

Entwurf komplexer Automatisierungssysteme am Beispiel eines Überwachungsautomaten für Überholvorgänge von Kraftfahrzeugen

Elmar Ahle, Dirk Söffker
Lehrstuhl Regelung, Steuerung und Systemdynamik
Universität Duisburg-Essen
Lotharstr. 1

Ahle, E.; Söffker, D.: Entwurf komplexer Automatisierungssysteme am Beispiel eines Überwachungsautomaten für Überholvorgänge von Kraftfahrzeugen. Tagungsband EKA 2006 Entwurf komplexer Automatisierungssysteme, 9. Fachtagung, TU Braunschweig, 29.-31. Mai 2006, S. 259-276.

Abstract: Der Beitrag beinhaltet die Konzeption und den Entwurf eines Überwachungsautomaten für menschliche Bediener technischer Systeme als Beispiel zum Entwurf für Überwachungssysteme zur Interaktion mit komplexen Automatisierungssystemen. Ausgehend von einer angepassten Situations-Operator-Modellierung wird ein Automat und dessen konzeptionelle Grundlagen beschrieben, der eigenständig und „sicher“ überholen kann und dazu zwischen Handlungsalternativen bei variabler Zielvorgabe wählt. Die Handlungen des Fahrers werden durch einen Vergleich mit den vom Automaten intern ermittelten zulässigen Handlungsalternativen überwacht. Bei Detektion von fehlerhaftem Verhalten des Fahrers erfolgt eine Warnung.

Stichworte: Metamodellbildung, Modellierung und formale Beschreibung, Verkehrssysteme, Überwachung

1 Einleitung

Überholvorgänge im Straßenverkehr zählen zu den Unfallursachen bei denen die Insassen mit hoher Wahrscheinlichkeit schwerste Verletzungen davontragen. Schon sehr früh in der Automobilgeschichte wurde die Sicherheit von Überholvorgängen thematisiert [GibCro1938]. Der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen kommt in jüngerer Zeit auch aus Gründen der Verkehrssicherheit große Bedeutung zu. Dieser Beitrag behandelt den systematischen Entwurf eines Assistenzsystems zur Unterstützung des Fahrers, das vor Gefahren beim Überholen z. B. durch Fehleinschätzungen warnt und damit die Sicherheit im Straßenverkehr erhöhen kann. Der vorliegende Ansatz zum Entwurf komplexer Automatisierungssysteme aufbauend auf einer angepassten Situations-Operator-Modellierung unterscheidet sich von der aus Literatur bekannten [Fia1966, Fre2004, Naa2000]. Für den zu realisierenden Ansatz ist es nötig, die für einen Überholvorgang relevanten Informationen auszuwählen und in geeigneter Form

darzustellen. Als Repräsentationsform wird das Situations-Operator-Modell (SOM) [Söf2003] angewendet, welches zur systematischen Strukturierung der Modellbildung der Interaktion Mensch und formalisierbares technisches System und damit der Fahrzeug-Umwelt Gesamtsituation und somit auch des Überholvorganges benutzt wird. Dieser systematische, modulare und ganzheitliche Ansatz soll sicherstellen, dass die Gesamtkonzeption des Automaten in seiner Funktionalität erweiterbar ist und damit für den Entwickler eines Überwachungsautomaten bis hin zum Automaten für vollständig autonomes Fahren konzeptionell überschaubar und beherrschbar bleibt.

In diesem Beitrag wird zunächst das dem Entwurf zugrunde liegende Situations-Operator-Modell kurz vorgestellt. Das in [Söf2004] vorgestellte Überwachungskonzept, welches in [AhlSöf2005a] zum Entwurf eines Überwachungsautomaten angewandt wird, wird hier allgemein als Beispiel zum Entwurf komplexer Automatisierungssysteme betrachtet. Ausgehend von einer angepassten Situations-Operator-Modellierung wird ein Automat beschrieben, der eigenständig und „sicher“ überholen kann und dazu zwischen Handlungsalternativen bei variabler Zielvorgabe wählt. Der Überholvorgang als gewähltes Konkretisierungsbeispiel beinhaltet einerseits ausreichende Komplexität um die Modellierungs- und Überwachungsmethodik vorzustellen, und ist andererseits noch überschaubar, um sich nicht in Details zu verlieren.

