

Methoden und Werkzeuge zur agentenbasierten Diagnose von Feldbusnetzen

Hans Endl
Softing AG

Richard-Reitzner-Allee 6
85540 Haar

Christian Frey
Fraunhofer Institut
für Informations- und Datenverarbeitung
Fraunhoferstr. 1
76131 Karlsruhe

Kurzfassung

Die Verbreitung von Feldbussen in der Automatisierungstechnik, die damit einhergehende Dezentralisierung von Intelligenz in der Automatisierungsanlage und der Ersatz von Mechanik durch Software-basierte Mechatronik stellen die Anlagenbetreiber und vor allem das Inbetriebnahme- und Wartungspersonal vor große Herausforderungen.

Inbetriebnahme, Funktionsüberprüfung, Fehlersuche und das frühzeitige Erkennen von drohenden Ausfällen sind mit herkömmlichen Mitteln nicht möglich. Der Feldbus bildet das Rückgrat eines verteilten Automatisierungssystems und damit den idealen Zugangspunkt für eine Diagnose des Gesamtzustands des Systems.

In dem hier skizzierten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wird ein Diagnoseverfahren für Feldbus-basierte Automatisierungsanlagen entwickelt, welches eine anwendungsorientierte Diagnose der in solchen Anlagen eingesetzten verteilten und echtzeitfähigen Software-Komponenten ermöglicht. Der Lösungsansatz beruht im Wesentlichen darauf, agentenbasierte Diagnosefunktionen in den Automatisierungsprozess zu integrieren, so dass prozessbegleitend eine kontinuierliche Online-Analyse mit Zustandsbeobachtung und Informationsverdichtung erfolgen kann. Dies ermöglicht wiederum eine anwendungsorientierte Darstellung des Anlagenzustands und eröffnet neue Wartungskonzepte durch Ferndiagnose über Intranet und Internet.

1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Seit etwa 10 bis 15 Jahren dringen Feldbusse in alle Bereiche der Automatisierungstechnik vor. Dies ermöglicht den Übergang von zentralen zu verteilten Automatisierungsarchitekturen. Einfache Ein-/Ausgabegeräte, Aktoren und Sensoren mit analogen Spannungs- oder Stromsignalen, die jeweils einzeln an die zentralen Steuerungen angeschlossen waren, werden durch intelligente Geräte ersetzt, welche über ein digitales Kommunikationssystem (Feldbus) miteinander kommunizieren.

Dieser Technologiewandel in der Automatisierungstechnik stellt die Anlagenbetreiber und vor allem das Inbetriebnahme- und Wartungspersonal vor große Herausforderungen: Funktionen, die bisher durch Mechanik oder Elektromechanik erbracht wurden, werden durch Software-basierte

mechatronische Systeme realisiert. Bisher sichtbare und nachvollziehbare Funktionalität wird nun durch Software und digitale Kommunikationssysteme realisiert. Informationen, die bisher als analoges elektrisches Signal übertragen wurden und mit einem Voltmeter einfach zu prüfen waren, werden als digitale Telegramme in schnellen Datennetzen übermittelt.

Die Überprüfung der Korrektheit einer Anlage, die Fehlersuche und vor allem das frühzeitige Erkennen von drohenden Ausfällen ist mit herkömmlichen Mitteln nicht mehr möglich, und die in der Elektronik- und Software-Entwicklung gebräuchlichen Diagnosekonzepte sind für das Bedien- und Wartungspersonal von Automatisierungsanlagen nicht anwendbar. Die Diagnose der durch Software erbrachten Gerätefunktion ist in der Anlage nur über die Kommunikationsschnittstelle möglich. Der Feldbus bildet das zentrale Nervensystem einer Automatisierungsanlage, und einfache, anwendungsorientierte Diagnosemöglichkeiten dieses Nervensystems sind von ausschlaggebender Bedeutung für die Sicherheit und Zuverlässigkeit der gesamten Automatisierungsanlage.

