

# **„Intelligente“ Diagnosesysteme im Serviceeinsatz – Gestaltungskriterien und Grenzen automatisierter Diagnosemechanismen**

## *“Intelligent” Diagnostic Systems in Service – Design Criteria and Limits of Automated Diagnosis Mechanisms*

Prof. Dr. Matthias **Becker**

Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), Universität Flensburg

### **Zusammenfassung**

Moderne Fahrzeuge weisen durch ihre Funktionsvielfalt und den Einsatz vernetzter mechatronischer Systeme eine enorme Komplexität auf. Für die Diagnose von Fehlfunktionen werden daher verstärkt Mechanismen der Künstlichen Intelligenz (KI) eingesetzt, um Diagnoseprozesse zu automatisieren. „Immobilen Roboter“ oder kurz „Immobots“ führen die integrierte Diagnose im Fahrzeug durch und Expertensysteme bestimmen den Ablauf der Diagnose in der Werkstatt. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Praxistauglichkeit solcher Mechanismen und stellt den Entwicklungsansätzen und Realisierungen aus Informatik und Ingenieurwissenschaft empirische Ergebnisse zur Nutzung und Effizienz der resultierenden Diagnoseprozesse aus Kfz-Werkstätten gegenüber.

### **Summary**

Due to their variety of functions and the application of networked mechatronic systems, modern vehicles show a vast complexity. The trouble shooting for malfunctions therefore increasingly applies mechanisms of artificial intelligence (ai) for the automation of diagnostic processes. “Immobilen robots”, in short “Immobots”, carry out the integrative diagnosis processes in a vehicle and expert systems determine the diagnostic processes in the workshop. This article highlights the practical suitability of such mechanisms and compares development approaches and realisations in information and engineering sciences with empirical results on the use and the efficiency of resulting diagnostic processes in workshops.

### **1 Einführung: Die Herausforderung „Diagnose“**

Mehrere Einflussfaktoren sind Auslöser für die Einführung von Diagnosesystemen, die mit einer technischen Intelligenz ausgestattet sind. Neben der angestiegenen Komplexität moderner Fahrzeuge und dem damit verbundenen Wunsch, die Be-

herrscharkeit der Fahrzeugsysteme sicher zu stellen, sind die Reduzierung von Fehlersuchzeiten, die Bandende-Konfiguration (Flashen), die Fehlerbeseitigung, Optimierung und Funktionserweiterung durch Softwareupdates Zielformulierungen, die sich aus konstruktivistischer und ingenieurwissenschaftlicher Perspektive nur mit rechnergestützten Diagnosesystemen realisieren lassen. Hinzu kommen Anforderungen der gesetzgebenden Institutionen wie die Europäische On-Board-Diagnose (E-OBD) und die Hoffnung, unterschiedliche Qualifikationsniveaus der Mitarbeiter in den Ländern dieser Welt durch programmgesteuerte Benutzerführungen ausgleichen zu können.

Für die Diagnose nur ingenieurwissenschaftliche, die Entwicklung, Konstruktion und das Servicegeschäft als Marktsegment betreffende Sichtweisen zuzulassen, grenzt allerdings eine ganz entscheidende Anforderung aus: Die Arbeit an komplexen Fahrzeugsystemen *durch* Facharbeiter in den Werkstätten muss beherrschbar bleiben, nicht nur die Entwicklung, Konstruktion und Fertigung der Fahrzeuge. Die Qualität der Werkstattarbeit ist durch die derzeitigen Entwicklungstendenzen hinsichtlich des Umgangs mit der Diagnose stark gefährdet /1/. Diesbezügliche Auswirkungen, Ursachen und Hintergründe werden in diesem Beitrag näher beleuchtet.