2 Situations-Operator-Modell

Erstmalig wurde von McCarthy 1963 die Darstellung von Abläufen in der wahrnehmbaren, so genannten realen Welt, formal als Folge von zeitlich fixierten Zuständen aufgefasst und beschrieben [McC1963]. In der vorliegenden Arbeit wird die in [Söf2003] entwickelte und weiter detaillierte Situations-Operator-Modellierung angewendet, welche auf der Annahme beruht, dass Veränderungen der realen Welt oder Ausschnitte der realen Welt als eine Folge von Szenen und Aktionen aufgefasst werden. Eine Szene wird in der Situations-Operator-Modellierung durch eine Situation modelliert, eine Aktion durch einen Operator. Zur weiteren Detaillierung wird eine Situation durch Merkmale c und eine innere Struktur r dieser Merkmale beschrieben. Innerhalb technisch-physikalischer Zusammenhänge sind Merkmale z. B. die physikalischen Eigenschaften bzw. technischen Größen. Die spezifischen Verknüpfungen von Merkmalen, welche als mathematische Gleichungen, Algorithmen oder durch graphische Repräsentationen beschrieben werden können, bilden die innere Struktur einer Situation. Die konkreten Werte, Zustände oder allgemeiner Informationen der Merkmale sind die Parameter, d. h. die Elemente des Merkmals [Söf2003].

Innerhalb dieser Beschreibungstechnik SOM wird eine Situation durch einen Operator - als informationstheoretische Beschreibungsform - in eine andere Situation überführt, welche sich durch eine Veränderung von Merkmalen und/oder Veränderung der inneren Struktur definiert. In Abb. 1 wird die Anfangssituation, die aus drei Merkmalen mit zwei Verknüpfungen besteht, in

