Funktionale Spezifikation einer Geschwindigkeitsregelung[†]

Max Fuchs
Institut für Informatik
Technische Universität München
Postfach 20 24 20, D-8000 München 2

November 1992

Zusammenfassung

Als Fallstudie werden das Bedienfeld sowie die Überfahrabschaltung einer Geschwindigkeitsregelung für ein Automobil formal spezifiziert. Der verwendete Formalismus basiert auf Strömen und stromverarbeitenden Funktionen. Wesentliche Aspekte dieser Arbeit sind Zeitbehandlung, Unterspezifikation sowie zustandsorientierte Spezifikation.

1 Einleitung

Diese Fallstudie stützt sich auf eine informelle Beschreibung [BA92] einer Geschwindigkeitsregelung der BMW AG. Ausgehend von dieser Beschreibung werden das Bedienfeld sowie die Überfahrabschaltung der Geschwindigkeitsregelung formal spezifiziert. Der Formalismus der stromverarbeitenden Funktionen [BDD+92] soll dabei als Beschreibungsmittel eingesetzt werden. Um die Komplexität der Geschwindigkeitsregelung, insbesondere im Hinblick auf das Echtzeitverhalten, in den Griff zu bekommen, bietet sich eine formale Spezifikation an. Diese Spezifikation dient dann zum einen als Vertragsgrundlage zwischen Kunden und Entwickler und zum anderen als Basis zur Überprüfung sicherheitskritischer Aspekte mit Hilfe von Beweissystemen. Die Arbeit gliedert sich in 4 Kapitel. Kapitel 2 beschreibt die formalen Grundlagen stromverarbeitender Funktionen. Kapitel 3 behandelt die Spezifikation des Bedienfeldes und der Überfahrabschaltung und Kapitel 4 diskutiert offene Fragen und weitere Vorgehensweisen.

[†] Diese Arbeit wurde unterstützt vom Sonderforschungsbereich 342 "Werkzeuge und Methoden für die Nutzung paralleler Rechnerarchitekturen".

2 Ströme und stromverarbeitende Funktionen

In diesem Kapitel gehen wir kurz auf die Grundlagen stromverarbeitender Funktionen ein [BDD+92]. Wir bezeichnen eine endliche oder unendliche Sequenz von Aktionen als Strom. Denkbare Aktionen wären sowohl das Drücken von Tasten als auch elektromechanische Größen wie der Drosselklappenwinkel. Für eine Menge Act von Aktionen ist

Act^*	die Menge aller endlichen Ströme über Act,
Act^∞	die Menge aller unendlichen Ströme über Act und
Act^ω	die Menge aller Ströme über Act (d.h. $Act^\omega = Act^* \cup Act^\infty$).

Wir definieren weiterhin:

$\langle\rangle$	bezeichnet den leeren Strom.
$\langle a\rangle$	bezeichnet den Strom, der nur aus der Aktion a besteht.
$x \circ y$	bezeichnet den Strom, der sich aus der Konkatenation der Ströme x und y ergibt. Gelegentlich schreiben wir auch $a \circ x$ um eine Aktion a an einen Strom x anzuhängen.
$ft.x$	bezeichnet die erste Aktion im Strom x. (undefiniert, falls x leer ist)
$rt.x$	bezeichnet den Rest (Strom ohne erste Aktion) von Strom x. ($rt.x$ ist leer, falls x leer ist)
$\#x$	bezeichnet die Anzahl der Aktionen im Strom x. (∞, falls der Strom x unendlich ist)

Auf der Menge der Ströme Act^ω definieren wir eine partielle Ordnung $\sqsubseteq$ durch:

$$s \sqsubseteq r \equiv \exists u \in Act^\omega : s \circ u = r$$

Diese Ordnung heißt Präfix-Ordnung. Die Menge der Ströme mit dieser Ordnung ist eine *cpo* mit einem kleinsten Element (dem leerer Strom) und einer kleinsten oberen Schranke für jede gerichtete Menge $S \subseteq Act^\omega$.

