count** eine derartige Zuordnung relativ einfach gestaltet, können Vorhersagen für den Rückgabewert von **sum** und **avg** nur in Spezialfällen getroffen werden. Diese Spezialfälle werden hier mit $\textbf{avg}^{+}(x)$, $\textbf{avg}^{-}(x)$, $\textbf{sum}^{+}(x)$ und $\textbf{sum}^{-}(x)$ bezeichnet und belegen die Attribute der bei der Zerlegung entfernten bzw. bei der Komposition hinzukommenden Objekte mit weiteren Bedingungen. Bevor wir diese Bedingungen näher spezifizieren, sollen zunächst die Multimengen $X^{\boxminus}$ und $X^{\boxplus}$ eingeführt werden. Dabei bezeichne X die Multimenge der Attributwerte von x *vor* der Zerlegung bzw. Komposition. Die Multimengen $X^{\boxminus}$ und $X^{\boxplus}$ enthalten die während der Zerlegung entfernten bzw. durch die Komposition hinzukommenden Attributwerte:

- Zerlegung: $X_{neu} = X - X^{\boxminus}$
- Komposition: $X_{alt} = X \cup X^{\boxplus}$

Im folgenden kommen wir nun zur Beschreibung der *erweiterten Aggregatfunktionen* auf der Grundlage dieser Mengen:

- Zerlegung:
  - $\textbf{sum}^{+}(x) :\Leftrightarrow \textbf{sum}(x) \wedge \forall x' \in X^{\boxminus} : x' \geq 0$
  - $\textbf{sum}^{-}(x) :\Leftrightarrow \textbf{sum}(x) \wedge \forall x' \in X^{\boxminus} : x' \leq 0$
  - $\textbf{avg}^{+}(x) :\Leftrightarrow \textbf{avg}(x) \wedge \forall x' \in X^{\boxminus} : x' \geq \textbf{avg}(X)$
  - $\textbf{avg}^{-}(x) :\Leftrightarrow \textbf{avg}(x) \wedge \forall x' \in X^{\boxminus} : x' \leq \textbf{avg}(X)$
- Komposition:
  - $\textbf{sum}^{+}(x) :\Leftrightarrow \textbf{sum}(x) \wedge \forall x' \in X^{\boxplus} : x' \geq 0$
  - $\textbf{sum}^{-}(x) :\Leftrightarrow \textbf{sum}(x) \wedge \forall x' \in X^{\boxplus} : x' \leq 0$
  - $\textbf{avg}^{+}(x) :\Leftrightarrow \textbf{avg}(x) \wedge \forall x' \in X^{\boxplus} : x' \geq \textbf{avg}(X)$
  - $\textbf{avg}^{-}(x) :\Leftrightarrow \textbf{avg}(x) \wedge \forall x' \in X^{\boxplus} : x' \leq \textbf{avg}(X)$

Neben den Aggregatfunktionen **min**, **max** und **count** enthält Tabelle 2 nun auch Aussagen über das Tendenzverhalten von **sum** und **avg** in den obigen Spezialfällen.
Kennzeichnend für alle Basisaggregatbedingungen ist eine Struktur:

$$\begin{array}{rccc} & \mathcal{A} & \theta & \mathcal{B} \\ \text{z.B.:} & \textbf{sum}(x) & \leq & y \end{array}$$

Dabei kann es sich bei $\mathcal{A}$ und $\mathcal{B}$ entsprechend um Konstanten, Attribute oder Aggregatfunktionen handeln. Der Bezeichner θ symbolisiert die Vergleichsrelation. Die Zerlegbarkeit bzw. Komponierbarkeit einer solchen Bedingung kann dann folgendermaßen formalisiert werden:

Aggregatfunktion	Zerlegung	Komposition
min(x)	$\nearrow$	$\searrow$
max(x)	$\searrow$	$\nearrow$
count(x)	$\searrow$	$\nearrow$
avg$^{+}(x)$	$\searrow$	$\nearrow$
avg$^{-}(x)$	$\nearrow$	$\searrow$
sum$^{+}(x)$	$\searrow$	$\nearrow$
sum$^{-}(x)$	$\nearrow$	$\searrow$

Tabelle 2: Tendenzverhalten von Aggregatfunktionen bei Zerlegung und Komposition

- Zerlegbarkeit:

$$[\mathcal{A}\ \theta\ \mathcal{B}]^{\ominus} \quad :\Leftrightarrow \quad \begin{cases} \theta \in \{>, \geq\} \text{ und } \mathcal{A} \nearrow,\ \mathcal{B} \searrow \text{bei Zerlegung} \\ \theta \in \{<, \leq\} \text{ und } \mathcal{A} \searrow,\ \mathcal{B} \nearrow \text{bei Zerlegung} \end{cases}$$

- Komponierbarkeit:

$$[\mathcal{A}\ \theta\ \mathcal{B}]^{\oplus} \quad :\Leftrightarrow \quad \begin{cases} \theta \in \{>, \geq\} \text{ und } \mathcal{A} \nearrow,\ \mathcal{B} \searrow \text{bei Komposition} \\ \theta \in \{<, \leq\} \text{ und } \mathcal{A} \searrow,\ \mathcal{B} \nearrow \text{bei Komposition} \end{cases}$$

Beispielsweise ist unter $(\mathcal{A} \searrow)$ eine fallende Verhaltenstendenz des Terms $\mathcal{A}$ zu verstehen. Somit ist zum Beispiel die Bedingung $(\mathcal{A} > \mathcal{B})$ genau dann zerlegbar, wenn $\mathcal{A}$ eine steigende und $\mathcal{B}$ eine fallende Tendenz bei der Zerlegung besitzt.

4.2 α-Basisaggregatbedingungen

Integritätsbedingungen der Klassen α_1, α_2 und α_3 gehören als einfache Konstanten- bzw. Attributvergleiche zu den Objektbedingungen. α_3-Bedingungen bilden einen Spezialfall der α_2-Bedingungen, in dem die beiden verglichenen Attribute übereinstimmen. Tabelle 3 zeigt die Integrationseigenschaften von α-Aggregatbedingungen bei Komposition und Zerlegung.

Aggregatbedingung	Zerlegbarkeit	Komponierbarkeit
α_1	✓	–
α_2	✓	–
α_3	✓	$\theta \in \{\leq, =, \geq\}$

Tabelle 3: α-Aggregatbedingungen bei Zerlegung und Komposition

Wie man Tabelle 3 entnehmen kann, sind Objektbedingungen im allgemeinen zerlegbar, jedoch nicht komponierbar. Dieses Merkmal basiert auf der Eigenschaft von Objektbedingungen, daß sie an jedem einzelnen Objekt überprüft werden können. Werden infolge einer komponierenden Schemaoperation neue Objekte hinzugefügt, so sind die Eigenschaften dieser Objekte in der Regel unbekannt. α_3-Bedingungen sind ebenfalls komponierbar, wenn das Vergleichsattribut θ der Forderung aus Tabelle 3 genügt.

4.3 β-Basisaggregatbedingungen

Die Klasse der β-Integritätsbedingungen zeichnet sich durch den Vergleich des Ergebnisses einer Aggregatfunktion mit einer Konstanten (in β_1-Basisaggregatbedingungen) oder einem Attribut (in β_2-, β_3-Basisaggregatbedingungen) aus. In β_3-Bedingungen muß das Attribut, welches das Argument der Aggregatfunktion bildet, mit dem verglichenen Attribut übereinstimmen. In Tabelle 4 sind die für die Zerlegbarkeit und Komponierbarkeit der Aggregatbedingungen $\beta_1 : f(x)\ \theta\ c$ und $\beta_2 : f(x)\ \theta\ y$ notwendigen Bedingungen bei den verschiedenen Aggregatfunktionen f enthalten.