Historisch betrachtet hat sich die Diagnose in der Fahrzeugtechnik erst in den letzten zwanzig Jahren zu einem Fachgebiet für die Ingenieurwissenschaft und neuerdings für die Informatik entwickelt. Auch wenn schon immer die Kundendienstabteilungen Fehlersuchanleitungen für Fahrzeuge entwickelten, war es letztendlich Aufgabe der Facharbeiter in den Werkstätten, Fehler zu identifizieren und zu beseitigen. Praktiker führten die Diagnose durch und entwickelten auch die Fehlersuchstrategien. Seit dem die Fahrzeugsteuergeräte diagnosefähig sind, wird die Diagnose nun allerdings konstruktiv bedacht: Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen (FMEA) als Teil von Qualitätsmanagementmaßnahmen, der Entwurf von Diagnosestrategien als Entwicklungsaufgabe und sogar die Berücksichtigung der Diagnose im Produktdatenmanagement /2/ hielten Einzug. Inzwischen sind Diagnosestandards zum Megathema geworden und der Arbeitskreis zur Standardisierung von Automatisierungs- und Meßsystemen wie auch die ISO widmen sich den Möglichkeiten der Vereinheitlichung von Schnittstellen und Datenaustauschformaten für Measurement, Calibration und Diagnostics (ASAM-MCD, siehe /3/). Die Eigendynamik ist immens, mit der die Diagnose so zum festen Bestandteil konstruktiver Überlegungen wird. Die Fahrzeugdiagnose in der Reparaturwerkstatt avanciert zum Endabnehmer ohne Mitgestaltungsmöglichkeit auf die zugrunde liegende Prozesskette. Trotz Standardisierung ist die Zugänglichkeit zu den Diagnoseinformationen in den Steuergeräten für Werkstattmitarbeiter sehr beschränkt und hängt stark von den Diagnosesystemen ab, die der Fahrzeughersteller zur Verfügung stellt oder die auf dem Markt verfügbar sind.

Die Anzahl der Diagnosegeräte, die benötigt werden, um mit gleich bleibender Diagnostiefe Zugang zu den Fahrzeugsystemen im Service zu erhalten, ist im Zuge dieser Entwicklungen stark angestiegen. Reichte bis Mitte der 1980er Jahre noch ein „Universaltester“, waren Mitte der 1990er-Jahre bereits 10 Geräte für eine Marktabdeckung von 95% erforderlich, obwohl diese bereits mehrere Testgeräte in sich ver-

einten. Heute hat sich das Bild dahingehend verschoben, dass zwar prinzipiell ein Diagnosesystem ausreichend wäre (Hardwareanforderungen), aber hunderte unterschiedlicher Softwareversionen erforderlich sind, um alle Schnittstellen, Protokolle und Varianten mit gleicher Diagnosetiefe abdecken zu können (vgl. Abb. 1). Zudem sind die Diagnosesysteme nicht mehr herstellerübergreifend einsetzbar.