Durch die Dezentralisierung der Intelligenz und durch den Ersatz von Mechanik durch programmierbare Mechatronik werden auch das Engineering und die Inbetriebnahme von Anlagen immer komplexer. Die Kosten hierfür übertreffen mittlerweile um ein Mehrfaches die reinen Hardwarekosten für die Komponenten. Hier eröffnen wirksame Diagnosekonzepte ein großes Potential zur Kostenersparnis.

In dem hier skizzierten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wird ein Diagnoseverfahren für Feldbus-basierte Automatisierungsanlagen entwickelt, welches eine anwendungsorientierte Diagnose der in solchen Anlagen eingesetzten verteilten und echtzeitfähigen Software-Komponenten ermöglicht.

1.2 Stand der Technik

Zur Inbetriebnahme und Wartung eines verteilten Automatisierungssystems sind geeignete Diagnosewerkzeuge unerlässlich. Die heute verfügbaren Diagnosewerkzeuge für Feldbusse arbeiten kommunikationsorientiert. Sie zeichnen den Datenverkehr auf und analysieren ihn auf den verschiedenen Ebenen des Kommunikationsprotokolls. Da die Diagnosewerkzeuge kein Wissen über den Kontext in den Geräten haben, ist eine weitergehende, anwendungsorientierte Analyse nicht möglich (d.h. den Diagnosewerkzeugen fehlen Informationen, welche in den Geräten vorhanden sind, aber am Bus nicht übertragen werden und deshalb für die Diagnose nicht genutzt werden können).

Diese Kommunikationsorientierung der Diagnosewerkzeuge ist auch durch die Art ihres Einsatzes bedingt. Sie werden (ähnlich wie Oszilloskope oder Logikanalysatoren bei der Hardware-Entwicklung) nur im Bedarfsfall zur Fehlerdiagnose an das Feldbussystem angeschlossen. Zusätzliche Informationen, die zur anwendungsbezogenen Interpretation der Messdaten notwendig sind, stehen nicht zur Verfügung, weil sie nicht auf dem Feldbus übertragen werden. Der Benutzer des Diagnosewerkzeugs muss sich diese Zusatzinformationen auf anderem Weg (z. B. über die Anlagendokumentation) beschaffen und sie bei der Beurteilung der Messergebnisse berücksichtigen. Darüber hinaus muss er die verwendeten Kommunikationsprotokolle sehr gut kennen. Es ist also zur Interpretation der Messergebnisse ein umfangreiches Expertenwissen erforderlich. Die Diagnosewerkzeuge werden somit nur im Fehlerfall von Experten benutzt und nicht präventiv eingesetzt. Sie verkürzen also lediglich die Stillstandszeit einer Anlage im Fehlerfall, weil ohne sie die Fehleranalyse viel aufwändiger oder gar nicht möglich wäre.

Moderne Engineering-Systeme, mit denen die Programmierung und Parametrierung der Automatisierungskomponenten vorgenommen wird, werden mehr und mehr mit zusätzlichen Funktionen

zur Verwaltung und vorbeugenden Wartung ausgestattet, welche unter dem Begriff „Asset Management“ zusammengefasst werden. Allerdings können diese Systeme aufgrund ihrer Funktionsweise nur ansatzweise zur Diagnose automatisierungstechnischer Prozesse verwendet werden.

Ziel des Forschungsprojekts ist, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, mit denen eine kontinuierliche, prozessbegleitende Diagnose möglich ist. Besonderer Wert wird dabei darauf gelegt, dass

- die Funktionalität auf einfache Art überprüft werden kann,
- kein Expertenwissen über das Kommunikationsprotokoll nötig ist,
- Fehler schnell analysiert und lokalisiert werden können,
- verdeckte Fehler und Störungen frühzeitig erkannt werden,
- Ferndiagnose und Fernwartung möglich ist.