Unter einer stromverarbeitenden Funktion verstehen wir eine Funktion, die als Argument ein Tupel von Strömen nimmt, als Ergebnis ein Tupel von Strömen liefert und bezüglich der Präfix-Ordnung $\sqsubseteq$ stetig ist. Wir spezifizieren eine solche Funktion durch Angabe ihrer Eigenschaften, also durch ein Prädikat. Beispielsweise wird die Menge aller stetigen Funktionen mit der Funktionalität $Act^\omega \to Act^\omega$, deren Länge des Eingabestroms gleich der Länge des Ausgabestroms ist, wird wie folgt beschrieben:

$$P : (Act^\omega \to Act^\omega) \to Bool$$

$$P.f \equiv \forall i \in Act^\omega : \#i = \#f.i$$

Die Komposition stromverarbeitender Funktionen beruht auf den klassischen Kompositionsformen, nämlich der sequentiellen Komposition ($g \bullet h$), der parallelen Komposition ($g \parallel h$) und dem Rückkopplungsoperator μ.

3 Spezifikation des Bedienfelds und der Überfahrabschaltung

In diesem Abschnitt werden exemplarisch zwei Komponenten der Geschwindigkeitsregelung formal spezifiziert. Um das Gesamtsystem und dessen Einfluß auf die zu spezifizierenden Komponenten einfacher zu gestalten, beschränken wir uns auf eine

- Geschwindigkeitsregelung für Fahrzeuge mit Getriebeschaltung.