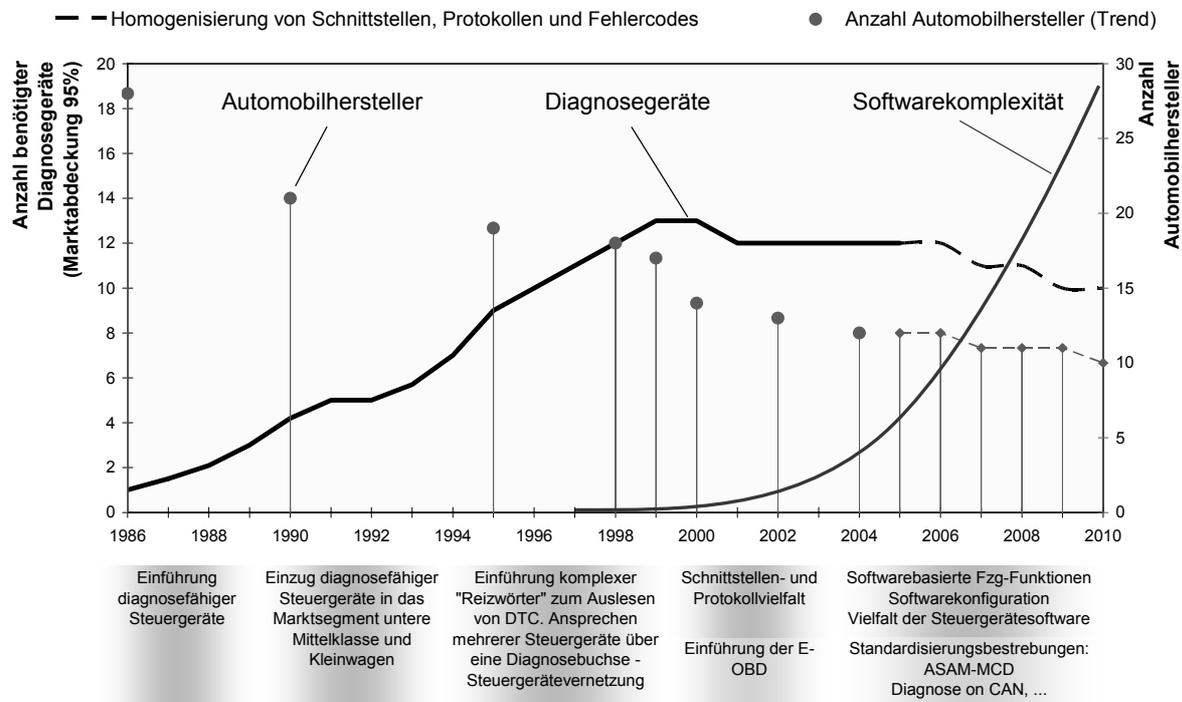


Abb. 1: Entwicklung der Komplexität und Vielfalt von Diagnosesystemen  
*development of complexity and variety of diagnostic systems*

Durch die Fahrzeugvernetzung potenziert sich die Anzahl möglicher Fehlerquellen und Fehlerabhängigkeiten auf teilweise Billionen theoretisch denkbarer Kombinationen, was dazu geführt hat, für die Auswertung der Steuergeräteinformationen und der Informationen über Fehlersymptome in den Diagnosesystemen Methoden der künstlichen Intelligenz heran zu ziehen. Zielsetzung: Automatisierung der Diagnose.

Es ließe sich nun fragen, *wie* die Automatisierung der Diagnose realisiert werden kann, woraufhin sich technische Lösungen darstellen ließen. Um Gestaltungskriterien für automatisierte Diagnoseabläufe erkennen und beschreiben zu können, ist allerdings eine ganzheitlichere Sichtweise erforderlich, die stets von dort aus einzunehmen ist, wo Diagnoseprozesse letztlich ablaufen: In der Kfz-Werkstatt. Dort zeigt sich, welche Effizienz automatisierte oder auch durch Programme gesteuerte Diagnoseabläufe entfalten. Es kommt daher darauf an, zu prüfen, an welchen Stellen eines Diagnoseprozesses welcher Ansatz sinnvoll ist und implementiert werden soll.

## 2 Wissensbasierte und modellbasierte Diagnosesysteme im Kfz-Service

„Wenn jedes Werkzeug auf Geheiß, oder auch vorausahnend, das ihm zukommende Werk verrichten könnte, wie des Dädalus Kunstwerke sich von selbst bewegten oder die Dreifüße des Hephästos aus eigenem Antrieb an die heilige Arbeit gingen, wenn so die Weberschiffe von selbst webten, so bedürfte es weder für den Werkmeister der Gehilfen noch für die Herren der Sklaven“ /4/.