Aggregatbedingung		Zerlegbarkeit	Komponierbarkeit
β_1-Bedingungen	$\mathbf{min}(x)\theta y$	$\geq, >$	$\leq, <$
	$\mathbf{max}(x)\theta y$	$\leq, <$	$\geq, >$
	$\mathbf{avg}^{+}(x)\theta y$	$\leq, <$	$\geq, >$
	$\mathbf{avg}^{-}(x)\theta y$	$\geq, >$	$\leq, <$
	$\mathbf{sum}^{+}(x)\theta y$	$\leq, <$	$\geq, >$
	$\mathbf{sum}^{-}(x)\theta y$	$\geq, >$	$\leq, <$
	$\mathbf{count}(x)\theta c$	$\leq, <$	$\geq, >$
β_2-Bedingungen	$\mathbf{min}(x)\theta c$	$\geq, >$	–
	$\mathbf{max}(x)\theta c$	$\leq, <$	–
	$\mathbf{avg}^{+}(x)\theta c$	$\leq, <$	–
	$\mathbf{avg}^{-}(x)\theta c$	$\geq, >$	–
	$\mathbf{sum}^{+}(x)\theta c$	$\leq, <$	–
	$\mathbf{sum}^{-}(x)\theta c$	$\geq, >$	–
	$\mathbf{count}(x)\theta y$	$\leq, <$	–

Tabelle 4: β_1- und β_2-Aggregatbedingungen bei Zerlegung und Komposition

Dabei ist zu beachten, daß β_2-Bedingungen im Fall der angegebenen Vergleichsrelationen zerlegbar sind. Für die Komponierbarkeit dieser Aggregatbedingungen kann aufgrund unmöglicher Tendenzvorhersagen für Attribute keine Aussage getroffen werden. In [Bal98] wurde dagegen die Übertragbarkeit von β_2-Bedingungen auf β_1-Bedingungen bei der Zerlegung nachgewiesen.

Bei β_3-Bedingungen handelt es sich prinzipiell um β_2-Bedingungen mit einer Übereinstimmung von Vergleichsattribut und dem Argument der Aggregatfunktion. Aus dieser Besonderheit und den daraus folgenden Beziehungen

$$\begin{aligned}
\forall x \in X &: \mathbf{min}(X) \leq x \leq \mathbf{max}(X) \\
\forall x \in X &: \mathbf{min}(X) \leq \mathbf{avg}(x) \leq \mathbf{max}(X) \\
\forall x \in X &: x \leq \mathbf{sum}^{+}(X) \\
\forall x \in X &: x \geq \mathbf{sum}^{-}(X)
\end{aligned}$$

lassen sich hier weitere Regeln ableiten, die zusätzlich zu denen in Tabelle 4 gelten. In Tabelle 5 sind diese zusätzlichen Regeln aufgeführt.

Da es sich bei β_3-Bedingungen um Spezialfälle von β_2-Bedingungen handelt, beinhaltet Tabelle 5 neben den durch obige Beziehungen implizierten Relationen auch die Regeln aus Tabelle 4. Obwohl beispielsweise die Zerlegbarkeit einer Basisaggregatbedingung $\mathbf{min}(x) > x$ aufgrund ihrer Unerfüllbarkeit niemals nachgewiesen werden könnte, werden wir später zeigen, daß im Zusammenhang mit arithmetischen Erweiterungen (z.B. $\mathbf{min}(x) + 5 > x$)

Aggregatbedingung	Zerlegbarkeit	Komponierbarkeit
min$(x)\theta x$	$>, \geq, =, \leq, <$	$\leq$
max$(x)\theta x$	$<, \leq, =, \geq, >$	$\geq$
avg$^{+}(x)\theta x$	$\leq, <$	–
avg$^{-}(x)\theta x$	$\geq, >$	–
sum$^{+}(x)\theta x$	$\geq, \leq, <$	$\geq, >$
sum$^{-}(x)\theta x$	$\leq, \geq, >$	$\leq, <$
count$(x)\theta x$	$\leq, <$	–

Tabelle 5: β_3-Aggregatbedingungen bei Zerlegung und Komposition

die Integrationseigenschaften von unerfüllbaren Bedingungen genauso wie von Tautologien von Interesse sind.

4.4 γ-Basisaggregatbedingungen

In γ-Bedingungen findet ein Vergleich der Ergebnisse zweier Aggregatfunktionen statt. Als Einschränkungen müssen bei γ_2-Bedingungen die Aggregatfunktionen und in γ_3-Bedingungen die Argumentattribute der Aggregatfunktionen übereinstimmen. Tabelle 6 zeigt für γ_1- und γ_2-Aggregatbedingungen die Belegungen der Vergleichsrelation θ, bei denen die Aggregatbedingung bei einer zerlegenden bzw. komponierenden Mengenoperation erhalten bleibt. Die demnach integrierbaren Bedingungen setzen sich aus dem Vergleich des Ergebnisses der Aggregatfunktion aus der linken Spalte mit dem Rückgabewert der Funktion aus der oberen Zeile zusammen.

		f_2						
	$f_1(x_1)\theta f_2(x_2)$	**min**	**max**	**avg**$^{+}$	**avg**$^{-}$	**sum**$^{+}$	**sum**$^{-}$	**count**
f_1 *Zerlegbarkeit*	**min**	–	$\geq, >$	$\geq, >$	–	$\geq, >$	–	$\geq, >$
	max	$\leq, <$	–	–	$\leq, <$	–	$\leq, <$	–
	avg^{+}	$\leq, <$	–	–	$\leq, <$	–	$\leq, <$	–
	avg^{-}	–	$\geq, >$	$\geq, >$	–	$\geq, >$	–	$\geq, >$
	sum^{+}	$\leq, <$	–	–	$\leq, <$	–	$\leq, <$	–
	sum^{-}	–	$\geq, >$	$\geq, >$	–	$\geq, >$	–	$\geq, >$
	count	$\leq, <$	–	–	$\leq, <$	–	$\leq, <$	–
f_1 *Komponierbarkeit*	**min**	–	$\leq, <$	$\leq, <$	–	$\leq, <$	–	$\leq, <$
	max	$\geq, >$	–	–	$\geq, >$	–	$\geq, >$	–
	avg^{+}	$\geq, >$	–	–	$\geq, >$	–	$\geq, >$	–
	avg^{-}	–	$\leq, <$	$\leq, <$	–	$\leq, <$	–	$\leq, <$
	sum^{+}	$\geq, >$	–	–	$\geq, >$	–	$\geq, >$	–
	sum^{-}	–	$\leq, <$	$\leq, <$	–	$\leq, <$	–	$\leq, <$
	count	$\geq, >$	–	–	$\geq, >$	–	$\geq, >$	–

Tabelle 6: γ_1- und γ_2-Aggregatbedingungen bei Zerlegung und Komposition

γ_3-Basisaggregatbedingungen sind als Untermenge der γ_1-Basisaggregatbedingungen dadurch gekennzeichnet, daß die Argumente der verglichenen Aggregatfunktionen übereinstimmen. Im Hinblick auf γ_3-Basisaggregatbedingungen wurde in [RSSS98] eine Axiomatisierung entwickelt, welche die Beziehungen gleich parametrisierter Standard-Aggregatfunktionen vollständig beschreibt:

Definition 4.1 (Axiomatisierung der Standard-Aggregatfunktionen)
Gegeben sei eine endliche Multimenge $S \sqsubset \mathcal{M}^{+}(\mathcal{J})$. Dann gelten für die Standard-Aggregatfunktionen folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned}
\textsf{\textbf{min}}(S) &\leq \textsf{\textbf{max}}(S) \\
\textsf{\textbf{count}}(S) \times \textsf{\textbf{min}}(S) + \textsf{\textbf{max}}(S) &\leq \textsf{\textbf{sum}}(S) + \textsf{\textbf{min}}(S) \\
\textsf{\textbf{sum}}(S) + \textsf{\textbf{max}}(S) &\leq \textsf{\textbf{min}}(S) + \textsf{\textbf{count}}(S) \times \textsf{\textbf{max}}(S) \\
\textsf{\textbf{sum}}(S) &= \textsf{\textbf{avg}}(S) \times \textsf{\textbf{count}}(S)
\end{aligned}$$

□

Auf Grundlage dieser Axiomatisierung wurden die Aussagen aus Tabelle 6 entsprechend erweitert. Tabelle 7 enthält zusätzlich die Vergleichsoperatoren, bei denen eine Integration von γ_3-Bedingungen möglich ist.

	$f_1(x)\theta f_2(x)$	**min**	**max**	**avg$^+$**	**avg$^-$**	**sum$^+$**	**sum$^-$**	**count**
Zerlegbarkeit	**min**	$=$	$\geq,>,\leq$	$\geq,>,\leq$	$\leq$	$\geq,>,\leq$	$\geq$	$\geq,>$
	max	$\leq,<,\geq$	$=$	$\geq$	$\leq,<,\geq$	$\leq$	$\leq,<,\geq$	$-$
	avg$^+$	$\leq,<,\geq$	$\leq$	$=$	$\leq,<,=$	$\leq$	$\leq,<,\geq$	$-$
	avg$^-$	$\geq$	$\geq,>,\leq$	$\geq,>,=$	$=$	$\geq,>,\leq$	$\geq$	$\geq,>$
	sum$^+$	$\leq,<,\geq$	$\geq$	$\geq$	$\leq,<,\geq$	$=$	$\leq,<,=$	$-$
	sum$^-$	$\leq$	$\geq,>,\leq$	$\geq,>,\leq$	$\leq$	$\geq,>,=$	$=$	$\geq,>,\leq$
	count	$\leq,<$	$-$	$-$	$\leq,<$	$-$	$\leq,<,\geq$	$=$
Komponierbarkeit	**min**	$=$	$\leq,<$	$\leq,<$	$\leq,<$	$\leq,<$	$\geq,>$	$\leq,<$
	max	$\geq,>$	$=$	$\geq,>$	$\geq,>$	$\leq,<$	$\geq,>$	$-$
	avg$^+$	$\geq,>$	$\leq,<$	$=$	$=,\geq,>$	$\leq,<$	$\geq,>$	$-$
	avg$^-$	$\geq,>$	$\leq,<$	$=,\leq,<$	$=$	$\leq,<$	$\geq,>$	$\leq,<$
	sum$^+$	$\geq,>$	$\geq,>$	$\geq,>$	$\geq,>$	$=$	$=,\geq,>$	$-$
	sum$^-$	$\leq,<$	$\leq,<$	$\leq,<$	$\leq,<$	$=,\leq,<$	$=$	$\leq,<$
	count	$\geq,>$	$-$	$-$	$\geq,>$	$-$	$\geq,>$	$=$

Tabelle 7: γ_3-Aggregatbedingungen bei Zerlegung und Komposition

Mit der Untersuchung der Integrationsmöglichkeiten für Basisaggregatbedingungen wurde die Möglichkeit geschaffen, derart einfach strukturierte Integritätsbedingungen bei der Schemaintegration zu berücksichtigen. Darauf basierend sollen in den folgenden Abschnitten auch Möglichkeiten zur Integration komplexerer Bedingungen aufgezeigt werden.

5 Arithmetische Erweiterungen

In diesem Abschnitt sollen verschiedene Varianten arithmetischer Erweiterungen eingeführt und diskutiert werden. Darunter ist die Generierung komplexer Aggregatbedingungen mit Hilfe von arithmetischen Verknüpfungen von Konstanten, Attributen oder Aggregatfunktionen zu verstehen. Anschließend werden anhand eines Regelwerks die Grundlagen zur Integration dargestellt.

Als arithmetische Erweiterungen sollen durch eine der vier Grundrechenarten verknüpfte Konstanten (c), Attribute (x) oder Aggregatfunktionen ($f(x)$) in Frage kommen.

Ausgehend von einer beliebigen Basisaggregatbedingung $\phi : \mathcal{A}\ \theta\ \mathcal{B}$, wobei θ das Vergleichsprädikat, $\mathcal{A}$ und $\mathcal{B}$ in Abhängigkeit von der Art der Basisaggregatbedingung Konstanten, Attributbezeichner oder Aggregatfunktionen sein können, werden in Tabelle 8 drei grundsätzliche Erweiterungsmöglichkeiten vorgestellt. Das Operatorsymbol $\diamond$ repräsentiert jeweils eine der vier Grundrechenarten, $\diamond \in \{+, -, \times, \div\}$.

Klasse	Variante	Erweiterung	Syntax
Konstantenerweiterung	rechtsseitig	$\phi^{\diamond c}$	$\mathcal{A}\ \theta\ (\mathcal{B} \diamond c)$
	linksseitig	$\phi_{\diamond c}$	$(\mathcal{A} \diamond c)\ \theta\ \mathcal{B}$
Attributerweiterung	rechtsseitig	$\phi^{\diamond x}$	$\mathcal{A}\ \theta\ (\mathcal{B} \diamond x)$
	linksseitig	$\phi_{\diamond x}$	$(\mathcal{A} \diamond x)\ \theta\ \mathcal{B}$
Aggregaterweiterung	rechtsseitig	$\phi^{\diamond f(x)}$	$\mathcal{A}\ \theta\ (\mathcal{B} \diamond f(x))$
	linksseitig	$\phi_{\diamond f(x)}$	$(\mathcal{A} \diamond f(x))\ \theta\ \mathcal{B}$

Tabelle 8: Erweiterungen von Basisaggregatbedingungen

Ausgehend von den in Tabelle 8 angegebenen Erweiterungen von Basisaggregatbedingungen soll nun deren Integrierbarkeit untersucht werden. Tabelle 9 beinhaltet eine Untersuchung des Verhaltens von durch eine Grundrechenart erweiterten Termen. Für jede der Grundrechenarten sind ein oder mehrere Intervalle angegeben, die teilweise in Abhängigkeit vom Vorzeichen des Ausgangsterms angeben, ob derart verknüpfte Elemente daraus den Wert des Terms tendenziell an- oder absteigen lassen.