2. Lösungsansatz

In dem hier vorgestellten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wird ein Diagnoseverfahren für Feldbus-basierte Automatisierungsanlagen entwickelt, das die oben genannten Anforderungen erfüllt und auf folgenden innovativen Ansätzen beruht:

- Stationärer Diagnose als integrale, fest installierte Komponente des Automatisierungsprozesses
- Kontinuierlicher Online-Analyse mit Zustandsbeobachtung und Informationsverdichtung
- Anwendungsorientierter Darstellung des Anlagenzustands
- Neuen Wartungskonzepten durch Ferndiagnose über Intranet und Internet

Der Lösungsansatz basiert darauf, agentenbasierte, prozessbegleitende Analyse mit intelligenten, anwendungsorientierten Diagnoseverfahren zu kombinieren. Die einzelnen Komponenten dieser Lösung werden nachfolgend genauer beschrieben.

2.1 Fest installierte Diagnosekomponenten

Die heute eingesetzten mobilen Feldbusanalysatoren dienen der Fehleranalyse, nachdem eine Störung oder ein Ausfall der Anlage aufgetreten ist. Bei dem hier vorgeschlagenen Ansatz werden die für die Diagnose notwendigen Hardware- und Software-Komponenten fest in die Topologie der Automatisierungsanlage integriert. Sie können dabei in spezifischen Diagnosekomponenten oder als Zusatzfunktionen in bereits heute vorhandenen Geräten wie Steuerungen oder Komponenten der Kommunikationsinfrastruktur realisiert werden. Dies bringt eine Reihe von Vorteilen:

- Die Verkabelung der Anlage muss nicht zum Anschluss eines Diagnosewerkzeugs aufgetrennt oder verändert werden, was unerwünschte Seiteneffekte haben würde. Häufig ist der Zugriff mit portablen Diagnosewerkzeugen nur sehr schwierig oder gar nicht möglich, weil die Anlage unzugänglich ist oder in explosionsgefährdeter Umgebung der Betrieb eines mobilen PC nicht gestattet ist.

- Die Wahrscheinlichkeit, sporadische Fehler, die nur alle paar Wochen oder Monate auftreten, beobachten zu können, ist bei stationärer Diagnose wesentlich höher.
- Und schließlich eröffnet sich die Möglichkeit präventiver Wartung durch frühzeitige Erkennung von Fehlerrends. Fehler, die zunächst nur sehr selten auftreten und durch die Robustheit des Kommunikationsprotokolls abgefangen werden, werden erkannt, bevor sie die Automatisierungsfunktionen beeinflussen können. Durch präventive Maßnahmen, wie beispielsweise dem Tausch der betroffenen Komponenten während einer geplanten Stillstandszeit der Anlage, können fehlerbedingte Ausfallzeiten minimiert werden und die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöht sich.

Zur Integration der vorgeschlagenen Funktionalität des Diagnosekonzeptes in feldbusbasierte Anlagen wurde die in Bild 1 dargestellte Struktur festgelegt. Die zu realisierende Diagnosefunktionalität innerhalb des Feldbusnetzes verteilt sich topologisch auf folgende Komponenten:

- einen oder mehrere Diagnoseagenten im verteilten Automatisierungssystem,
- den Diagnosemanager,
- eine web-basierte Benutzerschnittstelle in Gestalt eines Standard-Browsers.