Was dieser historische Hinweis auf die Automatisierung von Aristoteles deutlich macht, ist die Notwendigkeit des Vorhandenseins von Intelligenz für nicht eindeutig bzw. vollständig vorhersehbare Abläufe. Zudem ist die Ersetzbarkeit menschlicher Intelligenz durch maschinelle Intelligenz angesprochen, die sich als Erleichterung, aber ebenso als Verantwortungsberaubung bewerten lässt. Dieser Hinweis soll hier gegeben werden, um die gesellschaftspolitische Bedeutung von Entscheidungen für oder gegen eine Automatisierung hervorzuheben. Wo automatisiert wird, wird menschliche Kompetenz – gewollt oder ungewollt – überflüssig und steht dann längerfristig nicht mehr zur Verfügung. Dies wird auch als Automatisierungsdilemma bezeichnet. Wo Abläufe automatisiert werden, die sich nicht automatisieren lassen, entstehen suboptimale Problemlösungen und Kompetenzlücken, also Kompetenzanforderungen, die weder Mensch noch Maschine erfüllen. Zu erinnern ist in diesem Zusammenhang an die Erfahrungen mit der Automatisierung der Produktion in Halle 54 bei VW und mit dem Fachkräftemangel nach der Automatisierungswelle in der Werkzeugmaschinenindustrie.

Diese, für einen Beitrag zu einem Kolloquium der Fahrzeug- und Motorentechnik sicherlich unüblichen, philosophischen Vorbemerkungen sollen der Betrachtung von Diagnosesystemen im Kfz-Service bewusst vorangestellt werden. Denn wo es sich bei der Fahrzeugdiagnose nicht um manuell repetitive Tätigkeiten handelt und individualisierte Entscheidungen gefragt sind, sind automatisierte Abläufe Fehl am Platz.

In rechnergestützten Diagnosesystemen konkurrieren mehrere „intelligente“ Ansätze miteinander, die auch in Kombination in der Diagnosepraxis Verwendung finden:

- Konventionelle Diagnose: Diagnosesysteme werden als reine Mess- und Informationsbeschaffungssysteme verwendet. Diagnoseabläufe werden durch den Facharbeiter festgelegt, auf dessen Kompetenz und Erfahrung es entscheidend ankommt.
- Wissensbasierte Diagnose: Expertensysteme in den Diagnosesystemen führen den Facharbeiter bei der Diagnose (geführte Fehlersuche) oder ermitteln die Fehlerursache vollautomatisch mit Hilfe von Systeminformationen, die aus den Speichern der Steuergeräte gewonnen werden. Die Führung erfolgt auf der Basis von Entscheidungsbäumen, bekannter Regeln (Regelbasierte Diagnose) oder Fälle (Fallbasierte Diagnose).

- Modellbasierte Diagnose: Eigentlich ebenfalls zu den wissensbasierten Systemen gehörend, kennzeichnet dieser Ansatz Systeme, die mit einem mathematischen Modell über das Funktionieren von Fahrzeugsystemen arbeiten. Abweichungen zwischen Modellsimulation und realem Verhalten erlauben den Schluss auf Fehlerursachen, ohne dass zuvor für jede Fehlerabhängigkeit ein Programmablauf geschrieben werden muss.

Die Automatisierung der Diagnose verteilt sich zudem auf mehrere Orte:

- a) Fahrzeugsystem / On-Board-Diagnose (OBD),
- b) Diagnosesystem / Off-Board-Diagnose.

Das Grundprinzip für die Fahrzeugdiagnose mit intelligenten Diagnosesystemen gibt Abb. 2 wieder. Der Eingriff der KI in das Handlungssystem kann dabei an mehreren Stellen erfolgen: Beim Schritt von den Fehlersymptomen und der im Fahrzeug vorhandenen On-Board-Diagnoseinformationen auf die Auswahl eines geeigneten Prüfplanes (Klassifikationsstrategie), bei der Festlegung von Prüfreihefolgen und der Prüfung einzelner Komponenten sowie bei der Entscheidung zur Lösung des Diagnoseproblems. Bei jedem dieser Schritte stellt sich die Frage, welcher Teil des Diagnoseablaufs durch die Technik und welcher durch den Menschen übernommen werden soll. Die vollständige Übernahme aller drei Schritte durch die Technik kennzeichnet die vollständige Automatisierung der Diagnosearbeit, bei der Facharbeiter weder Verantwortung noch Autonomie im Diagnoseprozess besitzen.