$\boldsymbol{x} \nearrow$	$\boldsymbol{x} \searrow$
$x + [0, \infty)$	$x + (-\infty, 0]$
$x - (-\infty, 0]$	$x - [0, \infty)$
$x \times \begin{cases} [1, \infty) & \text{falls } x \geq 0 \\ (-\infty, 1] & \text{falls } x \leq 0 \end{cases}$	$x \times \begin{cases} (-\infty, 1] & \text{falls } x \geq 0 \\ [1, \infty) & \text{falls } x \leq 0 \end{cases}$
$x \div \begin{cases} (0, 1] & \text{falls } x \geq 0 \\ (-\infty, 0)\,;[1, \infty) & \text{falls } x \leq 0 \end{cases}$	$x \div \begin{cases} (-\infty, 0)\,;[1, \infty) & \text{falls } x \geq 0 \\ (0, 1] & \text{falls } x \leq 0 \end{cases}$

Tabelle 9: An- und Abstiegsverhalten der Grundrechenarten

Die folgende Aufstellung zeigt, welche Bedingungen gelten müssen, um die Vergleichsrelation θ einer Basisaggregatbedingung nach ihrer arithmetischen Erweiterung weiterhin zu erfüllen. Das Symbol $\diamond\Omega$ repräsentiert eine Konstanten-, Attribut- oder Aggregaterweiterung, also stellt Ω einen konstanten Wert, einen Attributbezeichner oder eine Aggregatfunktion dar: $\Omega \in \{c, x, f(x)\}$. Das Symbol $\diamond$ dient erneut als Platzhalter für eine der Grundrechenarten.

$$(\mathcal{A}\ \theta\ \mathcal{B})^{\diamond\Omega} \quad \Leftrightarrow \quad \begin{cases} \mathcal{B} \geq (\mathcal{B} \diamond \Omega) & \text{falls } \theta \in \{\geq, >\} \\ \mathcal{B} \leq (\mathcal{B} \diamond \Omega) & \text{falls } \theta \in \{\leq, <\} \\ \mathcal{B} = (\mathcal{B} \diamond \Omega) & \text{falls } \theta \in \{\neq, =\} \end{cases}$$

$$(\mathcal{A}\ \theta\ \mathcal{B})_{\diamond\Omega} \quad \Leftrightarrow \quad \begin{cases} \mathcal{A} \leq (\mathcal{A} \diamond \Omega) & \text{falls } \theta \in \{\geq, >\} \\ \mathcal{A} \geq (\mathcal{A} \diamond \Omega) & \text{falls } \theta \in \{\leq, <\} \\ \mathcal{A} = (\mathcal{A} \diamond \Omega) & \text{falls } \theta \in \{\neq, =\} \end{cases}$$

Beispielsweise erfüllt demnach eine rechtsseitige additive Konstantenerweiterung „$+c$" die Basisaggregatbedingung $x \geq 5$ weiterhin, wenn $5 \geq 5 + c$ erfüllt ist.

Die im Abschnitt 4 eingeführten Integrationseigenschaften für Basisaggregatbedingungen sollen auf die arithmetischen Erweiterungen dieser Bedingungen übertragen werden. Unabhängig von der angewandten Schemamanipulationsart $\circledast \in \{\oplus, \ominus\}$ lassen sich in Abhängigkeit von der Vergleichsrelation θ hier folgende Regeln formulieren:

$$(\mathcal{A}\ \theta\ \mathcal{B})^{\circledast} \Rightarrow (\mathcal{A}\ \theta\ \mathcal{B} \diamond \Omega)^{\circledast} \quad \Leftrightarrow \quad \begin{cases} [\mathcal{B} \diamond \Omega] \nearrow & \text{falls } \theta \in \{\leq, <\} \\ [\mathcal{B} \diamond \Omega] \searrow & \text{falls } \theta \in \{\geq, >\} \\ [\mathcal{B} \diamond \Omega] \leftrightarrow & \text{falls } \theta \in \{\neq, =\} \end{cases}$$

$$(\mathcal{A}\ \theta\ \mathcal{B})^{\circledast} \Rightarrow (\mathcal{A} \diamond \Omega\ \theta\ \mathcal{B})^{\circledast} \quad \Leftrightarrow \quad \begin{cases} [\mathcal{A} \diamond \Omega] \searrow & \text{falls } \theta \in \{\leq, <\} \\ [\mathcal{A} \diamond \Omega] \nearrow & \text{falls } \theta \in \{\geq, >\} \\ [\mathcal{A} \diamond \Omega] \leftrightarrow & \text{falls } \theta \in \{\neq, =\} \end{cases}$$

Demnach folgt aus der Zerlegbarkeit der Basisaggregatbedingung $\textbf{max}(x) < 10$ genau dann auch die Zerlegbarkeit der rechtsseitig aggregaterweiterten Aggregatbedingung $\textbf{max}(x) < 10 + \textbf{min}(x)$, wenn der Term $10 + \textbf{min}(x)$ bei der Zerlegung eine ansteigende Verhaltenstendenz aufweist.

Für die Integrierbarkeit von erweiterten Aggregatbedingungen sind demzufolge in erster Linie die Beziehungen zwischen den Termen $\mathcal{A}$ und $\mathcal{A} \diamond \Omega$ zu untersuchen, wobei $\mathcal{A}$ und Ω wiederum Konstanten, Attribute oder Aggregatfunktionen sein können. Der Operator $\diamond$ verknüpft diese Operanden über eine der vier Grundrechenarten. In den folgenden Abschnitten sollen diese Relationen für Konstanten-, Attribut- und Aggregaterweiterungen diskutiert werden.

5.1 Konstantenerweiterung

Addition und Subtraktion von Konstanten verändern bei Schematransformationen die Relationen zwischen so erweiterten Termen nicht. Stammt der nicht konstante Faktor einer Multiplikation oder Division vor und nach der Schemaoperation aus verschiedenen Vorzeichenbereichen, so kann es wegen des Vorzeichenwechsels zu einer Verletzung der Vergleichsrelation kommen. Zur Vermeidung dieses Effekts müssen zusätzliche Bedingungen

$$\begin{aligned} \mathcal{A}^{\boxplus} : \mathcal{A} &\geq 0 \\ \mathcal{A}^{\boxminus} : \mathcal{A} &\leq 0 \end{aligned}$$

eingeführt werden. Diese Bedingungen werden anhand der exklusiven Fallunterscheidungen $(\mathcal{A}^{\boxplus} \dot{\vee} \mathcal{A}^{\boxminus})$[1] in Tabelle 10 verdeutlicht.

Zum Beispiel wollen wir das Produkt $\textbf{max}(x) \times -0,5$ unter der Bedingung $(x > 0)$ betrachten. Bei der Zerlegung weist der Term $\textbf{max}(x)$ ein sinkendes Trendverhalten auf (Tabelle 2). In diesem Beispiel wollen wir annehmen, daß der Wert von $\textbf{max}(x)$ vor der Zerlegung 10 betragen habe und danach 1 sei. Das Produkt daraus und der Konstanten $-0,5$ ergibt dementsprechend die Werte -5 und $-0,5$, also eine ansteigende Verhaltenstendenz.