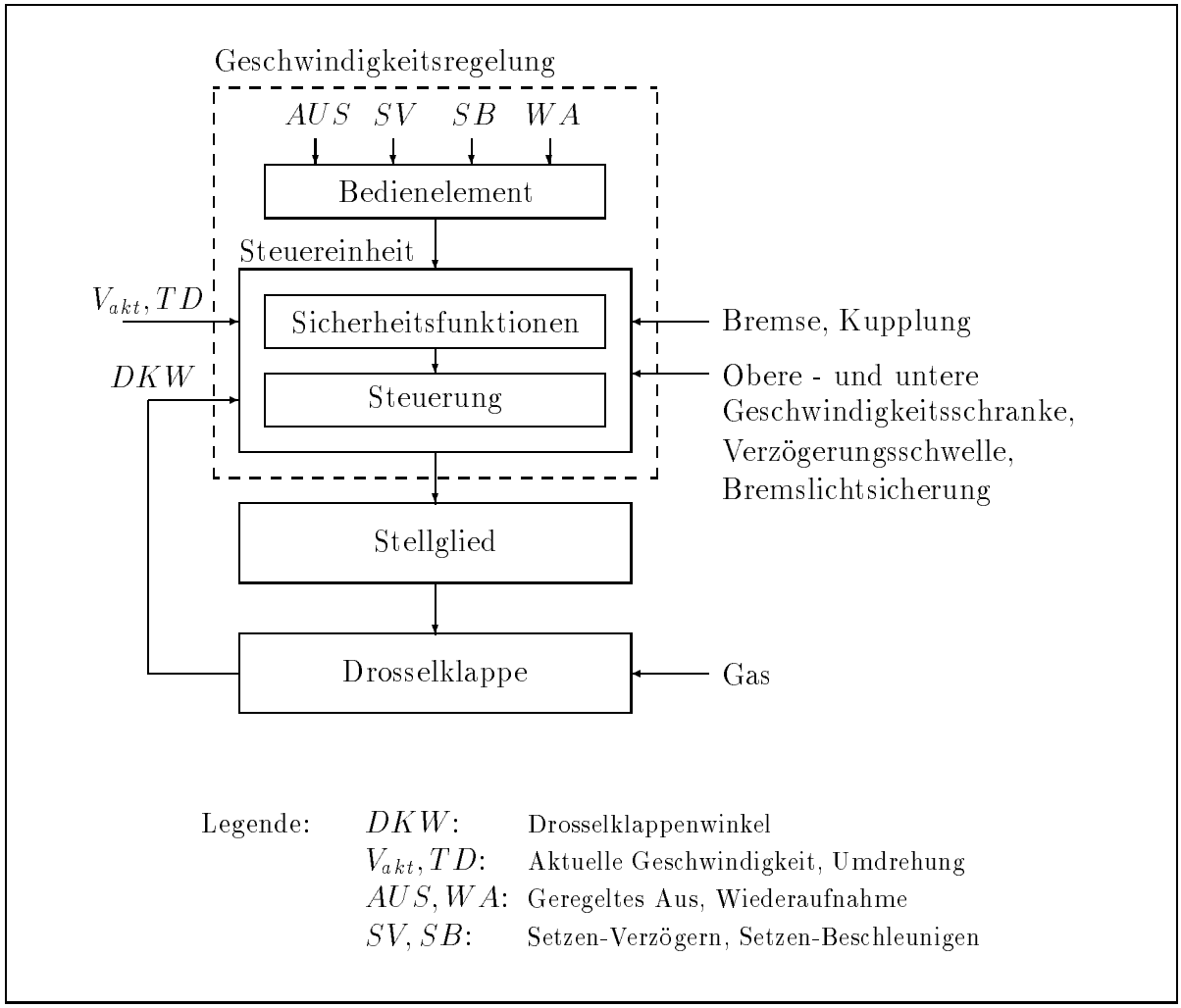

Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau der Geschwindigkeitsregelung.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen ergibt sich gemäß Abbildung 1 der prinzipielle Aufbau der Geschwindigkeitsregelung im Zusammenspiel mit Stellglied und Drosselklappe. Die Steuereinheit setzt sich aus den Blöcken "Sicherheitsfunktionen" und "Steuerung" zusammen. Diese Aufspaltung der Steuereinheit in Sicherheitsfunktionen

und Steuerung ist eine Entwurfsentscheidung, die über die informelle Beschreibung hinausgeht.

3.1 Spezifikation des Bedienfelds

Gemäß der informellen Beschreibung ergeben sich folgende Anforderungen an das Bedienfeld.

a) Funktionen dürfen nur ausgeführt werden, falls das Bedienelement vorher in Ruheposition war. Dabei stellen allerdings die Funktionen Setzen-Verzögern (SV) und Setzen-Beschleunigen (SB) eine Ausnahme dar. Diese dürfen auch über einen längeren Zeitraum aktiviert werden, um die Geschwindigkeit des Fahrzeuges in geregelter Fahrt inkrementell anzuheben oder abzusenken.

b) Beim gleichzeitigen Aktivieren mehrerer Funktionen setzt sich diejenige Funktion mit höchster Priorität durch.

Die Aussagen über zeitliche Abläufe im Bedienelement sind innerhalb der informellen Beschreibung nur qualitativ formuliert. Anstelle exakter Zeitangaben findet man Formulierungen der Art "... durch eine kurzzeitige Betätigung des Bedienelements ...". Dieser Sachverhalt läßt sich mit stromverarbeitenden Funktionen und zeitbehafteten Strömen gut beschreiben. Dabei entspricht die Zeitdauer eines Stromelements genau dem Zeitintervall für eine kurzzeitige Betätigung des Bedienelements. Wird ein Bedienelement nicht aktiviert, so wird dies durch das Symbol ✓ (Tick) im Strom ausgedrückt. Verfeinerungstechniken [Bro92] würden es bei Bedarf erlauben, diese schematische Zeitmodellierung auf eine reale Zeitbasis zu bringen.

Die Spezifikation des Bedienfeldes ergibt sich nun gemäß Abbildung 2. Allgemein werden stromverarbeitende Funktionen durch ihre Eigenschaften, also durch ein Prädikat spezifiziert. Das hier angegebene Prädikat $BEDIEN$ legt die Eigenschaften des Bedienfeldes, in der Form von Aussagen über eine stromverarbeitende Funktion f fest. Um zum einen die Ruheposition zwischen zwei Bedienfeldaktionen auszudrücken und zum anderen eine längere, ununterbrochene Betätigung der Tasten SB und SV zu gewährleisten, verwenden wir einen zustandsorientierten Spezifikationsstil. Bei diesem Spezifikationsstil sind neben Tupel von Strömen auch beliebige Zustände (als weitere Parameter) als Eingaben für stromverarbeitende Funktionen erlaubt.