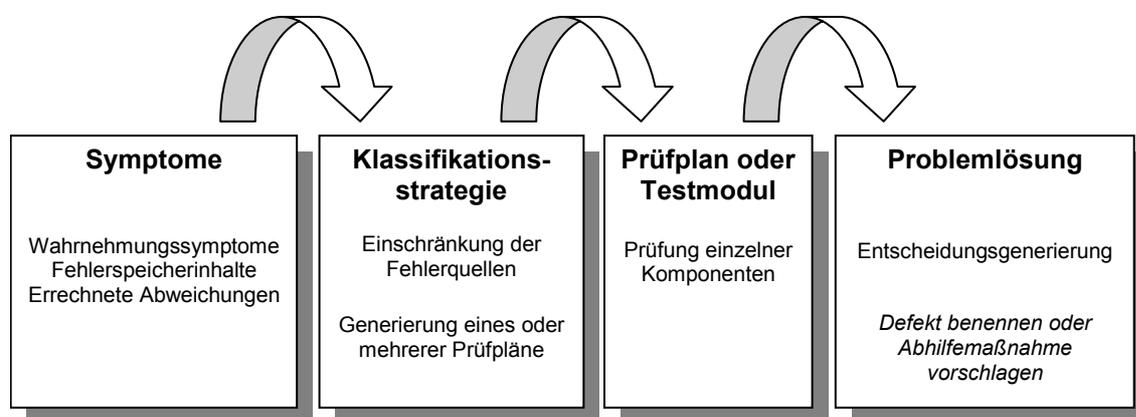


Abb. 2: Grundmuster für die Vorgehensweise bei der Diagnose mit intelligenten Diagnosesystemen  
*pattern for diagnostic procedures with intelligent diagnostic systems*

## 2.1 Wandel der Diagnosewerkzeuge

Die im Kfz-Service eingesetzten Werkzeuge für die Diagnose lassen sich nach dem Grad ihrer Softwaredurchsetzung (Informatisierung der Diagnose) und dem Grad der Automatisierung des Diagnoseablaufs charakterisieren (vgl. Abb. 3; /1, S. 164/). Auf Grund der wachsenden Probleme bei der Diagnose mit Expertensystemen geht die

Entwicklung derzeit in die Richtung der vollständigen Erfassung aller diagnoserelevanter Fahrzeugdaten im laufenden Betrieb (OBD) und automatisierter Auswertung dieser Daten mit Hilfe modellbasierter Diagnose-Wissensbasen.