In Abhängigkeit von Vorzeichenbereich und Trendverhalten von $\mathcal{A}$ sowie dem Intervall, aus dem der Wert für die Konstante c stammt, kommen so jeweils mehrere Kombinationen für beide Varianten zustande. Beispielsweise geht aus dem oberen Teil der Tabelle

[1] $\dot{\vee}$: exklusives Oder

Tendenz	$\mathcal{A} \times c$	$\mathcal{A} \div c$
$\nearrow$	$\begin{cases}(\mathcal{A}^{\boxplus}\dot{\vee}\mathcal{A}^{\boxminus}) \nearrow, c \in [0, \infty) \\ (\mathcal{A}^{\boxplus}\dot{\vee}\mathcal{A}^{\boxminus}) \searrow, c \in (-\infty, 0]\end{cases}$	$\begin{cases}(\mathcal{A}^{\boxplus}\dot{\vee}\mathcal{A}^{\boxminus}) \nearrow, c \in (0, \infty) \\ (\mathcal{A}^{\boxplus}\dot{\vee}\mathcal{A}^{\boxminus}) \searrow, c \in (-\infty, 0)\end{cases}$
$\searrow$	$\begin{cases}(\mathcal{A}^{\boxplus}\dot{\vee}\mathcal{A}^{\boxminus}) \nearrow, c \in (-\infty, 0] \\ (\mathcal{A}^{\boxplus}\dot{\vee}\mathcal{A}^{\boxminus}) \searrow, c \in [0, \infty)\end{cases}$	$\begin{cases}(\mathcal{A}^{\boxplus}\dot{\vee}\mathcal{A}^{\boxminus}) \nearrow, c \in (-\infty, 0) \\ (\mathcal{A}^{\boxplus}\dot{\vee}\mathcal{A}^{\boxminus}) \searrow, c \in (0, \infty)\end{cases}$

Tabelle 10: Konstantenerweiterung durch Multiplikation und Division

hervor, daß ein Produkt aus ansteigendem Faktor und einer Konstanten aus dem Intervall $[0, \infty)$ ebenfalls größer wird. Die Fallunterscheidung $\mathcal{A}^{\boxplus}\dot{\vee}\mathcal{A}^{\boxminus}$ stellt dabei sicher, daß die Veränderung den konstanten Faktor im ursprünglichen Vorzeichenbereich beläßt.

Ist als Tendenzverhalten die Beibehaltung des Wertes ($\leftrightarrow$) bei Zerlegung oder Komposition gefordert, so kann dies im allgemeinen Fall bei der Konstantenerweiterung nur dadurch erreicht werden, daß sich der Wert des variablen Faktors $\mathcal{A}$ nicht verändert, die Belegung der Konstanten c hat hier jedoch keinen Einfluß.

5.2 Attributerweiterung

Im Unterschied zur Konstantenerweiterung sind bei Attribut- und Aggregaterweiterung beide Operanden der Erweiterungsoperation variabel hinsichtlich Schemamanipulationen. Um dennoch in einigen Fällen allgemeingültige Aussagen über das Tendenzverhalten so gebildeter Terme treffen zu können, wollen wir ausgehend von den Ergebnissen in Tabelle 9 die vier Grundrechenarten in den Tabellen 11 und 13 für den allgemeinen Fall $x \diamond y$ untersuchen. Bei $\diamond$ handelt es sich hier um eine der vier Grundrechenarten, welche die variablen Operanden x und y verknüpft.

Tendenz für $(x \diamond y)$	x	y
$(x+y) \nearrow$	$x \nearrow$	$y \nearrow$
$(x+y) \searrow$	$x \searrow$	$y \searrow$
$(x-y) \nearrow$	$x \nearrow$	$y \searrow$
$(x-y) \searrow$	$x \searrow$	$y \nearrow$

Tabelle 11: Tendenzverhalten von Addition und Subtraktion bei variablen Operanden

Das Produkt $\mathsf{max}(x) \times \mathsf{count}(x)$ weist also beispielsweise dann ein ansteigendes Trendverhalten auf, wenn das Produkt aus den Beträgen der Faktoren sinkt und die Vorzeichen der Faktoren übereinstimmen. Aus Tabelle 11 geht hervor, daß eine sichere Vorhersage über das Verhalten von Summe oder Differenz zweier Operanden nur in wenigen Spezialfällen möglich ist. Bei der Addition muß das Tendenzverhalten der beiden Summanden übereinstimmen, wogegen es bei der Subtraktion verschieden sein muß. Falls sich beide Tendenzverhalten unterscheiden, so ist es in der Regel nicht möglich, das Tendenzverhalten der Summe vorherzusagen. Die Ursache dafür liegt darin begründet, daß das Tendenzverhalten der Operanden, nicht aber die konkreten Werte bekannt sind, um die sich deren Werte ändern. Aus dem gleichen Grund lassen sich Differenzen von Operanden gleichen Tendenzverhaltens nicht vorhersagen.

Für Multiplikation und Division lassen sich für uneingeschränkte Operanden keine sinnvollen Aussagen treffen. In Anlehnung an Tabelle 10 müssen zu diesem Zweck Wertebereichseinschränkungen in Form von Objektbedingungen durchgeführt werden. Vorzeichenbereichseinschränkungen lassen sich beispielsweise mit der Signum-Funktion **sgn** realisieren. Verallgemeinert läßt sich das Verhalten von Multiplikation und Division in folgenden Regeln zusammenfassen:

$$\begin{aligned}
(x\ \{\times,\div\}\ y) \nearrow \quad \Leftrightarrow \quad & [(|x|\ \{\times,\div\}\ |y|) \nearrow \wedge(\mathbf{sgn}(x) = \mathbf{sgn}(y))] \vee \\
& [(|x|\ \{\times,\div\}\ |y|) \searrow \wedge(\mathbf{sgn}(x) \neq \mathbf{sgn}(y))] \\
(x\ \{\times,\div\}\ y) \searrow \quad \Leftrightarrow \quad & [(|x|\ \{\times,\div\}\ |y|) \nearrow \wedge(\mathbf{sgn}(x) \neq \mathbf{sgn}(y))] \vee \\
& [(|x|\ \{\times,\div\}\ |y|) \searrow \wedge(\mathbf{sgn}(x) = \mathbf{sgn}(y))]
\end{aligned}$$

Dementsprechend hängt das Tendenzverhalten zweier multiplikativ oder durch Division verknüpfter Operanden vom Produkt bzw. Quotienten ihrer absoluten Beträge sowie dem Vorzeichen der Operanden ab. Während es bei gleichem Vorzeichen zu einem positiven Ergebnis kommt, ist der Rückgabewert der Operation bei unterschiedlichen Vorzeichenbereichen in jedem Fall eine negative Zahl. Die Verknüpfung der absoluten Beträge resultiert ebenfalls immer in einer positiven Zahl. Multipliziert mit den beiden Vorzeichen der Operanden bildet sie das Ergebnis der ursprünglichen Operation:

$$x\{\times,\div\}y = |x|\{\times,\div\}|y| \times \mathbf{sgn}(x) \times \mathbf{sgn}(y)$$

Bei unterschiedlichen Vorzeichen muß diese Verknüpfung kleiner werden, um eine möglichst große negative Zahl im Endergebnis zu bilden.

Durch Reduktion des Tendenzverhaltens von Multiplikation und Division variabler Operanden auf die Betrachtung der absoluten Beträge sowie den Vergleich der Vorzeichen vereinfacht sich die Untersuchung bei beiden dieser Grundrechenarten auf jeweils zwei Fälle, die allgemeingültige Aussagen über eine Steig- oder Sinktendenz des Operationsergebnisses erlauben. In Tabelle 13 sind diese Fälle dargestellt.

