Verhaltensprofile – Ein Relationaler Ansatz zur Verhaltenskonsistenzanalyse

Matthias Weidlich

Technion – Israel Institute of Technology
32000 Haifa, Israel
weidlich@tx.technion.ac.il

Abstract: Die Entwicklung von Informationssystemen im Unternehmensumfeld wird oft durch Geschäftsprozessmodelle unterstützt. Unterschiedliche Modellierungsziele resultieren allerdings in unterschiedlichen Modellen desselben Prozesses. Nichtsdestotrotz sollten die entsprechenden Modelle konsistent, d.h. frei von Widersprüchen sein. Die Striktheit des Konsistenzbegriffes steht hierbei in Konflikt mit der Eignung der Prozessmodelle für einen bestimmten Zweck. Dieser Beitrag stellt einen Ansatz für die Analyse von Verhaltenskonsistenz vor, welcher sich fundamental von existierenden Arbeiten unterscheidet. Grundlage des Ansatzes ist eine Verhaltensabstraktion, das Verhaltensprofil eines Prozessmodells, welches für bestimmte Modellklassen effizient berechenbar ist. Auf Basis von Verhaltensprofilen werden Konsistenzbegriffe und Konsistenzmaße, sowie ergänzende Analysetechniken vorgestellt.

1 Einführung

Das Erstellen einer Systemspezifikation auf Basis von Anforderungen ist entscheidend für den Erfolg von Softwareentwicklungsprojekten. Im Unternehmensumfeld hat sich die Modellierung von Geschäftsprozessen bewährt um die Kluft zwischen Geschäfts- und Softwareentwicklung zu überbrücken. Prozessmodelle unterstützen u.a. den Abgleich von geschäftlichen Anforderungen mit der Funktionalität von Informationssystemen [LPB99], sowie die Entwicklung von Prozessorientierten Informationssystemen [Kin09].

Prozessmodelle beschreiben den Ablauf zur Erreichung eines Geschäftszieles [Wes07]. Wie alle konzeptionellen Modelle, stellen sie eine reduzierte Abbildung eines Originals dar [Küh06]. Auch zeichnen sie sich durch ein pragmatisches Merkmal aus. Der *Zweck* der Modellierung gibt vor, welche Eigenschaften des Originals in das Modell übernommen werden und welche Art von Reduktion durchgeführt wird. Differenzen zwischen Prozessmodellen desselben Prozesses sind somit oft unterschiedlichen Modellierungszielen geschuldet. Die oft zitierte Problematik des 'Business-IT-Gap' [RP00] ist ein Beispiel. Prozessmodelle welche geschäftliche Anforderungen darstellen, setzen den Fokus darauf, *was* im Rahmen eines Geschäftsprozesses ausgeführt wird. Implementierungsnahe Prozessmodelle hingegen zeigen, *wie* der Prozess unter Berücksichtigung eines konkreten Systemumfelds realisiert wird. Unterschiede zwischen diesen Modellen entsprechen der Regel, ihre Vermeidung würde die Eignung der Modelle für einen gewissen Zweck beeinträchtigen. Nichtsdesto-

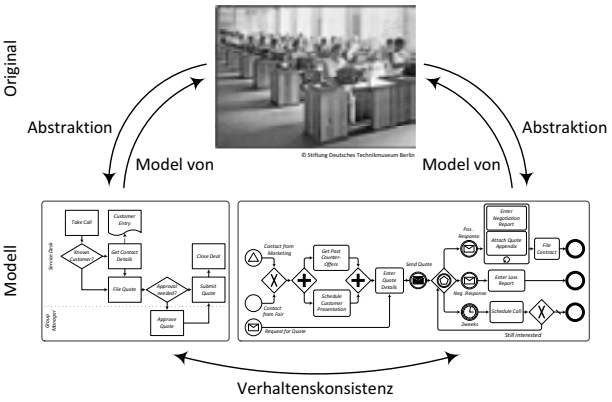

Abbildung 1: Die Frage der Verhaltenskonsistenz: Prozessmodelle stellen verschiedene reduzierte Abbildungen eines Prozesses (eines Originals) dar, sollen jedoch widerspruchsfrei sein.

trotz sollten die entsprechenden Modelle konsistent, d.h. frei von Widersprüchen sein. Da Prozessmodelle zuvorderst Verhalten beschreiben, kommt der Kontrollflussperspektive eine besondere Bedeutung zu. Diese Frage der Verhaltenskonsistenz ist in Abbildung 1 dargestellt und lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Wie analysiert man Verhaltenskonsistenz für Prozessmodelle desselben Prozesses?