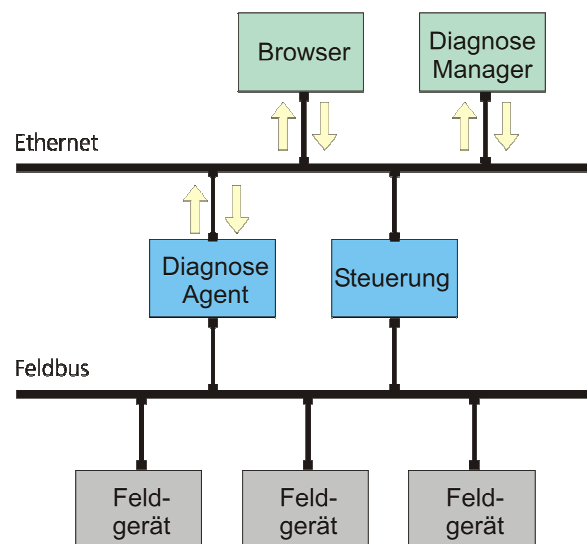


Bild 1: Automatisierungsanlage mit fest installierten Diagnosekomponenten

2.2 Permanente prozessbegleitende Analyse

Wie im vorangegangenen Abschnitt erläutert, ermöglichen fest integrierte Diagnosekomponenten eine permanente Beobachtung des Automatisierungsprozesses. Dies erfordert aber eine ebenso kontinuierliche Analyse und Verdichtung der gewonnenen Informationen, da sonst die generierte Datenmenge nicht mehr handhabbar wäre. Aus diesen Voraussetzungen resultieren sehr hohe Anforderungen an die Struktur eines adäquaten Diagnosekonzeptes für feldbusbasierte Automatisierungsanlagen.



Bild 2: Technische Diagnose als zweistufiger logischer Entscheidungsprozess

Im Allgemeinen kann die Diagnose technischer Systeme als zweistufiger hierarchischer Prozess aufgefasst werden (vgl. Bild 2), bei welchem in der ersten Stufe aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Information relevante aussagekräftige Merkmale generiert werden. Der zweite Schritt des Diagnoseprozesses, die Merkmalauswertung, stellt einen logischen Entscheidungsprozess dar, in dem das komprimierte quantitative Wissen in Form der Merkmale in qualitatives Wissen, d.h. Diagnoseergebnisse, transformiert wird [1].

Übertragen auf die Problemstellung der Diagnose von feldbusbasierten Automatisierungsanlagen bedeutet dies, aus dem Datenstrom durch geeignete Beschreibungsverfahren die relevanten Prozessgrößen (z.B. Sollzustände, gültige Bereiche von Sensorsignalen) zur Merkmalgenerierung herauszufiltern und diese dann der Merkmalauswertung zuzuführen, damit fehlerbedingte Abweichungen sicher erkannt werden.

Insbesondere das „Herausfiltern“ der diagnoserelevanten Information aus dem großen Datenstrom des Feldbusses stellt höchste Anforderungen an die Effizienz und Intelligenz der verwendeten Merkmalgenerierungskonzepte. Verdeutlicht wird diese Problematik anhand folgender Überlegung:

- Mögliche zu diagnostizierende Fehler von Automatisierungsanlagen können sich z.B. durch den Ausfall eines einzelnen Sensors ergeben. Solche Fehler können in der Regel recht einfach anhand einer Plausibilitätsüberprüfung des übertragenen Messwerts erkannt werden. Dazu muss aber der Kommunikationskontext, also die diesen Messwert identifizierende Kommunikationsadresse bekannt sein, welche nicht mit dem anwendungsbezogenen Namen des Prozesswerts identisch ist.
- In komplexen Automatisierungsanlagen (z.B. verfahrenstechnischen Prozesse [2]) sind fehlerhafte Betriebszustände in der Regel nur durch die Verknüpfung vieler unterschiedlicher Sensorinformationen zu erkennen. Das "Wissen" um die Systemintegration ist nicht in den Einzelkomponenten selbst verankert, sondern nach außen verlegt.
- Neben der unterschiedlichen Typisierung der Information (z.B. fehlerhafte Sensordaten, funktionsgestörte Aktuatoren, unlogische Benutzereingaben) existiert zusätzlich die Problematik des zeitlichen Auftretens der zu erfassenden relevanten Information in der Anlage. So ist es z.B. möglich, dass Anlagenfehler nur durch Einbezug von bereits zeitlich weit zurückliegender Information in Kombination mit aktuellen Messwerten sicher erkannt werden können.

Aus diesen Vorüberlegungen ergeben sich bezüglich Flexibilität und Effizienz strenge Anforderungen an das zu entwickelnde Diagnosekonzept. Insbesondere die Interaktion der automatisierten permanenten Diagnose sowie die Systemintegration dieses Konzeptes fordern hier einen Paradigmenwechsel der Softwarearchitektur. Besonders interessant scheint hier der Ansatz der Softwareagenten.