Tendenz für $(\lvert x\rvert \diamond \lvert y\rvert)$	$\lvert x\rvert$	$\lvert y\rvert$
$\lvert x\rvert \times \lvert y\rvert \nearrow$	$\lvert x\rvert \nearrow$	$\lvert y\rvert \nearrow$
$\lvert x\rvert \times \lvert y\rvert \searrow$	$\lvert x\rvert \searrow$	$\lvert y\rvert \searrow$
$\lvert x\rvert \div \lvert y\rvert \nearrow$	$\lvert x\rvert \nearrow$	$\lvert y\rvert \searrow$
$\lvert x\rvert \div \lvert y\rvert \searrow$	$\lvert x\rvert \searrow$	$\lvert y\rvert \nearrow$

Tabelle 12: Tendenzverhalten von absoluten Beträgen

Tabelle 12 beinhaltet die vier Fälle der Verknüpfung positiver Zahlen durch Multiplikation und Division, aus denen eine sichere Tendenzvorhersage für das Ergebnis der Operation möglich ist. Die Aussagen *ansteigendes* oder *sinkendes Tendenzverhalten* enthalten keine Informationen über den Betrag, mit dem sich die Operanden ändern. Deshalb sind im Fall der Multiplikation auch nur bei gleichem Trendverhalten und bei der Division bei unterschiedlicher Verhaltenstendenz Vorhersagen über das Produkt bzw. den Quotienten der beiden Operanden möglich.
Abschließend müssen in diesem Zusammenhang noch die Alternativen für das Tendenzverhalten bei absoluten Beträgen aufgezeigt werden:

$$\begin{aligned}
|x| \nearrow \quad \Leftrightarrow \quad & [x^{[0,\infty)} \nearrow] \vee [x^{(-\infty,0]} \searrow] \\
|x| \searrow \quad \Leftrightarrow \quad & [x^{[0,\infty)} \searrow] \vee [x^{(-\infty,0]} \nearrow]
\end{aligned}$$

Der absolute Betrag einer Variablen x steigt an, wenn bei negativem x der Wert sinkt oder bei positivem x der Wert ansteigt. Umgekehrt sinkt der Betrag, wenn bei positivem x sich dessen Wert null nähert und bei negativem x ebenfalls eine Annäherung an null erfolgt.

Tabelle 13 beinhaltet die durch Auflösung der Beträge die aus Tabelle 12 gewonnenen Tendenzverhalten für Operanden aus unterschiedlichen Intervallen mit unterschiedlichen Verhaltenstrends. Für jede Operation und Verhaltenstendenz kommen so jeweils vier Varianten zustande.

Tendenz		**Alternativen**	
Multiplikation	$(x \times y) \nearrow$	$x^{[0,\infty)} \nearrow$	$y^{[0,\infty)} \nearrow$
		$x^{(-\infty,0]} \searrow$	$y^{(-\infty,0]} \searrow$
		$x^{[0,\infty)} \searrow$	$y^{(-\infty,0]} \nearrow$
		$x^{(-\infty,0]} \nearrow$	$y^{[0,\infty)} \searrow$
	$(x \times y) \searrow$	$x^{[0,\infty)} \nearrow$	$y^{(-\infty,0]} \searrow$
		$x^{(-\infty,0]} \searrow$	$y^{[0,\infty)} \nearrow$
		$x^{[0,\infty)} \searrow$	$y^{[0,\infty)} \searrow$
		$x^{(-\infty,0]} \nearrow$	$y^{(-\infty,0]} \nearrow$
Division	$(x \div y) \nearrow$	$x^{[0,\infty)} \nearrow$	$y^{[0,\infty)} \searrow$
		$x^{(-\infty,0]} \searrow$	$y^{(-\infty,0]} \nearrow$
		$x^{[0,\infty)} \searrow$	$y^{(-\infty,0]} \searrow$
		$x^{(-\infty,0]} \nearrow$	$y^{[0,\infty)} \nearrow$
	$(x \div y) \searrow$	$x^{[0,\infty)} \nearrow$	$y^{(-\infty,0]} \nearrow$
		$x^{(-\infty,0]} \searrow$	$y^{[0,\infty)} \searrow$
		$x^{[0,\infty)} \searrow$	$y^{[0,\infty)} \nearrow$
		$x^{(-\infty,0]} \nearrow$	$y^{(-\infty,0]} \searrow$

Tabelle 13: Tendenzverhalten von Multiplikation und Division bei variablen Operanden

5.3 Aggregaterweiterung

Um die Zerlegbarkeit oder Komponierbarkeit von aggregaterweiterten Basisaggregatbedingungen zu untersuchen, können direkt die in Tabelle 2 sowie im Abschnitt 5.2 gewonnenen Erkenntnisse genutzt werden. Insbesondere die Ähnlichkeit zu Attributerweiterungen lassen sich insofern ausnutzen, als das hier untersuchte Trendverhalten von Termen ebenfalls auf variablen Operanden basiert.

Durch Addition oder Subtraktion von Aggregatfunktionen entstandene arithmetische Erweiterungen sind insofern leicht auf ihre Integrierbarkeit zu überprüfen, als laut Tabelle 11 bei diesen Operationen auch ohne Vorzeichenbereichseinschränkungen allgemeingültige Aussagen über das Trendverhalten möglich sind. Um additiv verknüpfte Terme integrieren zu können, müssen demzufolge die Verhaltenstendenzen der beiden Summanden bei der ausgewählten Schemamanipulationsart übereinstimmen. Die Subtraktion verlangt hingegen ein jeweils entgegengesetztes Trendverhalten.

Tabelle 14 zeigt die vorhersagbaren Tendenzen von additiv oder subtraktiv verknüpften Aggregatfunktionen bei Zerlegung und Komposition. Da im Fall von **sum** und **avg** nur über die oben eingeführten Sonderfälle **sum**$^{+}$, **sum**$^{-}$, **avg**$^{+}$ und **avg**$^{-}$ Aussagen über das Trendverhalten getroffen werden können, weist die Tabelle lediglich die eingeschränkten Funktionen auf.

$\ominus/\oplus$		**min**	**max**	**avg**$^+$	**avg**$^-$	**sum**$^+$	**sum**$^-$	**count**
Addition	**min**	↗ / ↘	−/−	−/−	−/ ↘	−/−	↗ / ↘	−/−
	max	−/−	↘ / ↗	−/ ↗	−/−	↘ / ↗	−/−	↘ / ↗
	avg$^+$	−/−	−/ ↗	−/ ↗	−/−	−/ ↗	−/−	−/ ↗
	avg$^-$	−/ ↘	−/−	−/−	−/ ↘	−/−	−/ ↘	−/−
	sum$^+$	−/−	↘ / ↗	−/ ↗	−/−	↘ / ↗	−/−	↘ / ↗
	sum$^-$	↗ / ↘	−/−	−/−	−/ ↘	−/−	↗ / ↘	−/−
	count	−/−	↘ / ↗	−/ ↗	−/−	↘ / ↗	−/−	↘ / ↗
Subtraktion	**min**	−/−	↗ / ↘	−/ ↘	−/−	↗ / ↘	−/−	↗ / ↘
	max	↘ / ↗	−/−	−/−	−/ ↗	−/−	↘ / ↗	−/−
	avg$^+$	−/ ↗	−/−	−/−	−/ ↗	−/−	−/ ↗	−/−
	avg$^-$	−/−	−/ ↘	−/ ↘	−/−	−/ ↘	−/−	−/ ↘
	sum$^+$	↘ / ↗	−/−	−/−	−/ ↗	−/−	↘ / ↗	−/−
	sum$^-$	−/−	↗ / ↘	−/ ↘	−/−	↗ / ↘	−/−	↗ / ↘
	count	↘ / ↗	−/−	−/−	−/ ↗	−/−	↘ / ↗	−/−

Tabelle 14: Aggregatfunktionen bei Zerlegung und Komposition

Aus Platzgründen sind in jeder Tabellenzelle die Verhaltenstendenzen für Zerlegung/Komposition nebeneinander dargestellt. Im Tabellenabschnitt *Addition* werden die untersuchten Terme durch additive Verknüpfung der Aggregatfunktionen in der linken Spalte mit den Funktionen der oberen Zeile gebildet. Dementsprechend finden im Abschnitt *Subtraktion* die Verknüpfungen mit Hilfe des Subtraktionsoperators statt. Beispielsweise kann Tabelle 14 entnommen werden, daß die Summe $[\mathbf{min}(x) + \mathbf{avg}^-(y)]$ bei der Komposition eine sinkende Verhaltenstendenz aufweist.