Für die vier Eingabekanäle der stromverarbeitenden Funktion f wird festgelegt, daß der erste Eingabekanal für AUS-Aktionen, der zweite für SV-Aktionen, der dritte für SB-Aktionen und der vierte für WA-Aktionen bestimmt ist. Die Ruheposition wird durch das gleichzeitige Auftreten der Aktion ✓ an allen vier Eingabekanälen formalisiert. Die Prioritätenbehandlung spiegelt sich in der Reihenfolge der Eingabekanäle der Funktion f wieder. So setzt sich beispielsweise nach einer Ruheposition (Eingabe möglich) die Aktion AUS aufgrund ihrer Priorität gegenüber dem gleichzeitigen Auftreten anderer Aktionen durch.

$$BEDIEN : (Act^{\omega}_{AUS} \times Act^{\omega}_{SV} \times Act^{\omega}_{SB} \times Act^{\omega}_{WA} \times Zustand \longrightarrow Act^{\omega}) \longrightarrow Bool$$

$$BEDIEN.f \equiv \forall s_1 \in Act^{\omega}_{AUS}; s_2 \in Act^{\omega}_{SV}; s_3 \in Act^{\omega}_{SB}; s_4 \in Act^{\omega}_{WA} \ ; \ z \in Zustand :$$

$$\begin{array}{lll}
f(\checkmark \circ s_1, \checkmark \circ s_2, \checkmark \circ s_3, \checkmark \circ s_4, z) & = \checkmark \circ f(s_1, s_2, s_3, s_4, em) & \wedge \\
f(AUS \circ s_1, s_2, s_3, s_4, em) & = AUS \circ f(s_1, rt.s_2, rt.s_3, rt.s_4, enm) & \wedge \\
f(\checkmark \circ s_1, SV \circ s_2, s_3, s_4, em) & = SV \circ f(s_1, s_2, rt.s_3, rt.s_4, svf) & \wedge \\
f(\checkmark \circ s_1, SV \circ s_2, s_3, s_4, svf) & = SV \circ f(s_1, s_2, rt.s_3, rt.s_4, svf) & \wedge \\
f(\checkmark \circ s_1, \checkmark \circ s_2, SB \circ s_3, s_4, em) & = SB \circ f(s_1, s_2, s_3, rt.s_4, sbf) & \wedge \\
f(\checkmark \circ s_1, \checkmark \circ s_2, SB \circ s_3, s_4, sbf) & = SB \circ f(s_1, s_2, s_3, rt.s_4, sbf) & \wedge \\
f(\checkmark \circ s_1, \checkmark \circ s_2, \checkmark \circ s_3, WA \circ s_4, em) & = WA \circ f(s_1, s_2, s_3, s_4, enm) &
\end{array}$$

Legende:		
	Act:	$\{AUS, SV, SB, WA, \checkmark\}$
	Act_{AUS}:	$\{AUS, \checkmark\}$
	Act_{SV}:	$\{SV, \checkmark\}$
	Act_{SB}:	$\{SB, \checkmark\}$
	Act_{WA}:	$\{WA, \checkmark\}$
	$Zustand$:	$\{em, enm, sbf, svf\}$
	em:	Eingabe möglich
	enm:	Eingabe nicht möglich
	sbf:	Setzen-Beschleunigen fortsetzbar
	svf:	Setzen-Verzögern fortsetzbar

Abbildung 2: Funktionale Spezifikation des Bedienfelds.