Verhaltenskonsistenz wird oft im Sinne von Widerspruchsfreiheit definiert, siehe [Zel95], und bezieht sich auf eine grundsätzliche Fragestellung der Informatik. Für Verhaltensmodelle im Allgemeinen und Prozessmodelle im Besonderen gibt es eine Vielzahl von Ansätzen zur Analyse von Verhaltenskonsistenz. Jene basieren auf Verhaltensäquivalenzen und nehmen an, dass Prozessmodelle in einer hierarchischen Verfeinerungsrelation stehen. Folglich weisen sie eine hohe Berechnungskomplexität auf und erlauben es nicht, den Konsistenzbegriff graduell für einen bestimmten Anwendungsfall anzupassen.

Dieser Beitrag stellt eine Analyse von Verhaltenskonsistenz vor, welche sich fundamental von existierenden Arbeiten unterscheidet. Kern des Ansatzes ist das Verhaltensprofil eines Prozessmodells. Das Verhaltensprofil wird als Menge von Relationen definiert, welche Verhaltenscharakteristika von Prozessmodellen beschreiben. Es ist eine Abstraktion des Verhaltens, die für bestimmte Modellklassen effizient berechenbar ist. Auf Basis von Verhaltensprofilen werden Konsistenzbegriffe und Konsistenzmaße für Prozessmodelle vorgestellt. Weiter definiert der Ansatz ergänzende Analysetechniken: eine Algebra für Verhaltensprofile und eine Modellsynthese. Der vorliegende Beitrag stellt eine Zusammenfassung des Ansatzes dar. Eine vollständige Beschreibung ist in [Wei11] zu finden.

Der Beitrag gliedert sich wie folgt. Der nächste Abschnitt führt ein Beispiel ein. Abschnitt 3 stellt Verhaltensprofile vor. Die Anwendung von Verhaltensprofilen für die Analyse von Verhaltenskonsistenz wird in Abschnitt 4 gezeigt. Abschnitt 5 diskutiert verwandte Arbeiten. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

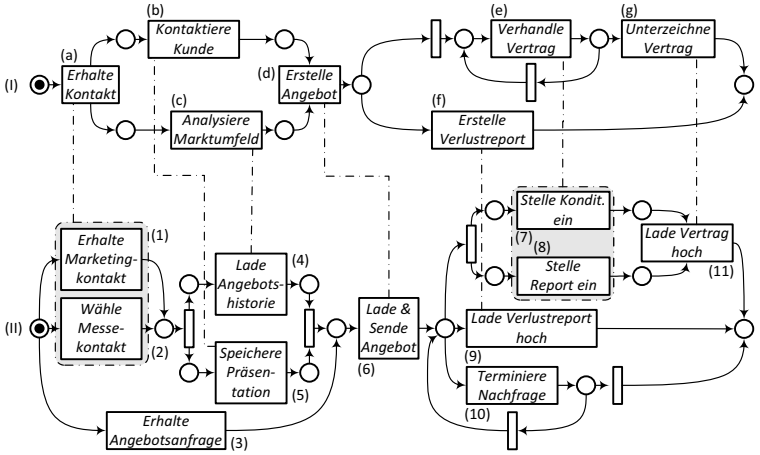

Abbildung 2: Zwei Prozessmodelle, gegeben als markierte Petri-Netze, welche den gleichen Prozess darstellen, aber für unterschiedliche Zwecke erstellt worden sind.

2 Ein Beispiel

Abbildung 2 illustriert das Problem der Verhaltenskonsistenzanalyse mit zwei Prozessmodellen, welche als markierte Petri-Netze vorliegen. Trotz Unterschieden in Syntax und Semantik, sind die meisten Prozessmodellierungssprachen vom Petri-Netz-Formalismus inspiriert. Dies legt die Verwendung von Petri-Netzen für die Konsistenzanalyse nahe.