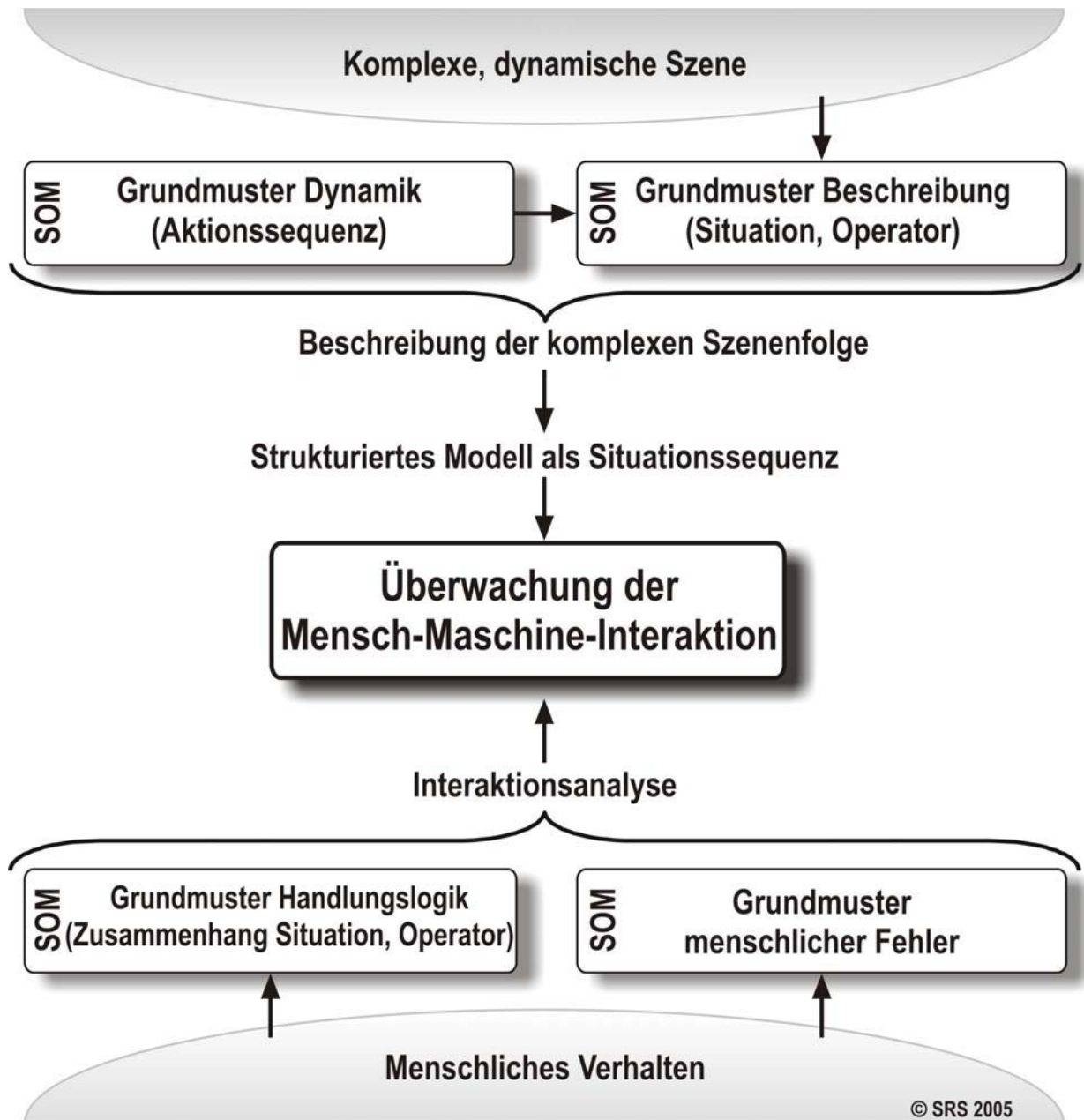


Abbildung 2: Strukturierung der Komplexität der Interaktion

Grundsätzlich dient die Strukturierung der Komplexität der Interaktion von Bediener und System mit Hilfe des Situations-Operator-Modelles dazu, auf Basis des invarianten Bestandteiles der Interaktion und deren Verknüpfung mit der festen Struktur des Systems / der Außenwelt, die Komplexität durch Annahme invarianter Muster zu strukturieren und einer weiteren formalen und damit automatisierten Betrachtung zugänglich zu machen. Die komplexe, dynamische Szenenfolge wird durch das SOM beschrieben, um ein strukturiertes Modell als Situationssequenz zu erhalten (siehe Abb. 2), wobei eine Aktionssequenz in der realen Welt als Grundmuster der Dynamik vorausgesetzt wird. Durch Abbildung der Handlungslogik (zielorientierter menschlicher Betätigungen) und menschlicher Fehler wird das menschliche Verhalten einer Interaktionsanalyse zugänglich gemacht, welches eine Überwachung der Mensch-Maschine-Interaktion ermöglicht. Die in Abb. 2 angegebenen Grundmuster der