Mit größeren Problemen sieht man sich hingegen bei der Abschätzung der Verhaltenstendenz von durch Multiplikation oder Division aggregaterweiterten Termen konfrontiert. Wie man Tabelle 13 entnehmen kann, existieren für jede der beiden Operationen sowie beide gewünschten Verhaltenstendenzen jeweils vier Operandenpaarungen, deren Elemente zum einen ein unterschiedliches Trendverhalten aufweisen und zum anderen aus unterschiedlichen Vorzeichenbereichen stammen können.

6 Beispielhafte Anwendung

In diesem Papier haben wir die Zerlegbarkeit und Komponierbarkeit von Aggregatbedingungen untersucht. Wir haben eine Menge von Regeln angegeben, mit denen ermittelt werden kann, ob eine Aggregatbedingung zerlegbar bzw. komponierbar ist. Im folgenden wollen wir kurz anhand eines Beispiels die Anwendung einiger Regeln demonstrieren.

Nehmen wir an, es sind zwei Klassen Projekt1 und Projekt2 zu integrieren. Einfachheitshalber gehen wir davon aus, daß beide Klassen (semantisch) äquivalente Attribute besitzen. Sie beschreiben die jeweiligen Projektmitglieder. Auf der Klasse Projekt1 sind die Bedingungen ($\mathbf{sum}(\mathsf{gehalt}) < 1.000000$) und ($\mathsf{gehalt} > 2000$) definiert, während auf der Klasse Projekt2 die Bedingungen ($\mathbf{sum}(\mathsf{gehalt}) + \mathsf{kosten} < 2000000$), ($\mathsf{gehalt} > 4000$) und ($0 < \mathsf{kosten} < 50000$) festgelegt wurden. Wir gehen ferner davon aus, daß die Klassen sich extensional überlappen können, d.h., ein Mitarbeiter kann in beiden Projekten tätig sein.

Nach der in [CST97] vorgestellen Methode werden nun aus den beiden gegebenen Klassen die Basisextensionen abgeleitet und die entsprechenden Integritätsbedingungen übernommen. In unserem Fall entstehen drei Basisextensionen, die wir im folgenden mit Pnur1, P12 und Pnur2 bezeichnen wollen. Wie die Benennung verrät, enthält die Basisextension Pnur1 (Pnur2) die Mitarbeiter, die nur dem Projekt 'Projekt1' ('Projekt2') angehören. Die Basisextension 'P12' umfaßt die Mitarbeiter, die in beiden Projekte involviert sind (siehe Abbildung 2).

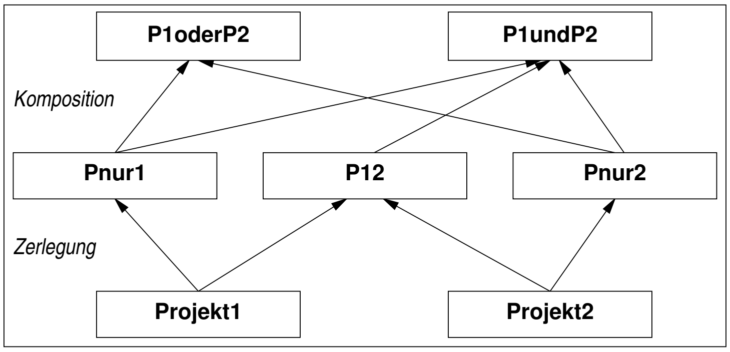

Abbildung 2: Zerlegung der Ausgangsklassen und Vereinigung der Basisextensionen

Die Frage lautet nun, welche Bedingungen der Ausgangsklassen gelten noch für die jeweiligen Basisextensionen. Da die Basisextensionen aus Zerlegungsoperationen hervorgegangen sind, d.h. eine Untermenge mindestens einer Ausgangsklasse darstellen, spielt hier die Zerlegbarkeit von Integritätsbedingungen eine Rolle. Anders formuliert, es werden alle Ausgangsbedingungen übernommen, die zerlegbar sind. Konkret bedeutet das für die Bedingung ($\mathbf{sum}(\mathsf{gehalt}) < 1.000000$), daß sie übernommen werden kann, weil sie in Kombination mit der Bedingung ($\mathsf{gehalt} > 2000$) zerlegbar ist (siehe Tabelle 4). Letztere wird ohnehin übernommen, weil derartige Objektbedingungen nach Tabelle 3 immer zerlegbar sind. Analog können die Bedingungen der Klasse Projekt2 in die Basisextensionen Pnur2 und P12 übernommen werden, weil sie zerlegbar sind. In diesem Fall ist zwar die Zerlegbarkeit nicht so offensichtlich, kann aber einfach mit Hilfe der in den vorangegangenen Kapitel angegebenen Regeln ermittelt werden. Nach Tabelle 4 ist die Basisaggregatbedingung ($\mathbf{sum}(\mathsf{gehalt}) < 2000000$) zerlegbar. Die additive Erweiterung ($+\mathsf{kosten}$) verändert nach Tabelle 11 (siehe auch [Bal98]) diese Eigenschaft nicht. Die beiden anderen Bedingungen ($\mathsf{gehalt} > 4000$) und ($0 < \mathsf{kosten} < 50000$) stellen Objektbedingungen dar und sind somit ebenfalls zerlegbar.