Die hier präsentierte Spezifikation stellt eine Unterspezifikation bezüglich Anforderung a$_{)}$ dar, d.h. es gibt unterschiedliche Funktionen, die die Spezifikation erfüllen. Mit anderen Worten erfaßt die Spezifikation nicht alle denkbaren Eingabekombinationen, die vom Benutzer erzeugt werden können. Insbesondere trifft dies auf die Forderung nach einer Ruhephase zwischen Aktionen zu. So wird beispielsweise nicht spezifiziert, was passiert, falls z.B. WA und AUS unmittelbar hintereinander (ohne Ruheposition) aktiviert werden; jedes Verhalten würde in diesem Falle die Spezifikation erfüllen - eine geregelte Abschaltung wäre aus sicherheitstechnischen Gründen eine geeignete Lösung. Die Technik der Unterspezifikation (Nichtdeterminismus) stellt ein elegantes Beschreibungsmittel dar, mit aktuell noch nicht bekannten oder relevanten Systemgrößen umzugehen. In der Regel werden nichtdeterministische Spezifikationsteile im Laufe der Systementwicklung aufgrund von Entwurfsentscheidungen oder technischer Erfordernisse durch deterministische Konstrukte ersetzt.

Eine weitere Variante, die Spezifikation des Bedienfeldes aufzuschreiben, ist eine tabellarische Darstellungsform. Abbildung 3 veranschaulicht diese Technik (die in der Tabelle verwendeten Zeichen "-"symbolisieren "don't care").

$$BEDIEN: (Act^{\omega}_{AUS} \times Act^{\omega}_{SV} \times Act^{\omega}_{SB} \times Act^{\omega}_{WA} \times Zustand \longrightarrow Act^{\omega}) \longrightarrow Bool$$
$$BEDIEN.f \equiv \forall s_1 \in Act^{\omega}_{AUS}; s_2 \in Act^{\omega}_{SV}; s_3 \in Act^{\omega}_{SB}; s_4 \in Act^{\omega}_{WA};$$
$$e_1 \in Act_{AUS}; e_2 \in Act_{SV}; e_3 \in Act_{SB}; e_4 \in Act_{WA}; z \in Zustand:$$

$$f(e_1 \circ s_1, e_2 \circ s_2, e_3 \circ s_3, e_4 \circ s_4, z) = \langle \text{Ausgabe} \rangle \circ f(e_1, e_2, e_3, e_4, z')$$

e_1	e_2	e_3	e_4	z	Ausgabe	Folgezustand z'
✓	✓	✓	✓	–	✓	em
AUS	–	–	–	em	AUS	enm
✓	SV	–	–	em	SV	svf
✓	SV	–	–	svf	SV	svf
✓	✓	SB	–	em	SB	sbf
✓	✓	SB	–	sbf	SB	sbf
✓	✓	✓	WA	em	WA	enm

Abbildung 3: Tabellarische Spezifikation des Bedienfelds.

3.2 Spezifikation der Überfahrabschaltung

Aufgrund einer Entwurfsentscheidung zerfällt die Steuereinheit in Sicherheitsfunktionen und einen Steuerteil. In diesem Kapitel wird exemplarisch ein Teilaspekt der Sicherheitsfunktionen spezifiziert, die sogenannte Überfahrabschaltung. Die Überfahrabschaltung kontrolliert bei geregelter Fahrt das Überschieben der Sollgeschwindigkeit bei Bergabfahrt sowie das Übersteigen der Sollgeschwindigkeit durch Betätigung des Gaspedals. Werden kritische Werte überschritten, so sorgt die Überfahrabschaltung für eine "Schnellabschaltung" (maximale Verzögerungszeit 0.3 Sekunden) des Geschwindigkeitsreglers. Im folgenden sind die zu überwachenden Kriterien bei der Überfahrabschaltung nochmals aufgeführt.