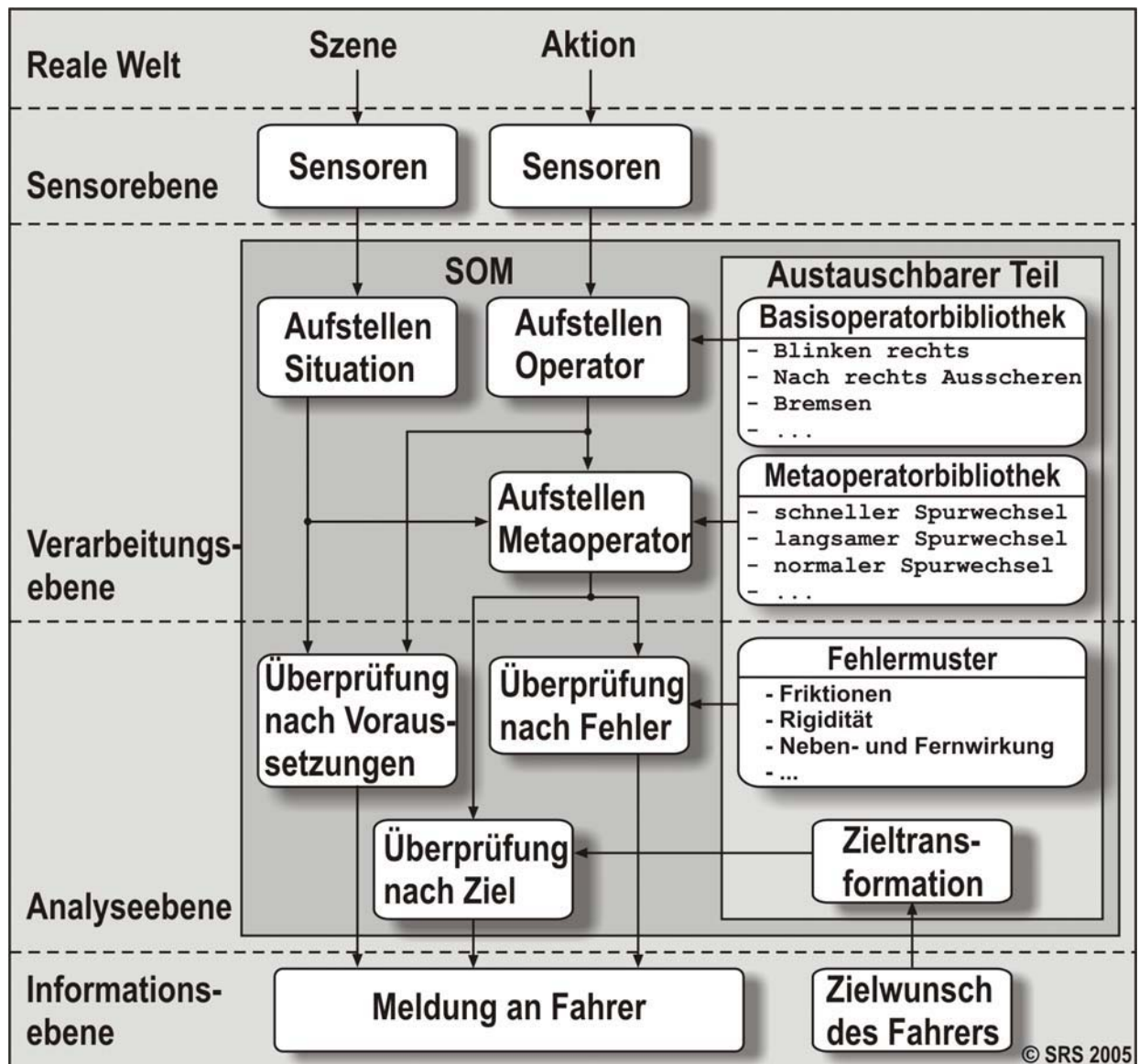


Abbildung 3: Konzeption des Überwachungsautomaten basierend auf der SOM-Theorie

Handlungslogik und menschlicher Fehler, sowie der Grundmuster der Dynamik und der inneren Struktur repräsentieren in einem abstrakten Sinn das Invariante resp. Konstante der Interaktion, vergleichsweise zur Struktur eines Gleichungssystems bzw. einer gebrochen rationalen Übertragungsfunktion zur Darstellung von Übertragungseigenschaften. Die veränderlichen Parameter sind jedoch system- und anwendungsspezifisch. Mit Hilfe einer derartigen Annahme wird die Komplexität offener Systeme systemübergreifend modellierbar und damit handhabbar. In weiteren Arbeiten wird diese Vorgehensweise benutzt, um flexible, lernfähige Regelungen einfacher und komplexer Systeme zu realisieren [AhlSöf2005b].

Die Umsetzung der Überwachung erfolgt in mehreren Ebenen, wie in Abb. 3 dargestellt. Dabei sind die Sensorebene, Verarbeitungsebene, Analyseebene und Informationsebene von der realen Welt zu unterscheiden. Auf der Sensorebene müssen geeignete Eigenschaften der Szene und der Handlungen, d. h. Aktion, des Fahrers ausgewählt werden; Sensoren erfassen diese Größen messtechnisch. Die Verarbeitungsebene lässt sich in drei Bereiche unterteilen:

- i) Aufstellen der Situation als Merkmalsvektor,
- ii) Auswahl des Operators und
- iii) Auswahl des Metaoperators aus den vorgegebenen Operatorbibliotheken.

In diesem Beitrag wird mit einer festen Situationsstruktur – einem Merkmalsvektor zur Beschreibung der Situation – gearbeitet. Jedes dieser Merkmale kann wiederum aus Merkmalen durch Verknüpfungen der Sensordaten ermittelt werden. Die Beschreibung der üblichen Handlungen durch Operatoren kann mit Hilfe des Wissens der Anwender und Systementwickler gebildet werden. Einfache Handlungen werden durch Basisoperatoren realisiert, die in einem weiteren Schritt zu einer Operatorenkette zusammengefügt werden können (Metaoperatoren). Die Metaoperatoren geben die komplexen Handlungsweisen wieder, wie sie für typische Fahrmanöver nötig sind. Aus den unterschiedlichen Basisoperatoren wird ein geeigneter Operator mit Hilfe der Sensordaten ausgewählt.

Die Analyse ist in die Bereiche „Überprüfung nach Voraussetzungen“ einzelner Operatoren, „Überprüfung nach Ziel“ durch Überprüfung des Metaoperators nach Sinnhaftigkeit und „Überprüfung nach Fehlern“ durch Suche in der Operatorenkette nach Fehlermustern, gegliedert. Im Modul „Überprüfung nach Voraussetzungen“ ist der aktuelle Operator dahin zu überprüfen, ob alle Voraussetzungen erfüllt sind und dieser angewendet werden kann. Aus diesem Vergleich wird dann die Einsetzbarkeit oder ein Fehler gemeldet. Das zweite Modul „Überprüfung nach Ziel“ überprüft die Auswahl von Operatoren hinsichtlich des vom Anwender gewählten Ziels. Mit Hilfe der Zielsituation wird die Sinnhaftigkeit des Operators ermittelt, ggf. erfolgt ein Warnhinweis. Im letzten Bereich „Überprüfung nach Fehler“ wird eine gezielte Suche innerhalb der Operatorenkette, nach den in [Söf2004] erläuterten Fehlern durchgeführt.

Die Informationsebene realisiert die Schnittstelle zwischen dem Fahrer und dem Automaten. Der Anwender kann seinen Zielwunsch dem Automaten mitteilen, die in eine Zielsituation der SOM-Theorie transformiert wird. Der Anwender bekommt durch den Überwachungsautomaten eine Meldung bei fehlerhafter Bedienung des Systems.

Durch diese Struktur der Überwachung lässt sich ein Automat verwirklichen, der auch in verschiedenen Bereichen der Automatisierungstechnik einsetzbar ist, indem neue Operatorbibliotheken angelegt werden und die Situationsbeschreibung angepasst wird. Hierbei wird das vorhandene System- und Zusammenhangswissen der Entwickler in spezifischer Weise modelliert, um dann automatisiert zu verschiedenen Zwecken verarbeitet zu werden. Durch die Hierarchisierung des SOM lassen sich unterschiedliche Teilsysteme getrennt oder als Ganzes überwachen. Es können unterschiedliche Teilsysteme jederzeit integriert werden, des Weiteren lassen sich die Systemzustände aus den Sensordaten durch die Nutzung von Merkmalen einfach und einheitlich darstellen. Auch die Aktionen des Anwenders sind durch die Operatoren einfach abbildbar, so dass sich ein abstraktes SOM-Gesamtbild als Abfolge von Systemzuständen darstellen lässt.