Die beiden Netze in Abbildung 2 stellen einen Angebotserstellprozess dar. Ein potentieller Kunde wird kontaktiert und es kommt zu einer Angebotserstellung. Bei einer positiven Antwort wird ein Vertrag ausgehandelt, eine negative Antwort führt zu einer Kontaktverlustmeldung. Modell I beschreibt den Prozess aus der Geschäftssicht (Was wird getan?), während Modell II eine implementierungsnahe Sicht einnimmt (Wie wird es umgesetzt?). Obwohl beide Modelle den gleichen Prozess darstellen, unterscheiden sie sich in etlichen Details. Zum Beispiel sieht ausschließlich Modell II eine Nachfrage vor, sofern keine Antwort auf das Angebot empfangen wurde. Nichtsdestotrotz gibt es viele korrespondierende (nicht zwangsläufig semantisch äquivalente) Paare von Transitionen. So entspricht das Unterzeichnen des Vertrages in Modell I dem Hochladen des Vertrages in das System in Modell II, vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Modellierungszwecke. Abbildung 2 illustriert diese Korrespondenzen zwischen den Transitionen. Das Finden von Korrespondenzen kann mittels Techniken des Ontology Matching [ES07] unterstützt werden.

Das Beispiel illustriert die besonderen Herausforderungen der Verhaltenskonsistenzanalyse. Die Modelle unterscheiden sich sowohl in der Frage, welche Eigenschaften des Prozesses in das Modell übernommen werden, als auch in der Frage, wie die Eigenschaften reduziert werden. Die Modelle zeigen unterschiedliche Granularität, welche in komplexen 1:n oder n:m Korrespondenzen resultiert. Auch gibt es Unterschiede in der Abdeckung des Prozesses, so dass die Modelle nicht in einer hierarchischen Verfeinerungsrelation stehen.

3 Das Verhaltensprofil

Im Folgenden wird das Konzept des Verhaltensprofils vorgestellt. Des Weiteren wird die Ermittlung von Verhaltensprofilen für eine bestimmte Klasse von Petri-Netzen diskutiert.

Definition. Das Verhaltensprofil eines Petri-Netzes basiert auf seiner Trace-Semantik, die das Verhalten als, potentiell unendlich große Menge von Ausführungsfolgen definiert. Sei $N = (P, T, F)$ ein Petri-Netz. Dann ist $\sigma : \{1, \ldots, n\} \mapsto T$ eine Schaltfolge der Länge $n \in \mathbb{N}$. Die Trace-Semantik ist durch alle Schaltfolgen gegeben, welche in der initialen Markierung M_i des Netzes aktiviert sind und wird mit $\mathcal{T}(N, M_i)$ bezeichnet.

Auf Grundlage der Ausführungsfolgen, definiert das Verhaltensprofil eine Menge von Verhaltensrelationen über Paare von Transitionen. Die Relationen basieren wiederum auf einer Basisrelation, genannt schwache Ordnung[1]. Ein Transitionspaar $(t_1, t_2) \in T \times T$ ist Teil der *schwachen Ordnung* $\succ \subseteq T \times T$, genau dann, wenn es eine Ausführungsfolge $\sigma \in \mathcal{T}(N, M_i)$ der Länge n gibt, in welcher die erste Transition vor der zweiten Transition auftritt, d.h. $\sigma(k) = t_1$ und $\sigma(l) = t_2$ für $1 \leq k < l \leq n$.

Weitere Verhaltensrelationen ergeben sich aus den unterschiedlichen Kombinationen, in welchen zwei Transitionen in schwacher Ordnung stehen können.

- Ein Paar $(t_1, t_2) \in T \times T$ ist Teil der *Exklusivitätsrelation* $+ \subseteq T \times T$, genau dann, wenn $(t_1, t_2) \notin \succ$ und $(t_2, t_1) \notin \succ$. Exklusive Transitionen treten demnach niemals gemeinsam in einer Ausführungsfolge auf.
- Ein Paar $(t_1, t_2) \in T \times T$ ist Teil der *strikten Ordnungsrelation* $\rightsquigarrow \subseteq T \times T$, genau dann, wenn $(t_1, t_2) \in \succ$ und $(t_2, t_1) \notin \succ$. Sofern eine Ausführungsfolge beide Transitionen enthält, tritt t_1 vor t_2 auf.
- Ein Paar $(t_1, t_2) \in T \times T$ ist Teil der *Interleavingrelation* $\| \subseteq T \times T$, genau dann, wenn $(t_1, t_2) \in \succ$ und $(t_2, t_1) \in \succ$. Das heißt, in mindestens einer Ausführungsfolge tritt t_1 vor t_2 auf, sowie umgekehrt.