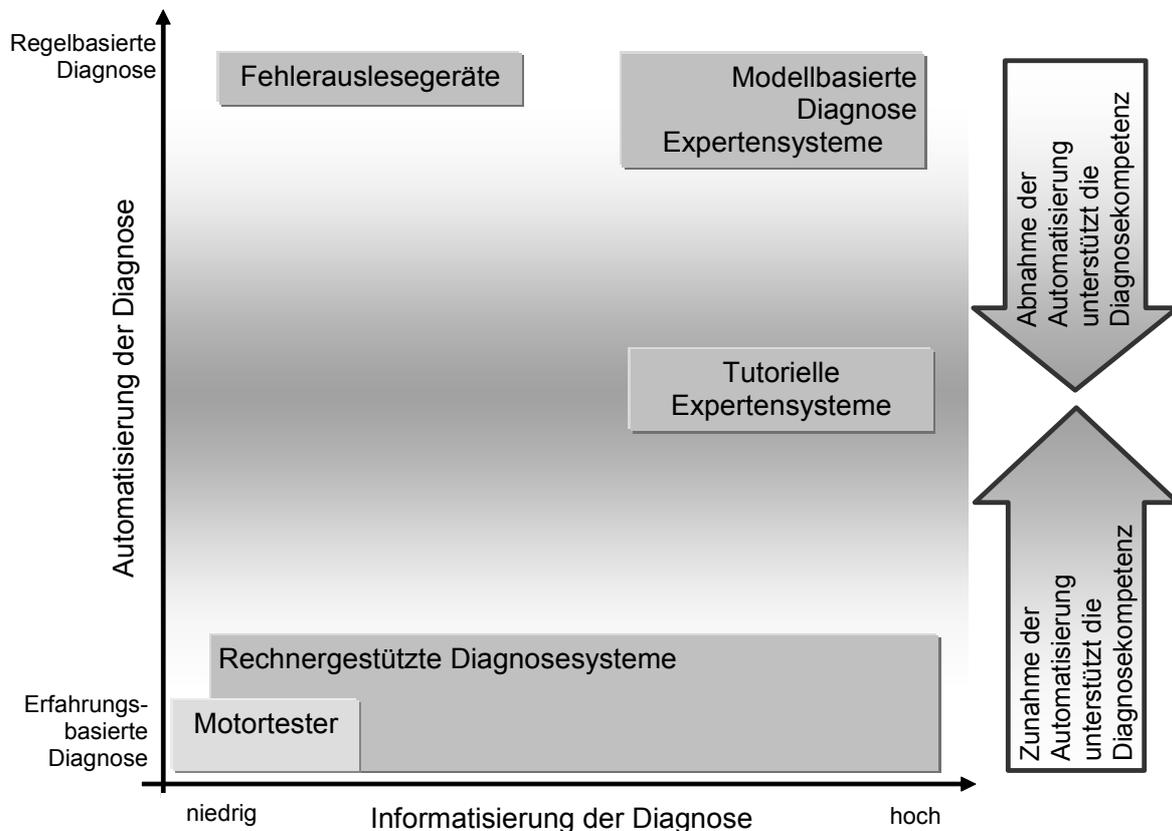


Abb. 3: Diagnosesysteme im Spannungsfeld von Informatisierung und Automatisierung  
*diagnostic systems in a contradictory context of informatization and automation*

### 2.1.1 Systeme für die konventionelle Diagnose

Der klassische Motortester besitzt nur Funktionalitäten eines Messinstruments. Mit ihm wird erfahrungsbasiert bei der Diagnose umgegangen. Für die Diagnose an modernen Fahrzeugen ist er allerdings kaum mehr einsetzbar und wird zunehmend bedeutungslos.

Rechnergestützte Diagnosesysteme basieren heute auf durch Software gesteuerte Messtechnik bis hin zur Möglichkeit der Ansteuerung von Aktuatoren und dem Auslesen und Anpassen von Steuergeräten. Die zur Verfügung gestellten Funktionen müssen durch den Facharbeiter für die Diagnose zielgerichtet genutzt werden, was erhebliche system- und diagnosebezogene Kompetenzanforderungen mit sich bringt.

Fehlerauslesegeräte haben demgegenüber nur eine niedrige Funktionalität, die sich im Wesentlichen auf das Auslesen von Fehlercodes aus Fahrzeugsteuergeräten be-

schränkt. Durch Verfahren der integrierten Diagnose wurden zuvor mutmaßliche Fehlerquellen im Fahrzeug automatisch ermittelt. Das Zustandekommen der Fehlercodes bleibt dem Facharbeiter in der Regel verborgen. Als „Generic Scantools“ haben sie sich mit den Funktionalitäten nach SAE J 1979 bzw. ISO/DIS 15031-5 durch die Einführung der E-OBD vor allem unter den markenunabhängigen Werkstätten etabliert.