Softwareagenten sind relativ kleine, weitgehend unabhängige Systeme, die im Interesse des Benutzers nach vorgegebenen Regeln zielgerichtet tätig werden. Als Anwendungsbeispiel seien hier bereits existierende agentenbasierte Suchmechanismen in großen Datenbanken (z.B. Internet) erwähnt. Auf der Basis von Regeln, welche durch einen Benutzer vorgegeben werden, sammeln diese Suchagenten Informationen z.B. über Webseiten und deren Inhalte [3].

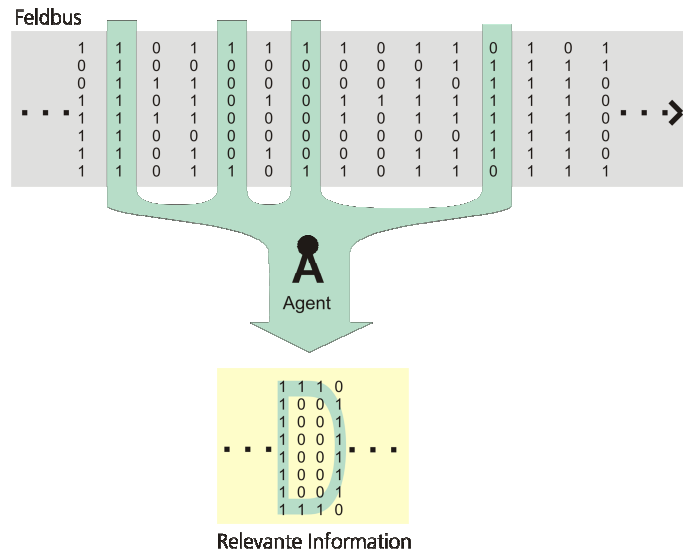


Bild 3: Agentenbasierte Filterung der diagnoserelevanten Information

Eine ähnliche Problematik liegt im Fall der Filterung diagnoserelevanter Information aus dem Datenstrom des Feldbusses vor. Die Aufgabe des zu entwickelnden Softwareagenten ist es, basierend auf einem Satz von Regeln die relevante Systeminformation der Automatisierungsanlage zu extrahieren, um diese dann zur weiteren Verarbeitung der Merkmalgenerierungsstufe des Diagnosesystems zuzuführen (vgl. Bild 3). Bei der Entwicklung des Diagnoseagenten werden folgende Schwerpunkte gesetzt:

- Basierend auf der Theorie der Softwareagenten soll der Diagnoseagent selbsttätig, weitgehend autonom und auf Basis von Regeln die für den Diagnoseprozess relevante Information aus dem Datenstrom des Feldbusses herausfiltern.
- Die Regelbasis des Softwareagenten soll in Form von linguistischen Regeln jederzeit durch den Anlagenbetreiber bzw. Entwickler ablesbar sein, d.h. ein Black-Box-Verhalten soll vermieden werden. Hier können aufgrund ihrer Flexibilität insbesondere Fuzzy-Logik Methoden Verwendung finden.

Wie bereits angedeutet ist die Funktionsweise des Diagnoseagenten in entscheidender Weise von seinem Wissen über die komplexen Zusammenhänge in der Automatisierungsanlage abhängig. Dieses Wissen liegt zum einen in Form von Expertenwissen der Betreiber in linguistischer Form, zum anderen als während des Engineering-Prozesses entstandene Datenbasis vor. Ersteres formuliert ein erfahrener Operator einer Produktionsanlage als „wenn ... dann...“ Regeln. Bei der Auswahl geeigneter Verfahren zur mathematischen Erfassung und Beschreibung solcher unscharfer Regeln kommen neben rein kombinatorischen Ansätzen in zunehmendem Maße Verfahren aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz wie z.B. Neuronale Netze und Fuzzy-Logik zur Anwendung [4].