Als Verhaltensprofil wird die Menge der drei Relationen bezeichnet. Die Definition der Relationen impliziert, dass Exklusivität und Interleaving symmetrisch sind, während die strikte Ordnungsrelation irreflexiv und antisymmetrisch ($(t_1, t_2) \in \rightsquigarrow \wedge\, t_1 \neq t_2 \Rightarrow (t_2, t_1) \notin \rightsquigarrow$) ist. Die Relationen sind paarweise disjunkt und partitionieren zusammen mit der inversen strikten Ordnung $\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$ das Kreuzprodukt der Transitionen. Es gilt $t + t$, wenn t höchstens einmal in einer Ausführungsfolge auftreten kann und $t \| t$, sofern t potentiell mehrmals auftritt. Das Verhaltensprofil kann als Matrix dargestellt werden, nebenstehend illustriert für Modell I in Abbildung 2. Es gilt $e + f$ und $f + f$ da die Transitionen nicht gemeinsam in einer Ausführungsfolge auftreten. Da b vor f auftreten kann, umgekehrt jedoch nicht, gilt $b \rightsquigarrow f$. Es gilt $b \| c$ aufgrund der nebenläufigen Aktivierung. Interleaving kann jedoch auch in Schleifen begründet sein (z.B. $e \| e$).

Tabelle 1: Verhaltensprofil für Modell I

	a	b	c	d	e	f	g
a	+	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$
b	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	+	$\|$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$
c	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\|$	+	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$
d	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	+	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$	$\rightsquigarrow$
e	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\|$	+	$\rightsquigarrow$
f	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	+	+	+
g	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	$\reflectbox{$\rightsquigarrow$}$	+	+

[1] Der Begriff der Ordnung ist informell zu verstehen. Die in diesem Abschnitt eingeführten Relationen erfüllen die Anforderungen an eine Quasiordnung oder Halbordnung nur für bestimmte Klassen von Netzen.

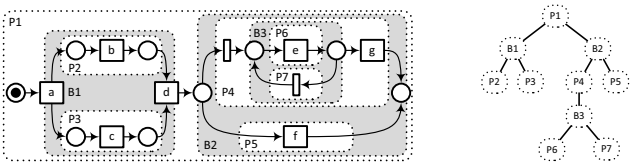

Abbildung 3: Ermittlung des Verhaltensprofils durch strukturelle Dekomposition eines Netzes: 3(a) dreifach-zusammenhängende Graphfragmente, 3(b) die Fragmente als Zerlegungsbaum.

Die Relationen werden als Konsequenz der Existenz von bestimmten Ausführungsfolgen gebildet. Kausalitäten zwischen Transitionen, bzw. ihrem Auftreten, werden nicht im Verhaltensprofil erfasst. Für die Anwendung im Rahmen der Verhaltenskonsistenzanalyse wird später diskutiert, dass dies eine gewünschte Eigenschaft ist. In anderen Anwendungsfällen kann die Abstraktion von Kausalitäten jedoch unerwünscht sein. Für diese Fälle wird in [Wei11] ein kausales Verhaltensprofil definiert. Jenes erweitert den hier vorgestellten Begriff um eine Relation, welche eine kausale Kopplung des Auftretens zweier Transitionen erfasst.

Ermittlung von Verhaltensprofilen. Das Verhaltensprofil stellt eine Abstraktion der Trace-Semantik eines Petri-Netzes dar. Für bestimmte Klassen von Netzen ist eine Betrachtung der Ausführungsfolgen jedoch nicht notwendig um auf das Verhaltensprofil zu schließen. Stattdessen können die Relationen des Verhaltensprofils direkt von der Struktur des Netzes abgeleitet werden. Das Problem der Zustandsraumexplosion durch Nebenläufigkeit, welche mit einer exponentiellen Anzahl von Ausführungsfolgen einhergeht, wird somit umgangen. Ohne auf die formalen Details einzugehen, wird im Folgenden einen Ansatz zur Ermittlung des Verhaltensprofils für Petri-Netze zusammengefasst, welche die Free-Choice, Workflow und Soundness Eigenschaften zeigen. Diese Eigenschaften sind sowohl syntaktischer (beispielsweise gibt es eine initiale Stelle ohne Vorgänger und eine finale Stelle ohne Nachfolger) als auch semantischer Natur (so gibt es keine Verklemmungen). Für die Prozessmodellierung hat diese Netzklasse eine große Bedeutung. Die Grundkonzepte der meisten Prozessmodellierungssprachen können auf entsprechende Netze zurückgeführt werden [LVD09].