- Überfahrabschaltung
  - Überschieben (Bergabfahrt, Drosselklappe in Leerlaufposition)
    Differenz zwischen V_{akt} und $V_{soll} > 16$ km/h $\longrightarrow$ "Schnellabschaltung"
  - Betätigung des Gaspedals (Drosselklappe nicht in Leerlaufposition)
    Differenz zwischen V_{akt} und $V_{soll} > 3$ km/h mindestens für 30 Sekunden $\longrightarrow$ "Schnellabschaltung"

Die zur Spezifikation der Überfahrabschaltung benötigten Eingaben umfassen:

- Die aktuelle Geschwindigkeit V_{akt}
- den Drosselklappenwinkel DKW
- die Sollgeschwindigkeit V_{soll}
- einen Booleschen Wert, der die geregelte Fahrt anzeigt (aktiviert die Überfahrabschaltung)

Als Ausgabe der Überfahrabschaltung kommt entweder die Aktion "Schnellabschaltung" oder das ✓-Symbol in Frage. Letzteres wird ausgegeben, falls sich das Fahrzeug nicht in geregelter Fahrt befindet oder keine der von der Überfahrabschaltung überwachten Bedingungen verletzt wird. Die Spezifikation der Überfahrabschaltung präsentiert sich, basierend auf dem Prädikat UFA, in Abbildung 4.

$$UFA: (G^\omega \times W^\omega \times G^\omega \times Bool^\omega \times Int \longrightarrow A^\omega) \longrightarrow Bool$$

$$UFA.f \equiv \forall rs \in Bool^\omega;\ v_{akt}, v_{soll} \in G^\omega;\ dkw \in W^\omega;\ count \in Int:$$

$$\begin{array}{l}
f(v_{akt}, dkw, v_{soll}, True \circ rs, count) = \quad \textbf{co}\ \text{Überfahrabschaltung aktiviert}\ \textbf{co} \\
\textbf{if}\ ft.dkw = 0 \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \textbf{co}\ \text{Überschieben}\ \textbf{co} \\
\textbf{then if}\ ft.v_{akt} > ft.v_{soll} + 16 \\
\qquad \textbf{then}\ \langle schnell \rangle \circ f(rt.v_{akt}, rt.dkw, rt.v_{soll}, rs, 0) \\
\qquad \textbf{else}\ \langle \checkmark \rangle \circ f(rt.v, rt.dkw, rt.v_{soll}, rs, 0) \\
\textbf{else if}\ ft.v_{akt} > ft.v_{soll} + 3 \qquad \textbf{co}\ \text{Betätigung des Gaspedals}\ \textbf{co} \\
\qquad \textbf{then if}\ count = 300 \qquad\qquad \textbf{co}\ 1/10\ \text{Sekunden-Basis}\ \textbf{co} \\
\qquad\qquad \textbf{then}\ \langle schnell \rangle \circ f(rt.v_{akt}, rt.dkw, rt.v_{soll}, rs, 0) \\
\qquad\qquad \textbf{else}\ \langle \checkmark \rangle \circ f(rt.v_{akt}, rt.dkw, rt.v_{soll}, rs, count + 1) \\
\qquad \textbf{else}\ \langle \checkmark \rangle \circ f(rt.v, rt.dkw, rt.v_{soll}, rs, 0) \qquad\qquad\qquad\qquad \wedge
\end{array}$$

$$\begin{array}{l}
f(v_{akt}, dkw, v_{soll}, False \circ rs, count) = \quad \textbf{co}\ \text{Überfahrabschaltung deaktiviert}\ \textbf{co} \\
\langle \checkmark \rangle \circ f(rt.v_{akt}, rt.dkw, rt.v_{soll}, rs, 0)
\end{array}$$

Legende:		
	G:	Int (Geschwindigkeit)
	W:	$\{ 0, \ldots, 90 \}$ (Drosselklappenwinkel)
	A:	$\{ schnell, \checkmark \}$

Abbildung 4: Funktionale Spezifikation der Überfahrabschaltung.