### **2.1.2 Systeme für die wissensbasierte Diagnose**

Expertensysteme reizen alle Möglichkeiten aus, die ihnen durch die KI zur Verfügung gestellt werden. Zielsetzung ist es, die Entscheidungen im Diagnoseablauf zu automatisieren. Die meisten derzeit im Einsatz befindlichen Diagnosesysteme sind dieser Kategorie zuzuordnen. Dabei überwiegen derzeit noch Entscheidungsbäume und heuristische Verfahren für die Generierung von Prüfplänen, die Prüfung einzelner Komponenten sowie bei der Entscheidung für eine Abhilfemaßnahme (vgl. Abb. 2), die aber zusehends durch modellbasierte Ansätze abgelöst werden. Bei BMW und im Volkswagen Konzern wird für die wissensbasierte Diagnose SIDIS von Siemens eingesetzt und mit herstellerspezifischen Tools ergänzt.

### **2.1.3 Systeme für die modellbasierte Diagnose**

Simulationstechniken, die in der Entwicklung mit Werkzeugen wie Matlab/Simulink schon längere Zeit im Einsatz sind, werden verstärkt zur Modellbildung für die Diagnose herangezogen, so z.B. RAZ'R von OCC'M Software oder RODON von R.O.S.E. Informatik. Solche Systeme werden, wenn sie als OBD-Systeme ausgeführt sind, „immobile Roboter“ oder kurz „Immobots“ genannt /5/. Modellbasierte Diagnoseverfahren sind in mehreren Projekten wie VMBD (Vehicle Model Based Diagnosis), INDIA (Intelligente Diagnose in der Anwendung) und IDD (Integrated Design Process for onboard Diagnosis) in den letzten 10 Jahren für die Fahrzeugdiagnose entwickelt und erprobt worden und befinden sich im Pilotstadium bei den Automobilherstellern /6/ /7/ /8, S. 32/. Bei Mercedes-Benz wird in der E-Klasse und in den SL-Modellen bereits ein „Immobot“ eingesetzt (vgl. zu den Vorarbeiten /9/). Mit der modellbasierten Diagnose wird die Nachvollziehbarkeit der generierten Diagnoseergebnisse gegenüber konventionellen Expertensystemen nochmals erschwert. Daraus erwächst ein hoher Anspruch an die Zuverlässigkeit der Fehlerortung.

### **2.1.4 Telediagnose / Fahrzeug-Ferndiagnose**

Bei Peugeot und VW wird mit der Telediagnose ein Weg beschritten, der auf die Unterstützung des Diagnoseprozesses in der Werkstatt durch den Hersteller setzt. Bei diesem kooperativen Lösungsansatz kann ein Experte im Herstellerwerk gegebenenfalls das Diagnosesystem in der Werkstatt fernsteuern und den Mechatroniker so unterstützen. Das Diagnosesystem ist in ein Herstellernetzwerk eingebunden und kann so auf zentrale und weltweit verfügbare Diagnosedatenbanken zurückgreifen. Nicht die vollständige Automatisierung steht hier im Vordergrund, sondern die möglichst gezielte Nutzung aller verfügbaren Informationsquellen und Kompetenzen für

die Diagnose: Die Kompetenz des Facharbeiters im Umgang mit Diagnoseproblemen, das Wissen des Herstellers über die Fahrzeugarchitektur und die Komponenteneigenschaften und der Zugriff auf aktuelle Softwarestände für die Steuergeräte.

## **2.2 Konkurrierende Entwicklungsprinzipien**

Unter den dargestellten Systemen konkurrieren letztlich wissens- und modellbasierte Systeme miteinander, die sich beide durch die Telediagnose ergänzen lassen. Unter Kosten- und Aufwandsgesichtspunkten haben nach Untersuchungen von Tappe derzeit wissensbasierte bzw. pragmatisch gemischte Systeme Vorteile, wobei allerdings die Qualität der bereitgestellten Diagnoseinformationen für den Service nicht betrachtet wurde /7/. Die Notwendigkeit, unterschiedliche Diagnoseansätze miteinander zu kombinieren, erkennen auch Experten aus dem Bereich der Informatik, die sich mit Diagnoseprinzipien auseinandersetzen /10/ /11/. Die Diagnosepraxis in Kfz-Werkstätten spielt allerdings bei diesen Erkenntnissen kaum eine Rolle. Erhebungsergebnisse hierzu werden im nächsten Abschnitt vorgestellt.