Der Ansatz zur Ermittlung des Verhaltensprofils wendet eine Graphzerlegung an, welche Fragmente anhand ihres Zusammenhangs identifiziert. Die dreifach-zusammenhängende Zerlegung bestimmt Fragmente, welche je zwei Randknoten haben, die das Fragment mit dem Rest des Graph verbinden. Weiter sind die Fragmente frei von Überschneidungen, so dass ein Zerlegungsbaum die Hierarchie des Enthaltenseins abbildet.

Die Anwendung dieser Zerlegungstechnik für den Graphen eines Petri-Netzes ist in Abbildung 3 am Beispiel des vorab diskutierten Netzes illustriert. Fragmente werden durch Teilnetze gebildet, welche Stellen oder Transitionen als Randknoten haben. Die Teilnetze lassen sich anhand ihrer strukturellen Eigenschaften klassifizieren. So ist Teilnetz B2 eine Stellen-begrenzte (die Randknoten sind Stellen) azyklische Bond-Struktur (mehrere unabhängige Pfade zwischen den Randknoten). In [Wei11] wurde gezeigt, wie sich die

Relation des Verhaltensprofils für zwei Transitionen aus dem Zerlegungsbaum und der Klassifikation der Fragmente ableiten lässt. Als Beispiel seien hier Transitionen e und f gewählt. Beide Transitionen lassen sich in dem Zerlegungsbaum lokalisieren (Teilnetz P5 bzw. P6). Nun wird der niedrigste gemeinsame Vorfahre im Zerlegungsbaum bestimmt (Teilnetz B2), sowie der Pfad von der Wurzel des Baums zu diesem Vorfahren untersucht. Da dieser Pfad frei von Stellen-begrenzten zyklischen Bond-Fragmenten ist und der Vorfahre ein Stellen-begrenztes azyklisches Bond-Fragment ist, gilt $e + f$, d.h. die Transitionen sind exklusiv zueinander. Mit dieser Methode lässt sich die Verhaltensrelation für ein Paar von Transitionen in linearer Zeit zu der Größe des Petri-Netzes bestimmen, sofern alle Schleifen im Netz wohlstrukturiert sind. Sofern dies nicht der Fall ist, greift ein komplementärer Ansatz. Dieser basiert auf Resultaten der Petri-Netz Theorie zur Ableitung der Nebenläufigkeitsrelation und erlaubt die Ermittlung des Verhaltensprofils in kubischer Zeit zur Netzgröße. Die Kombination beider Ansätze ermöglicht somit die effiziente Ermittlung des Verhaltensprofils.

Sofern ein Petri-Netz die syntaktischen und semantischen Anforderungen nicht erfüllt, kann das Verhaltensprofil aus dem Unfolding des Netzes abgeleitet werden. Das Unfolding stellt eine kompakte Repräsentation des Zustandsraumes dar, dessen Berechnung jedoch ein NP-vollständiges Problem ist. Die generelle Anwendbarkeit des Ansatzes geht demnach mit einer hohen Berechnungskomplexität einher.

4 Konsistenzanalyse auf Basis von Verhaltensprofilen

Der Ansatz zur Konsistenzanalyse mit Verhaltensprofilen ist schematisch in Abbildung 4 dargestellt und umfasst die folgenden Schritte:

(1) Korrespondenzen zwischen Transitionen zweier Petri-Netze werden konstruiert.
(2) Die Verhaltensprofile der Petri-Netze werden ermittelt.
(3) Mittels der Verhaltensprofile werden Konsistenzkriterien überprüft.
(4) Mittels der Verhaltensprofile werden Konsistenzmaße berechnet.
(5) Eine Algebra und eine Modellsynthese für Verhaltensprofile erlauben das Untersuchen der Gemeinsamkeiten im Verhalten.
(6) Sofern Ausführungsdaten für den Prozess in Form von Logs vorliegen, wird die Übereinstimmung mit dem modellierten Verhalten gemessen.

Im Folgendem werden die Schritte (3) - (5) des Ansatzes erläutert.

4.1 Konsistenzkritieren

Die Grundidee, der auf Verhaltensprofilen basierenden Konsistenzkriterien, lautet wie folgt: Die Verhaltensrelationen zweier Petri-Netze sollten für alle möglichen zwei Paare von korrespondierenden Transitionen übereinstimmen. So wird für das Beispiel in Abbildung 2 verlangt, dass die Exklusivität zwischen den Transitionen e und f in Modell I, auch für die entsprechenden Transitionspaare $(7, 9)$ und $(8, 9)$ in Modell II gilt. Das Beispiel zeigt