Um die Echtzeitanforderung "$V_{soll} > V_{akt} + 3$ km/h mindestens für 30 Sekunden" spezifizieren zu können, verwenden wir erneut zustandsorientierte ($count \in Int$), stromverarbeitende Funktionen und zeitbehaftete Ströme [Fuc92]. Da in der informellen Beschreibung keine Zeitangabe kleiner als im Zentelsekundenbereich vorkommt, liegt hier die Wahl der Zeitbasis 1/10 Sekunde für den zeitbehafteten Strom nahe. Das Aufaddieren dieser Zeiteinheiten wird durch den Zustand *count* in der stromverarbeitenden Funktion realisiert.

Neben der Überfahrabschaltung zählen zu den Sicherheitsfunktionen beispielsweise noch das Überwachen von Brems- oder Kupplungsbetätigung und das Überwachen der Geschwindigkeitsschranken V_{min} und V_{max}. Hat man die Einzelkomponenten eines Systems (z.B. Überfahrabschaltung, Überwachung von Brems- oder Kupplungsbetätigung, ...) unter Verwendung von Prädikaten formal spezifiziert, so gilt es nun diese zu komponieren. Dabei lassen sich die klassischen Kompositionsformen auf Prädikate übertragen. Für zwei Prädikate P und Q gelten folgende Gesetzmäßigkeiten [BDD+92]:

$$(P \bullet Q).f \equiv \exists\, g, h : P.g \wedge Q.h \wedge f = g \bullet h$$

$$(P \parallel Q).f \equiv \exists\, g, h : P.g \wedge Q.h \wedge f = g \parallel h$$

$$(\mu P).f \equiv \exists\, g : P.g \wedge f = \mu g$$

Die Fragestellung der Anordnung der Komponentenspezifikationen und deren Auswirkung auf die Implementierung soll im folgenden Anhand des Gesamtblocks "Sicherheitsfunktionen" kurz andiskutiert werden. Eine Variante (siehe Abbildung 5) beinhaltet die

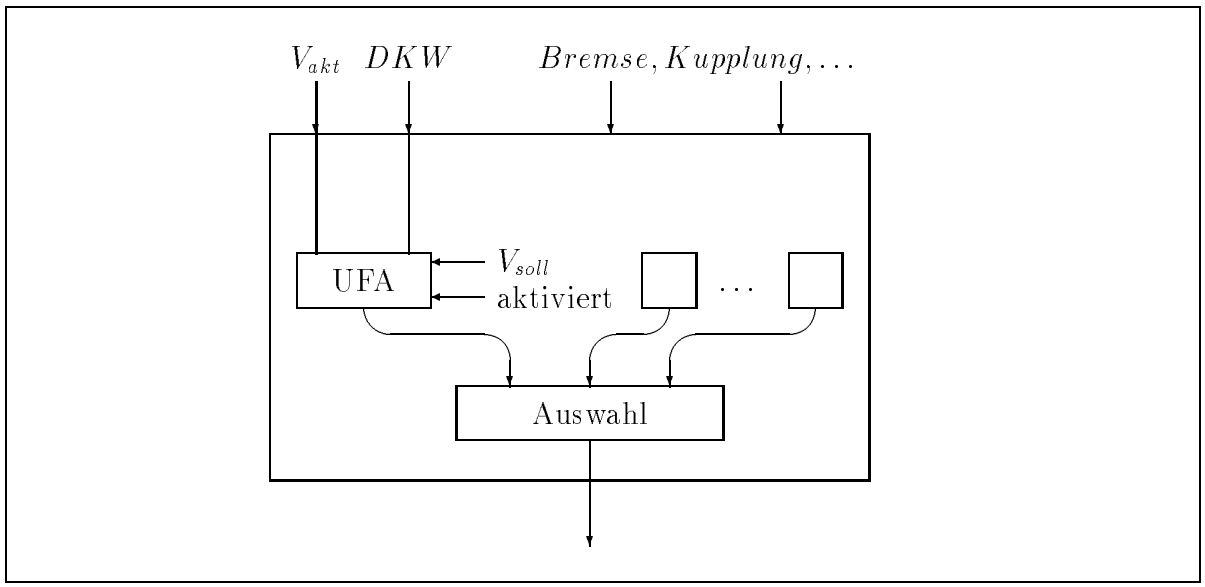

Abbildung 5: Der Gesamtblock Sicherheitsfunktionen in paralleler Anordnung.