3.1 Beschreibung der Szene als Situation

Diese vorgestellte Vorgehensweise für den Entwurf eines Überwachungsautomaten wird zur Realisierung eines Überwachungsautomaten für Überholvorgänge genutzt. Dazu wird die Szene des Fahrzeugs beim Überholvorgang als Situation, einem strukturinvarianten Merkmalsvektor zur Beschreibung der Gesamtsituation des Fahrzeugs modelliert, dessen mögliche Parameter in Klammern angegeben sind (siehe Abb. 4). Für die vordefinierten Merkmale der Situation werden die Parameter geeignet aus den Sensordaten extrahiert, um so eine handhabbare Beschreibung der Szene als Situation zu gewinnen. Die Algorithmen, die aus den Sensordaten die Parameter der Merkmale extrahieren, sind z. B. neuronale Netze, Fuzzy-Logic Klassifikatoren oder einfache Wenn-Dann-Abfragen, und bilden die innere Struktur der Szene auf einem höheren Abstraktionslevel als Situation ab. Das allgemeine Interaktionsmodell sowie eine angenommene Innenstruktur der Szene bilden die Grundlagen für die Ermittlung der Parameter. In Abb. 4 ist ein Berechnungsalgorithmus zur Ermittlung des Parameters des Merkmals *Spurwechsel möglich* dargestellt. Aus den Geschwindigkeiten und Distanzen der Fahrzeuge auf den Nebenspur, sowie der eigenen Geschwindigkeit, werden die Sicherheitsabstände, wie sie beispielsweise in [May2001] definiert sind, berechnet und ausgewertet. An dieser Stelle wird ein Vorteil der Metamodellierung durch Anwendung des SOM deutlich, da die verschiedenen Algorithmen bzw. Kennwerte zur Bestimmung der Parameter in einer einheitlichen Form und ganzheitlichen Modellbildungstechnik dargestellt werden. In [AhlSöf2004] ist für ein Fahrzeug, das auf einer dreispurigen Straße fährt, eine Möglichkeit der Merkmalsextraktion durch Beispielalgorithmen erläutert.

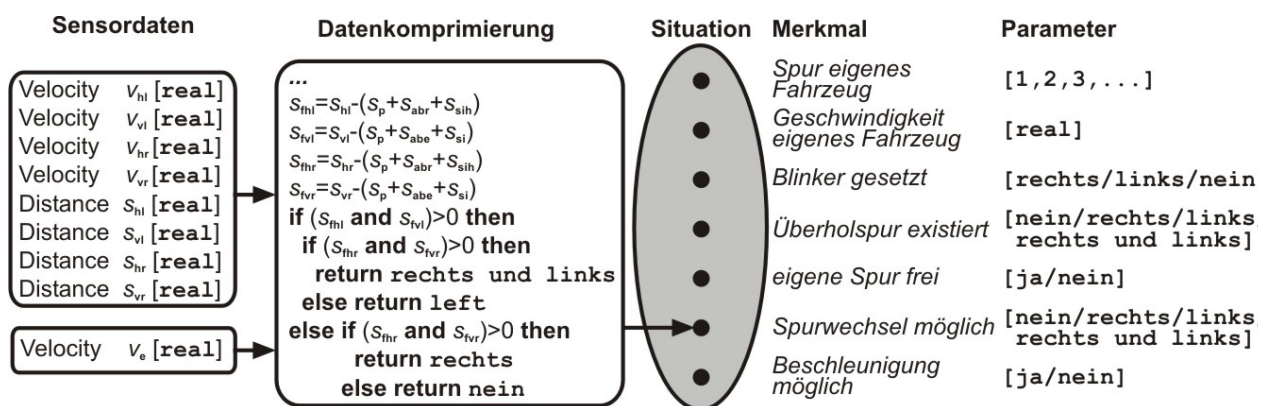


Abbildung 4: Von den Sensordaten durch Datenkompression zur Situation als Merkmalsvektor