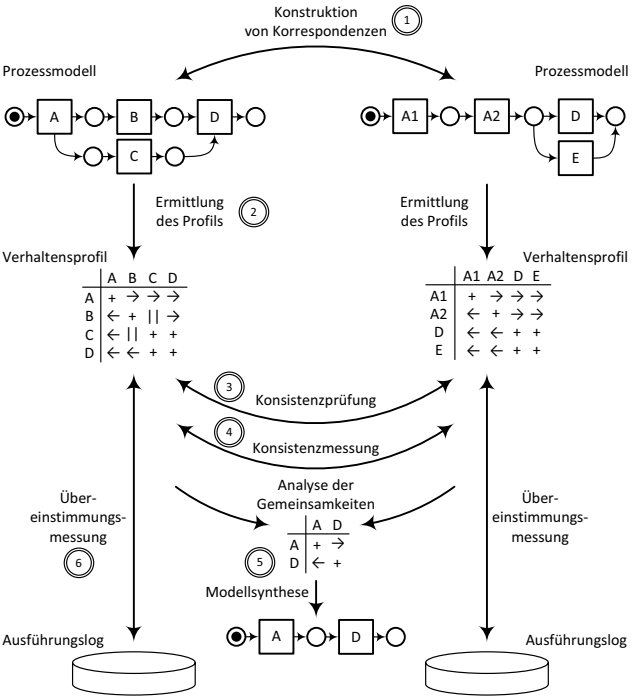

Abbildung 4: Überblick über die Konsistenzanalyse mit Verhaltensprofilen.

auch, dass der Begriff des Verhaltensprofiles besonders für die Analyse geeignet ist, da nur die Existenz von Ausführungsfolgen, nicht aber Kausalitäten betrachtet werden. Die unterschiedliche Abdeckung des Prozesses durch die Modelle führt zu unterschiedlichen Kausalitäten. In Modell I führt das Auftreten von Transition a immer zu einem Auftreten von Transition d. In Modell II hingegen gilt dies nicht für die Transitionspaare $(1, 6)$ und $(2, 6)$, da die Möglichkeit einer direkten Angebotsanfrage berücksichtigt wurde. Diese Unterschiede, welche aus unterschiedlichen Eintritts- oder Austrittspunkten des modellierten Prozesses resultieren, sind oft zwischen Prozessmodellen zu beobachten, welche unterschiedlichen Zwecken dienen. Das Verhaltensprofil erlaubt es davon zu abstrahieren und Konsistenz auf Basis der Ordnung des potentiellen Auftretens zu definieren. So gilt die strikte Ordnung zwischen Transitionen a und d in Modell I auch für die Paare $(1, 6)$ und $(2, 6)$ in Modell II.

In diesem Sinne wurde ein Spektrum von Konsistenzkriterien auf Verhaltensprofilen definiert. Die einzelnen Kriterien unterscheiden sich in der Auswahl der Transitionspaare und Relationen, welche konsistent sein müssen. So können zum Beispiele Unterschiede bzgl. der Wiederholbarkeit eines Auftretens einer Transition toleriert werden, wenn Transitionspaare der Identitätsrelation nicht überprüft werden. Im Rahmen einer empirischen Studie mit Prozessmodellierungsexperten zeigte sich, dass diese Konsistenzdefinition eine gute Approximation des Konsistenzempfindens der Experten aufweist [Wei11].

4.2 Konsistenzmaße

Der Abgleich der Verhaltensrelationen für Paare von korrespondierenden Transitionen ist auch die Grundlage von Konsistenzmaßen. Jene ergeben sich aus dem Verhältnis der Anzahl der Transitionspaare eines Modell, für welche alle korrespondierenden Transitionspaare konsistent sind und der Anzahl der Transitionspaare, für welche dieses nicht gilt. Auf Basis der bereits erwähnten unterschiedlichen Auswahl der betrachteten Transitionspaare und Relationen ergibt sich somit auch ein Spektrum von Konsistenzmaßen.

Die Konsistenzmaße erlauben es die Abweichungen im Verhalten zweier Petri-Netze zu quantifizieren. Für das Beispiel in Abbildung 2 wird nur eine geringe Abweichung gemessen und ein Konsistenzwert von ≈ 0.98 erreicht. Der einzige Unterschied in die Verhaltensprofilen ist, dass Transition *e* in Modell I potentiell mehrfach auftreten kann, was für Transitionen 7 und 8 in Modell II ausgeschlossen ist.