parallele Anordnung der Komponentenspezifikationen und erlaubt eine zeitkritische Implementierung. Eine sequentielle Anordnung der Komponentenspezifikationen wäre eine

denkbare Kompositionsform für zeitunkritische Realisierungen. Will man sich bezüglich der Komponentenanordnung in Hinblick auf eine denkbare Implementierung noch nicht festlegen, so kann der Gesamtblock "Sicherheitsfunktionen" als eine Einheit spezifiziert, und bei Bedarf im weiteren Verlauf der Systementwicklung mit Verfeinerungstechniken in eine gewünschte Konfiguration gebracht werden.

4 Bemerkungen und Ausblick

Diese Fallstudie präsentiert die Spezifikation von Teilaspekten einer Geschwindigkeitsregelung unter Verwendung von stromverarbeitenden Funktionen. Im Zentrum der Untersuchung steht die Verwendbarkeit des Formalismus der stromverarbeitenden Funktionen zur Spezifikation von Komponenten der Autoelektronik. Insbesondere wurden in dieser Arbeit die Zeitmodellierung und die Behandlung noch nicht fixierter Teilaspekte (Unterspezifikation) untersucht.

Allgemein läßt sich feststellen, daß stromverarbeitende Funktionen ein geeignetes Spezifikationsmittel für diesen Anwendungsfall darstellen (vgl. Zeitmodellierung und Unterspezifikation in Kapitel 3). Über diese Untersuchungen hinaus bietet der hier vorgestellte Spezifikationsstil noch weitere Vorteile bei der Entwicklung von Systemen.

- Eine funktionale Spezifikation stellt eine formale Vertragsgrundlage zwischen Kunden und Entwickler dar.
- Aus funktionalen Spezifikationen lassen sich rasch lauffähige funktionale Programme entwickeln (rapid prototyping).
- Die funktionale Spezifikation stellt eine formale Basis für das Beweisen von Eigenschaften dar.

Ein weiteres Gebiet für den Einsatz von Spezifikationen basierend auf stromverarbeitenden Funktionen ist das Hardware/Software Codesign. Dabei spezifiziert man Systeme ohne zunächst festzulegen, welche Teile in Hardware oder in Software implementiert werden. Die Entscheidung fällt im Laufe des Entwurfsprozesses, z.B. unter Berücksichtigung von Zeitaspekten. Neben den bereits erwähnten Vorteilen formaler Spezifikationen wollen wir noch auf einen wesentlichen Punkt, dem frühzeitigen Erkennen von Fehlerquellen und Ungereimtheiten in der Entwurfsphase von Systemen, hinweisen. Innerhalb dieser Fallstudie wurden in dem Zusammenhang Unstimmigkeiten in der informellen Beschreibung der Sicherheitsfunktionen festgestellt.

Ein bislang ungelöstes Problem bei der Spezifikation der Geschwindigkeitsregelung mit dem hier vorgestellten Formalismus ist die Spezifikation analoger Vorgänge (Behandlung von analogen Eingabesignalen).

Literatur

[BA92] BMW-AG. Spezifikation einer Geschwindigkeitsregelung, 1992. -vertraulich-.

[BDD+92] M. Broy, F. Dederichs, C. Dendorfer, M. Fuchs, T. F. Gritzner, and R. Weber. The design of distributed systems — an introduction to FOCUS. SFB-Bericht 342/2/92 A, Technische Universität München, January 1992.

[Bro92] M. Broy. (Inter)-Action Refinement: The Easy Way - Compositional refinement of interactive systems. Technical Report 10, International Summer School, Marktoberdorf, July 1992.

[Fuc92] Max Fuchs. Functional Modeling of Clocked Hardware Circuits. Technical Report TUM-I9211, Technische Universität München, April 1992.