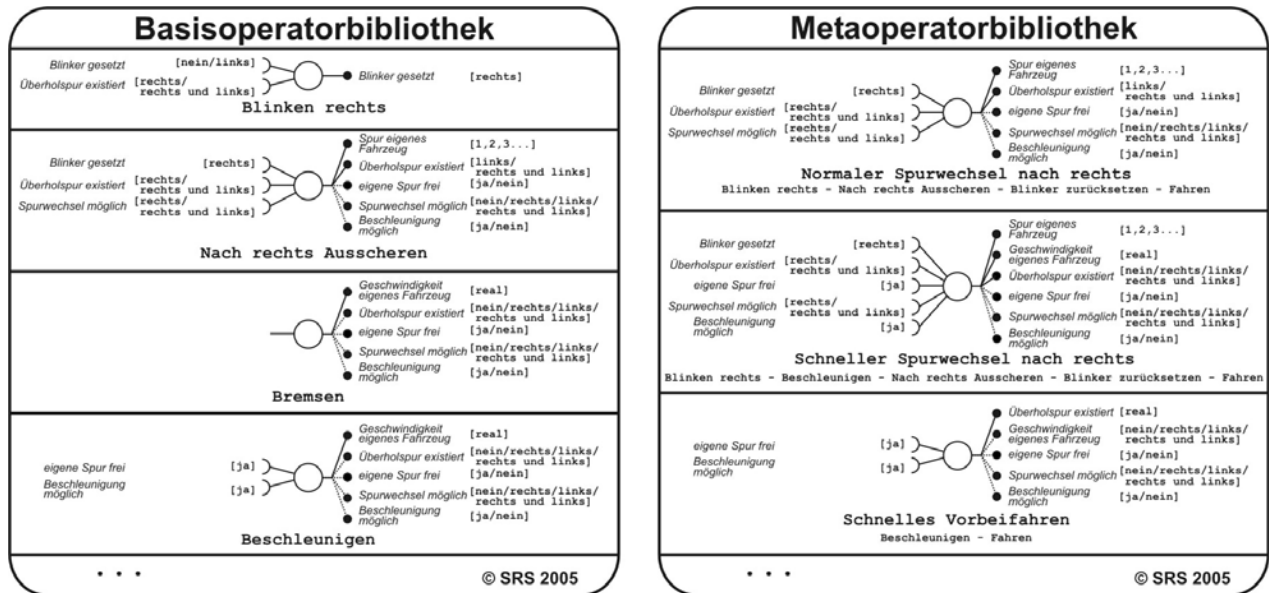


Abbildung 5: Basis- und Metaoperatorbibliothek für die Überwachung des Überholvorgangs

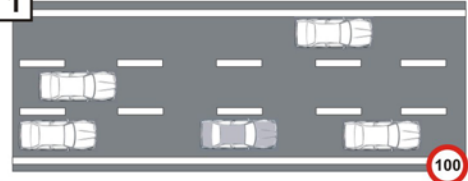
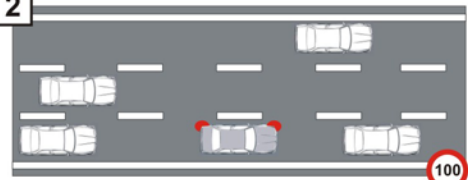
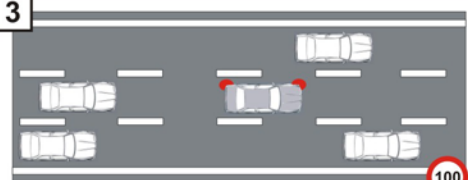
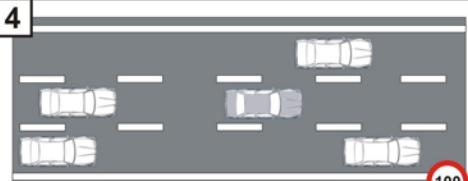
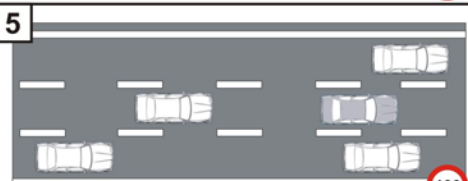
3.2 Beschreibung der Aktionen als Operatoren

Die Aktionen (umgangssprachlich: Handlungen) des Fahrers werden als Operatoren modelliert und durch ihre Funktion, ihre Zugehörigkeiten sowie ihre Voraussetzungen zur Anwendbarkeit definiert. Aus einer Menge von Basisoperatoren, wie Bremsen, Fahren, Beschleunigen, etc. werden weitere Metaoperatoren, z. B. Spurwechsel nach rechts, Vorbeifahren, zusammengesetzt. Eine Bibliothek der Operatoren erlaubt einerseits die Sinnhaftigkeit einzelner vom Fahrer gewählter Aktionen direkt zu überwachen (durch Überprüfung der Voraussetzung der Operatoren), andererseits ist es durch Bilden von Metaoperatoren darüber hinaus ebenfalls möglich, bei der Vorgabe von Zielen die Sinnhaftigkeit von Metaoperatoren oder Operatorsequenzen zu überprüfen. Ausschnitte aus den in [Blö2005] entwickelten Basis- und Metaoperatorbibliotheken sind in Abb. 5 dargestellt. Jedem Operator sind die zur Anwendbarkeit benötigten Voraussetzungen auf der linken Seite und die resultierende Veränderungen der Situation auf der rechten Seite zugeordnet. Sicher eintretende Veränderungen der Situation sind durch eine durchgezogene Linie angegeben, während wahrscheinlichkeitsbehaftete Veränderungen durch eine gestrichelte Linie dargestellt werden.