4.3 Analyse von Verhaltensgemeinsamkeiten

Um die mittels der Konsistenzkriterien und Maße erworbenen Ergebnisse interpretieren zu können, ist es hilfreich die Verhaltensgemeinsamkeiten und Unterschiede zu extrahieren. Auf Basis dessen kann entschieden werden, ob gewisse Abweichungen im Verhalten zweier Modelle akzeptabel sind. Im Rahmen des vorgestellten Ansatzes, wird diese Analyse durch eine Mengenalgebra für Verhaltensprofile realisiert. Jene verlangt eine Normalisierung von komplexen Korrespondenzen. Für eine Menge von Transitionen eines Modells, welche Teil einer komplexen Korrespondenz sind, wird die dominierende Verhaltensrelation zu allen anderen Transitionen des Netzes algorithmisch bestimmt.

Grundlage der Algebra ist eine Hierarchie der Relationen des Verhaltensprofils. Die Exklusivitätsrelation gilt als strikteste Relation, da sie das gemeinsame Auftreten zweier Transitionen ausschließt. Die Interleavingrelation hingegen gilt als schwächste Relation, da sie keine Einschränkung bzgl. des gemeinsamen Auftretens zweier Transitionen trifft. Auf Basis dieser Hierarchie definiert die Algebra für Verhaltensprofile die Relationen Äquivalenz, Enthaltensein und Leerheit, sowie die Operationen Komplement, Schnitt und Vereinigung. So ist ein Verhaltensprofil in einem anderen enthalten, genau dann, wenn alle Transitionspaare des ersten Profils Teil einer schwächeren Verhaltensrelation im Vergleich zu den korrespondierenden Transitionspaaren im zweiten Profil sind. Der Schnitt hingegen kombiniert die jeweils strikteste Verhaltensrelation für alle Transitionspaare. Die algebraischen Relationen und Operationen erlauben es zahlreiche Analysefragestellungen zu beantworten. Zum Beispiel können Schnitt und Vereinigung als größter gemeinsamer Teiler bzw. kleinstes gemeinsames Vielfaches des Verhaltens angesehen werden.

Die Analyse und Interpretation der mittels algebraischer Operationen erzeugten Verhaltensprofile wird durch eine Modellsynthese unterstützt. Jene erzeugt zu einem Verhaltensprofil ein entsprechendes Petri-Netz und lässt sich als Umkehroperation der in Abschnitt 3 beschriebenen Ermittlung eines Verhaltensprofils auffassen.

5 Verwandte Arbeiten

Verhaltenskonsistenz ist bereits aus einer Vielzahl von Perspektiven betrachtet worden. Verhaltensvererbung [BvdA01] zeigt, wie die für statische Modelle bekannten Vererbungskonzepte auf Verhaltensmodelle übertragen werden. Die Einhaltung von Konsistenz ist auch die Grundlage von Arbeiten über die Verfeinerung von Verhaltensmodellen [vGG01]. Diese Arbeiten haben gemeinsam, dass sie auf klassischen Verhaltensäquivalenzen basieren, so dass sie eine hohe Berechnungskomplexität aufweisen. Auch wird immer eine hierarchische Verfeinerungsrelation zwischen Prozessmodellen angenommen oder erzeugt. Dies ist als wesentliche Einschränkung zu sehen, wie das Zitat von Knöpfel et al. [KGT05] aufzeigt: '*nonhierarchical transformations are not rare exceptions. In the transition from high-level models of the application domain to the implementation model, we find them anywhere'*.

Verhaltensrelationen werden auch verwendet um Modelle aus Ausführungsdaten zu gewinnen (Process Mining) [vdA11]. Hierbei werden jedoch üblicherweise Relationen eingesetzt, welche die direkte Nachfolgebeziehung von Transitionen erfassen, z.B. im Alpha-Algorithmus [vdA11]. Sie sind somit weniger geeignet um Konsistenz von Modellen zu beurteilen, welche eine unterschiedliche Abdeckung eines Prozesses aufzeigen. Ähnliche Relationen, genannt Causal Footprints, wurden in [vDDM08] zur Ähnlichkeitsmessung verwendet. Causal Footprints haben jedoch den Nachteil, dass für ein Modell keine eindeutige Definition existiert.

6 Zusammenfassung & Ausblick

Dieser Beitrag hat einen Ansatz für die Analyse von Verhaltenskonsistenz vorgestellt. Auf Basis einer relationalen Verhaltensabstraktion, dem Verhaltensprofil, wurden Konsistenzbegriffe, Konsistenzmaße und ergänzende Analysetechniken diskutiert. Der Ansatz ist in Gänze in der Dissertation [Wei11] beschrieben. Jene Arbeit enthält weitere experimentelle Untersuchungen bzgl. der Anwendbarkeit der effizienten Ermittlungsalgorithmen und ihrem Laufzeitverhalten, sowie empirische Untersuchungen zur Eignung der Konsistenzkriterien.