Insbesondere die Fuzzy-Logik bietet hier wesentliche Vorteile. Im Gegensatz zu rein kombinatorischen Verfahren wird bei der Auswertung solcher Regeln und der damit verbundenen Entschei-

dungsfindung nicht mehr strikt auf ein Ergebnis geschlossen („harte Klassifikation“), sondern durch Einführung so genannter Zugehörigkeitsfunktionen werden sich überlappende Ergebnisräume geschaffen („weiche Klassifikation“). Der Entscheidungsprozess in der Fuzzy-Logik kommt der vielschichtigen menschlichen Entscheidungsfindung sehr nahe und eignet sich insbesondere zur Erfassung menschlichen Expertenwissens. Bei dem Entwurf solcher Fuzzy-Logik Systeme können die Lerneigenschaften künstlicher Neuronaler Netze genutzt werden. So genannte Neuro-Fuzzy-Systeme stellen eine Erweiterung klassischer Neuronaler Netze dar, wobei ihre Grundstruktur der eines Fuzzy-Logik-Systems entspricht und somit die oben genannten Vorteile einschließt. Im Gegensatz zu klassischen Neuronalen Netzen zeichnen sich solche Neuro-Fuzzy-Ansätze insbesondere durch die Interpretierbarkeit des erlernten Wissens in Form von linguistischen Regeln (*wenn...dann...* Regeln) aus. Bild 4 zeigt als Beispiel die Struktur des NEFCLASS-Ansatzes [5].

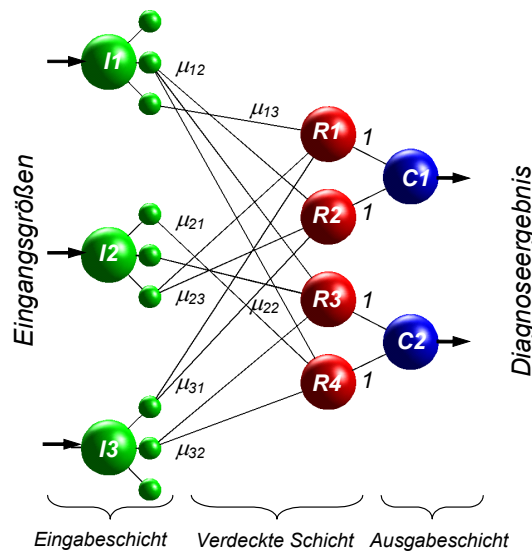


Bild 4: Hybrides dreischichtiges Neuro-Fuzzy-Modell NEFCLASS

Wie bereits erläutert ist die Funktionsweise des Diagnosekonzeptes in entscheidender Weise von der Erfassung der relevanten Information aus dem Datenstrom des Feldbusses abhängig. Wie vorgeschlagen soll dies durch den Softwareagenten regelbasiert vorgenommen werden. Hier stellt sich nun die Problematik der Erzeugung einer solchen Regelbasis. Eine solche Regelbasis kann zum einen manuell durch den Benutzer erzeugt werden, wobei aufgrund der Komplexität heutiger Automatisierungsanlagen dies nur sehr schwierig bzw. mit sehr großem Aufwand möglich ist. Gewünscht sind hier also Ansätze, welche auf Basis von Beispielen automatisch solche Regelsätze „erlernen“ können. Ziel des vorgeschlagenen Forschungsprojektes ist es deshalb, geeignete Neuro-Fuzzy-Ansätze zur automatischen Regelerzeugung für den Diagnoseagenten heranzuziehen. Das als Diagnosemanager bezeichnete Softwaremodul dient als Entwurfstool zur Generierung bzw. Kompilierung des regelbasierten Diagnoseagenten, wobei folgende Entwicklungsziele im Vordergrund stehen:

- Kommunikationsbeziehungen zwischen den verteilten Software- bzw. Gerätekomponenten der feldbusbasierten Automatisierungsanlagen sollen auf Basis vorhandener Anlagenbeschreibungen (Engineeringdaten) automatisch erfasst und in Form einer rudimentären Regelbasis abgelegt werden. Dieses Wissen wird zur Identifikation und Filterung der zu diagnostizierenden Daten benötigt.