4 Funktionsweise des Überwachungsautomaten

In diesem Abschnitt wird eine Sequenz von Szenen betrachtet, an Hand derer die Funktionsweise des Überwachungsautomaten illustriert wird. In Tab. 1 ist das zu betrachtende Fahrzeug auf der rechten Fahrspur einer dreispurigen Straße mit Geschwindigkeitsbegrenzung dargestellt, welches auf die mittlere Spur wechselt und ein anderes Fahrzeug überholt. Zur Modellierung der Verhaltensweisen des Fahrers stehen grundsätzlich alle Aktionen, die in der Basisoperatorbibliothek als Operatoren modelliert sind zur Verfügung. Diese wird durch die Prüfung nach den Voraussetzungen und dem Ziel immer weiter eingeschränkt, wobei das Ziel

Tabelle 1: Funktionsweise des Automaten am Beispiel der Überwachung des Überholvorgangs

Szene	Situation	Operatoren nach Voraussetzungen	Operatoren nach Ziel
	<ul style="list-style-type: none"> ● Spur eigenes Fahrzeug [1] ● Geschwindigkeit eigenes Fahrzeug [85 km/h] ● Blinker gesetzt [nein] ● Überholspur existiert [links] ● eigene Spur frei [nein] ● Spurwechsel möglich [links] ● Beschleunigung möglich [nein] 	<ul style="list-style-type: none"> - Blinken links - Verzögern - Bremsen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Blinken links 2. Verzögern 3. Bremsen
	<ul style="list-style-type: none"> ● Spur eigenes Fahrzeug [1] ● Geschwindigkeit eigenes Fahrzeug [85 km/h] ● Blinker gesetzt [links] ● Überholspur existiert [links] ● eigene Spur frei [nein] ● Spurwechsel möglich [links] ● Beschleunigung möglich [nein] 	<ul style="list-style-type: none"> - Blinker zurücksetzen - Nach links Ausscheren - Verzögern - Bremsen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nach links Ausscheren 2. Blinker zurücksetzen 3. Verzögern 4. Bremsen
	<ul style="list-style-type: none"> ● Spur eigenes Fahrzeug [2] ● Geschwindigkeit eigenes Fahrzeug [85 km/h] ● Blinker gesetzt [links] ● Überholspur existiert [links und rechts] ● eigene Spur frei [ja] ● Spurwechsel möglich [rechts] ● Beschleunigung möglich [ja] 	<ul style="list-style-type: none"> - Blinker zurücksetzen - Verzögern - Bremsen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Blinker zurücksetzen 2. Verzögern 3. Bremsen
	<ul style="list-style-type: none"> ● Spur eigenes Fahrzeug [2] ● Geschwindigkeit eigenes Fahrzeug [85 km/h] ● Blinker gesetzt [nein] ● Überholspur existiert [links und rechts] ● eigene Spur frei [ja] ● Spurwechsel möglich [rechts] ● Beschleunigung möglich [ja] 	<ul style="list-style-type: none"> - Blinken rechts - Fahren - Beschleunigen - Verzögern - Bremsen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Beschleunigen 2. Fahren 3. Blinken rechts 4. Verzögern 5. Bremsen
	<ul style="list-style-type: none"> ● Spur eigenes Fahrzeug [2] ● Geschwindigkeit eigenes Fahrzeug [100 km/h] ● Blinker gesetzt [nein] ● Überholspur existiert [links und rechts] ● eigene Spur frei [ja] ● Spurwechsel möglich [nein] ● Beschleunigung möglich [nein] 	<ul style="list-style-type: none"> - Fahren - Verzögern - Bremsen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fahren 2. Verzögern 3. Bremsen

© SRS 2005

„Schnell vorankommen“ in diesem Fall betrachtet wird. Transformiert in die SOM Schreibweise bedeutet dies, dass ein möglichst großer Parameter für das Merkmal *Geschwindigkeit eigenes Fahrzeug* angestrebt wird und damit auch der Parameter [ja] für die Merkmale *eigene Spur frei* und *Beschleunigung möglich*, um die Operatoren Beschleunigen bzw. Fahren anwenden zu können. Als Metaoperator ergibt sich für die gesamte Sequenz der Metaoperator Normaler Spurwechsel nach links.