Auch wenn die Definition von Verhaltensprofilen mit dem Ziel der Konsistenzanalyse erfolgte, so hat sich gezeigt, dass das Konzept eine grundsätzliche Bedeutung hat. So wurde es bereits für die indexbasierte Suche in Prozessmodelldatenbanken, die glossarbasierte Generierung von Benennungsvorschlägen für Modellelemente, das Erkennen von Datenanomalien in Prozessmodellen, sowie die Optimierung von komplexen Ereignisabfragen in Systemen der Komplexen Ereignisverarbeitung erfolgreich eingesetzt.

Literatur

[BvdA01] Twan Basten und Wil M. P. van der Aalst. Inheritance of behavior. *J. Log. Algebr. Program.*, 47(2):47–145, 2001.

[ES07] Jérôme Euzenat und Pavel Shvaiko. *Ontology matching*. Springer, 2007.

[JvdA09] Kurt Jensen und Wil M. P. van der Aalst, Hrsg. *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency (TOPNOC) II*, Jgg. 5460 of *LNCS*. Springer, 2009.

[KGT05] Andreas Knöpfel, Bernhard Gröne und Peter Tabeling. *Fundamental Modeling Concepts*. Wiley, 2005.

[Kin09] Ekkart Kindler. Model-Based Software Engineering and Process-Aware Information Systems. In *TOPNOC* [JvdA09], Seiten 27–45.

[Küh06] Thomas Kühne. Matters of (Meta-)Modeling. *Software and System Modeling*, 5(4):369–385, 2006.

[LPB99] J. Luftman, R. Papp und T. Brier. Enablers and inhibitors of business-IT alignment. *Communications of the AIS*, 1(3), 1999.

[LVD09] Niels Lohmann, Eric Verbeek und Remco M. Dijkman. Petri Net Transformations for Business Processes - A Survey. In *TOPNOC* [JvdA09], Seiten 46–63.

[RP00] Colette Rolland und Naveen Prakash. Bridging the Gap Between Organisational Needs and ERP Functionality. *Requir. Eng.*, 5(3):180–193, 2000.

[vdA11] Wil van der Aalst. *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Springer, 2011.

[vDDM08] Boudewijn F. van Dongen, Remco M. Dijkman und Jan Mendling. Measuring Similarity between Business Process Models. In *CAiSE*, Jgg. 5074 of *LNCS*, Seiten 450–464. Springer, 2008.

[vGG01] Rob J. van Glabbeek und Ursula Goltz. Refinement of actions and equivalence notions for concurrent systems. *Acta Inf.*, 37(4/5):229–327, 2001.

[Wei11] Matthias Weidlich. *Behavioural Profile - A relational approach to behaviour consistency*. Dissertation, Hasso Plattner Institut, Universität Potsdam, 2011.

[Wes07] Mathias Weske. *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Springer, 2007.

[Zel95] Stephan Zelewski. Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme. Band 9: Beurteilung des Petrinetz-Konzepts. Bericht, Universität Leipzig, 1995.

Matthias Weidlich ist Postdoktorand und außerordentlicher Dozent am Technion – Israel Institute of Technology in Haifa, Israel. Von 2003 bis 2008 studierte er Softwaresystemtechnik am Hasso Plattner Institut (HPI) an der Universität Potsdam. Während des Studiums verbrachte er Auslandssemester an der EFREI in Paris, Frankreich, sowie bei SAP Research in Brisbane, Australien. 2008 schloss er das Studium als Master of Science mit Auszeichnung ab. Seit Mai 2008 war er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am HPI an der Universität Potsdam tätig. Dort wurde er im November 2011 mit dem Prädikat ‘summa cum laude’ promoviert. Forschungsschwerpunkte seiner Arbeit sind die formale Analyse von Prozessmodellen und Datenheterogenität von Informationssystemen. Seine Forschungsresultate sind in internationalen Fachzeitschriften erschienen (u.a. IEEE Transactions on Software Engineering, Information Systems, The Computer Journal, Acta Informatica). Auf der 8th International Conference on Service Oriented Computing (ICSOC 2010) wurde er mit dem Best Paper Award ausgezeichnet.