Zusammengefaßt gelten folgende Bedingungen für die einzelnen Basisextensionen:

Pnur1: Diese Basisextension stellt eine Untermenge der Klasse Projekt1 dar. Somit enthält es die zerlegbaren Bedingungen dieser Klasse:

$$(\mathbf{sum}(\mathsf{gehalt}) < 1.000000) \wedge (\mathsf{gehalt} > 2000)$$

P12: Hier werden die zerlegbaren Bedingungen der beiden Klassen Projekt1 und Projekt2 konjunktiv miteinander verknüpft:

$$(\mathbf{sum}(\mathsf{gehalt}) < 1.000000) \wedge (\mathsf{gehalt} > 2000) \wedge$$
$$(\mathbf{sum}(\mathsf{gehalt}) + \mathsf{kosten} < 2000000) \wedge (\mathsf{gehalt} > 4000) \wedge (0 < \mathsf{kosten} < 50000)$$

Pnur2: Analog zum ersten Fall, werden hier die Bedingungen der Klasse Projekt2 übernommen:

$$(\mathbf{sum}(\mathsf{gehalt}) + \mathsf{kosten} < 2000000) \wedge (\mathsf{gehalt} > 4000) \wedge (0 < \mathsf{kosten} < 50000)$$

Leider hat keine der vorliegenden Bedingungen die Eigenschaft, komponierbar zu sein. Deshalb können hier keine Bedingungen in die vereinigten Klassen unverändert übernommen werden. Eine mögliche Lösung ist hier die Einführung von Diskriminanten-Attributen, die dazu genutzt werden können, um die Objekte der vereinigten Klassen den einzelnen Basisextensionen zuzuordnen (siehe [CST97]). Für unser Beispiel würde das bedeuten, daß wir das Diskriminanten-Attribut p einführen. Wenn dieses Attribut den Wert 1 hat, dann gehört das korrespondierende Objekt zu der Basisextension Pnur1; im Falle von 2 bzw. 3 gehört es den Basisextension Pnur2 bzw. P12 an. Mit Hilfe der Diskriminanten können nun die Bedingungen wie folgt auf den vereinigten Klassen definiert werden:

P1oderP2: Diese Klasse setzt sich aus der Vereinigung der Basisextensionen Pnur1 und Pnur2 zusammen. Deshalb müssen alle Objekte entweder die Bedingungen Pnur1 oder von Pnur2 erfüllen:

$$\begin{aligned}
&\forall o \in \mathsf{P1oderP2} : (o.\mathsf{p} \in \{1, 2\}) \wedge \\
&\forall o \in \{o_i | o_i \in \mathsf{P1oderP2} \wedge o_i.\mathsf{p} \in \{1\}\} : ((\textbf{sum}(o.\mathsf{gehalt}) < 1000000) \wedge (o.\mathsf{gehalt} > 2000)) \wedge \\
&\forall o \in \{o_i | o_i \in \mathsf{P1oderP2} \wedge o_i.\mathsf{p} \in \{2\}\} : ((\textbf{sum}(o.\mathsf{gehalt}) + o.\mathsf{kosten} < 2000000) \wedge \\
&\qquad (o.\mathsf{gehalt} > 4000) \wedge (0 < o.\mathsf{kosten} < 50000))
\end{aligned}$$

P1undP2: Diese Klasse umfaßt alle drei Basisextensionen und damit alle zerlegbaren Bedingungen der Ausgangsklassen:

$$\begin{aligned}
&\forall o \in \mathsf{P1undP2} : (o.\mathsf{p} \in \{1, 2, 3\}) \wedge \\
&\forall o \in \{o_i | o_i \in \mathsf{P1undP2} \wedge o_i.\mathsf{p} \in \{1, 3\}\} : ((\textbf{sum}(o.\mathsf{gehalt}) < 1.000000) \wedge (o.\mathsf{gehalt} > 2000)) \wedge \\
&\forall o \in \{o_i | o_i \in \mathsf{P1undP2} \wedge o_i.\mathsf{p} \in \{2, 3\}\} : ((\textbf{sum}(o.\mathsf{gehalt}) + o.\mathsf{kosten} < 2000000) \wedge \\
&\qquad (o.\mathsf{gehalt} > 4000) \wedge (0 < o.\mathsf{kosten} < 50000))
\end{aligned}$$

7 Zusammenfassung und Ausblick

Abschließend möchten wir festhalten, daß wir in unseren Untersuchungen keine sinnvolle Bedingung gefunden haben, die sowohl zerlegbar als auch komponierbar ist. Darunter verstehen wir solche Integritätsbedingungen, die keine Tautologien darstellen.

Eine unmittelbare Konsequenz hieraus ist, daß es keine Bedingung gibt, die unverändert von den Ausgangsklassen in die vereinigten Klassen übernommen werden kann. In einigen Fällen bietet der Diskriminanten-Ansatz eine gute Lösung. Jedoch hat sie den Nachteil, daß sie künstliche Attribute benötigt, die mit einem erhöhten Verwaltungsaufwand einher gehen.

Im vorliegenden Papier haben wir uns auf die Betrachtung der fünf Standard-Aggregatfunktionen in Konjunktion mit den vier Grundrechenarten beschränkt. Zukünftige Arbeiten sollten die Untersuchung der Integrationseigenschaften auf weitere Operatoren wie Potenz und Aggregatfunktionen für Spezialanwendungen (Produkt, Längenberechnung) ausweiten.

Weiterhin verbliebe die Untersuchung von Existenzbedingungen unter Verwendung von Aggregatfunktionen als eine lohnenswerte Erweiterung der vorliegenden Arbeit. Dagegen konnte die Untersuchung transitionaler Aggregatbedingungen in [Bal98] bereits auf die Betrachtung statischer Bedingungen zurückgeführt werden.

Literatur

[AQFG95] R. M. Alzahrani, M. A. Qutaishat, N. J. Fiddian und W. A. Gray. Integrity Merging in an Object-Oriented Federated Database Environment. In C. Goble und J. Keane, Herausgeber, *Advances in Databases, Proc. of the 13th British National Conf. on Databases, BNCOD 13, Manchester, UK, July 1995*, Lecture Notes in Computer Science, Band 940, S. 226–248. Springer-Verlag, Berlin, 1995.

[Bal98] S. Balko. Integration auf Aggregatfunktionen basierender Integritätsbedingungen. Diplomarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik, 1998.

[CHJ+96] S. Conrad, M. Höding, S. Janssen, G. Saake, I. Schmitt und C. Türker. Integrity Constraints in Federated Database Design. Preprint Nr. 2, Fakultät für Informatik, Universität Magdeburg, 1996.

[Con97] S. Conrad. *Föderierte Datenbanksysteme: Konzepte der Datenintegration*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1997.

[CST97] S. Conrad, I. Schmitt und C. Türker. Behandlung von Integritätsbedingungen bei Schemarestrukturierung und Schemaintegration. In K. R. Dittrich und A. Geppert, Herausgeber, *Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft, BTW'97, GI-Fachtagung, Ulm, März 1997*, Informatik aktuell, S. 352–369. Springer-Verlag, Berlin, 1997.

[Klu82] A. Klug. Equivalence of Relational Algebra and Relational Calculus Query Languages Having Aggregate Functions. *Journal of the ACM*, 29(3):699–717, Juli 1982.

[ÖÖM87] G. Özsoyoğlu, Z. M. Özsoyoğlu und V. Matos. Extending Relational Algebra and Relational Calculus with Set-Valued Attributes and Aggregate Functions. *ACM Transactions on Database Systems*, 12(4):566–592, Dezember 1987.

[RPG95] M. P. Reddy, B. E. Prasad und A. Gupta. Formulating Global Integrity Constraints during Derivation of Global Schema. *Data & Knowledge Engineering*, 16(3):241–268, Juli 1995.

[RR97] V. Ramesh und S. Ram. Integrity Constraint Integration in Heterogeneous Databases: An Enhanced Methodology for Schema Integration. *Information Systems*, 22(8):423–446, 1997.

[RSSS98] K. A. Ross, D. Srivastava, P. J. Stuckey und S. Sudarshan. Foundations of Aggregation Constraints. *Theoretical Computer Science*, 193(1–2):149–179, Februar 1998.

[Sch98] I. Schmitt. *Schemaintegration für den Entwurf Föderierter Datenbanken*, Dissertationen zu Datenbanken und Informationssystemen, Band 43. infix-Verlag, Sankt Augustin, 1998.