- Übergeordnetes implizites Wissen, wie z.B. die Bewertung von Prozessvariablen im Kontext mit ihren physikalischen Zusammenhängen, soll ebenfalls in einer Regelbasis abgelegt werden. Hier sind vor allem geeignete Lernalgorithmen für Neuro-Fuzzy-Systeme zu entwickeln, welche physikalische wie auch semantische Zusammenhänge der technischen Anlagen automatisch erfassen und in Form von interpretierbaren Regeln zu Verfügung stellen.
- Expertenwissen des Entwicklers bzw. des Betreibers der Anlage muss in das System einfach integrierbar sein, und soll in einer entsprechenden Regelbasis abgelegt werden.

3 Projektstatus

Zu Beginn des Projekts wurde die Funktionalität des Diagnosekonzeptes mit den Anforderungen der Anwender abgeglichen. Dazu wurden typische, aus der Praxis bekannte Fehlersituationen in Feldbusnetzen erfasst und daraufhin analysiert, welche Informationen die Anwender für eine schnelle Fehlerbehebung benötigen.

In einem nächsten Schritt wurde für die am häufigsten in der Fertigungs- und Prozessautomatisierung eingesetzten Feldbusprotokolle (PROFIBUS, FOUNDATION Fieldbus) untersucht, welche internen Gerätezustände im Sinne einer Zustandsbeobachtung indirekt aus der beobachteten Kommunikation gewonnen werden können und wie diese Zustandsinformation verdichtet dargestellt werden kann. Anhand der hierbei erhaltenen Ergebnisse wurde die Software-Schnittstelle zwischen der Rohdatengewinnung und der agentenbasierten Zustandsanalyse definiert und prototypisch implementiert, um eine erste Evaluierung des Konzeptes durchführen zu können.

Parallel zu diesen Arbeiten wurde die Architektur des Diagnoseprozesses festgelegt. Die entwickelte hierarchische Struktur des Konzeptes basiert auf der Idee, die Gesamtdiagnoseaufgabe innerhalb der Anlage in überschaubare Teilaufgaben zu zerlegen. Die so gewonnenen rudimentären Diagnoseergebnisse werden in den darauf folgenden Hierarchieebenen des Konzeptes durch Fusionsprozesse zusammengefügt, um in der obersten Ebene ein umfassendes Gesamtdiagnoseergebnis über den Prozess zu erhalten. Im Fehlerfalle ist es dadurch möglich, dem Anwender ein strukturiertes Diagnoseergebnis durch die verschiedenen Hierarchieebenen der Anlage zu geben und dadurch eine effektive Fehlerlokalisierung zu ermöglichen.

4. Ausblick

Als nächste Schritte im Projektverlauf stehen als große Aufgabenpakete die Implementierungen der Diagnoseagenten und des Diagnosemanagers an. Parallel dazu werden Demoanlagen aufgebaut, an denen die Projektergebnisse evaluiert und verifiziert werden können.

Weiterhin findet projektbegleitend ein laufender Abgleich der Projektergebnisse mit den technologischen Entwicklungen im Feldbusbereich statt, um eine zügige Umsetzung der im Projekt erarbeiteten Konzepte und Technologien in konkrete Produkte zu gewährleisten.

- [1] *P. M. Frank*: Diagnoseverfahren in der Automatisierungstechnik. In: at-Automatisierungstechnik 42 (1994) Nr. 2, S. 47-64.
- [2] *C. W. Frey, H.-B. Kuntze*: A neuro-fuzzy supervisory control system for industrial batch processes. In: IEEE Transactions on Fuzzy Systems 9 (2001), 4, S. 570-577
- [3] *C. Le Pape*: "A Combination of Centralized and Distributed Methods for Multi-Agent Planning and Scheduling". ICRA IEEE International Conference of Robotics and Automation, 1990, pp. 488-493
- [4] *R. Isermann (Hrsg.)*: Überwachung und Fehlerdiagnose, VDI Verlag, Düsseldorf 1994.
- [5] *D. Nauck, F. Klawonn, R. Kruse*: Neuronale Netze und Fuzzy Systeme, Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 1994