Die Tabelle 1 ist so aufgebaut, dass die Szene in der ersten Spalte dargestellt ist, darauf folgend wird der Merkmalsvektor als Situationsbeschreibung gezeigt. In den beiden letzten Spalten werden die nach Prüfung der Voraussetzungen möglichen Operatoren aufgelistet, die bezüglich des gewählten Ziels in der letzten Spalte geordnet sind. Die vom Überwachungsautomaten ermittelten Handlungsalternativen werden mit den Aktionen des Fahrers verglichen. Der Operator der ausgeführten Aktion ist umrandet dargestellt. Eine Fehlermeldung an den Fahrer

erfolgt, wenn aufgrund nicht gegebener Voraussetzungen ein nicht ausführbarer Operator oder ein nicht dem Ziel entsprechender Operator gewählt wird. In der ersten Szene sind drei Basisoperatoren anwendbar, wobei Blinken links aufgrund der Zielvorgabe mit der höchsten Priorität belegt wird. Im Folgenden wird durch das Ausscheren nach links, Blinker zurücksetzen und Beschleunigen bzw. Fahren der Überholvorgang ausgeführt. In der letzten Szene kann nur der Operator Fahren und nicht mehr der Operator Beschleunigen angewendet werden, da das Merkmal *Beschleunigung möglich* aufgrund der Geschwindigkeitsbegrenzung den Parameter [nein] erhält. Wird die Zielvorgabe durch den Fahrer geändert, ändert sich die Reihenfolge der Operatorenliste in der letzten Spalte.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Überwachungsautomat für Fahrzeuge im Straßenverkehr auf Basis eines Situations-Operator-Modells konzipiert und entwickelt, dieses Konzept wird am Beispiel des Überholvorgangs detailliert. Ein Vorteil dieses Konzeptes ist die einheitliche und durch mehrere Abstraktionsebenen übersichtliche Formulierung eines Automaten. Damit ist auch die Erweiterbarkeit dieses Überwachungsautomaten auf andere Aspekte der Fahrzeugführung gewährleistet bzw. allgemein auf die menschliche Bedienung technischer Systeme. Dies führt bei einer vollständigen Implementierung eines Überwachungsautomaten zu einem Automaten, der selbstständig die Fahrzeugführung übernehmen könnte und bringt damit die Realisierung des teilautonomen bzw. autonomen Fahrens ein Stück näher. Des Weiteren kann der Lernprozess mit dem SOM modelliert werden [Söf2003] und die Interaktion verschiedenster autonomer Systeme mit der Umgebung beschreiben. Ein lernfähiges System basierend auf der SOM-Beschreibungstechnik kann flexibel auf seine unbekannte oder veränderliche Umgebung reagieren [AhlSöf2005b]. Die Weiterentwicklung des Konzepts geht in zwei Richtungen. Zum einen soll der Automat zur Überwachung von anderen Handlungen erweitert werden und zum anderen soll dieser in einer simulierten Umgebung und dann an einem realen System getestet werden.

6 Literatur

- [AhlSöf2005a] Ahle, E., Söffker, D.: Entwurf eines Überwachungsautomaten für Überholvorgänge von Kraftfahrzeugen. Proc. GMA-Kongress 2005 – Automatisierung als interdisziplinäre Herausforderung, 53-60, Baden-Baden, 2005.
- [AhlSöf2005b] Ahle, E. and D. Söffker. A Concept for a Cognitive-Oriented Approach to Build Autonomous Systems. Proc. IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2929-2935, Big Island, Hawaii, 2005.

- [Ahlsöf2004] Ahle, E., Söffker, D.: Modeling the Decision Process of the Lane-Change Maneuver Using a Situation-Operator-Model. Proc. IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, Seiten 1106-1110, Singapore, 2004.
- [Blö2005] Blötz, N.: Konzeption eines Überwachungsautomaten für Überholvorgänge im Straßenverkehr. unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik, 2005.
- [Dör1989] Dörner, D.: Die Logik des Misslingens. Verlag Rowohlt, Reinbek, 1989.
- [Fia1966] Fiala, E.: Lenken von Kraftfahrzeugen als kybernetische Aufgabe, Automobil technische Zeitschrift. Jahrgang 68, Seiten 156-162, 1966.
- [Fre2004] Freymann, R.: Möglichkeiten und Grenzen von Fahrerassistenz- und aktiven Sicherheitssystemen. Proc. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme, München, 2004.
- [GibCro1938] Gibson, J. J.; Crooks, L. E.: A Theoretical Field Analysis of Automobile Driving. The American Journal of Psychology, No. 3, Seite 453-471, 1938.
- [May2001] Mayr, R.: Regelungsstrategien für die automatische Fahrzeugführung: Längs- und Querregelung, Spurwechsel- und Überholmanöver. Berlin, Springer-Verlag, 2001.
- [McC1963] McCarthy, J.: Situations, actions, and causal laws. Memo 2, Stanford University Artificial Intelligence Project, Stanford, CA, 1963.
- [Naa2000] Naab, K.: Automatisierung bei der Fahrzeugführung im Straßenverkehr. at - Automatisierungstechnik, Jahrgang 48, Seiten 211-223, 2000.
- [Söf2004] Söffker, D.: System-theoretic Understanding of MMI – Part II: Concepts for Supervision. Proc. IFAC Symposium Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems, Atlanta, 2004.
- [Söf2003] Söffker, D.: Systemtheoretische Modellbildung der wissensgeleiteten Mensch-Maschine-Interaktion. Habilitationsschrift Bergische Universität Wuppertal, 2001, Logos Wissenschaftsverlag, Berlin, 2003.