Unter den Entwicklungsprinzipien wird sich letztlich dasjenige durchsetzen, welches mit geringstem Mitteleinsatz die treffendsten Diagnosen liefert. Ein entscheidender Faktor wird in der Zukunft sein, welcher Aufwand in den Werkstätten bei denjenigen Fällen betrieben werden muss, in denen der Einsatz „intelligenter“ Diagnosesysteme nicht zur Lösung des Diagnoseproblems führt. Um diesen minimal zu halten, müssen die Transparenz des Systemaufbaus und die Nachvollziehbarkeit der Diagnoseschritte für das Werkstattpersonal gegeben sein. Bei Expertensystemen spricht man von ihrer Selbsterklärungsfähigkeit.

Eine optimale Unterstützung des Diagnoseprozesses ergibt sich letztlich, wenn möglichst viele Informationen über den Zustand des Fahrzeuges zur Verfügung gestellt werden, ohne dass diese zum Zweck der Entscheidungsgenerierung durch das Fahrzeug selbst oder das Diagnosesystem zuvor verarbeitet werden. Konventionelle rechnergestützte Systeme lassen sich daher durch eine Zunahme und Expertensysteme durch eine Abnahme der Automatisierung optimieren, wenn statt einer Entscheidungsgenerierung eine strukturierte Informationsversorgung im Mittelpunkt steht. Systeme, welche die Automatisierung zur Informationsbereitstellung nutzen, geben dem Anwender in der Werkstatt zu jeder Zeit vollständige Informationen über ermittelte Systemzustände und vorgeschlagene Diagnoseschritte und werden als „tutorielle Expertensysteme“ bezeichnet.

### **3 Nutzung und Effizienz wissensbasierter Diagnosesysteme im Kfz-Service**

Interessant ist nun, ob und welche Kompetenzen von den Kfz-Mechatronikern benötigt werden, um die in der Praxis anfallenden Diagnoseprobleme zu lösen oder ob automatisierte Diagnoseabläufe zu befriedigenden Ergebnissen führen. Diese Frage wurde in Kfz-Werkstätten, in denen „intelligente“ Diagnosesysteme zum Einsatz kommen, empirisch untersucht /1/. Analysiert wurden dazu Diagnosefälle sowie quantitative Daten zur Diagnosepraxis, die aus Befragungen und Auftragsanalysen resultieren.

Insbesondere galt es zu ermitteln, ob alle erforderlichen Informationen durch die Diagnosesysteme bereitgestellt werden und welche Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine sich in der Arbeitspraxis bewährt. Zudem stellt sich die Frage, wie sich durch den Einsatz von KI vorgenommene Determinierungen der Handlungsabläufe durch die Diagnosesysteme auf die Effizienz der Diagnose, auf die Kompetenzen und auf die berufliche Identität der Facharbeiter auswirken.

#### **3.1 Diagnosepraxis**

##### **3.1.1 Häufigkeit und Aufwand**

Eine These und vor allem Absicht der Automobilhersteller war, mit der Einführung von Expertensystemen die Fehlersuchzeiten um bis zu 50% senken zu können. Die Untersuchungsergebnisse bestätigen diese These allerdings nicht, sondern belegen eine Zunahme der Diagnosezeiten um bis zu 100% in den letzten 10 Jahren. Größere Betriebe, die Oberklassefahrzeuge reparieren, setzen bis zu 50% der Arbeitszeit für die Diagnose ein. Durchschnittlich 25% aller Arbeitsaufträge entfallen dort auf Diagnoseaufgaben (Abb. 4). Es besteht allerdings kein eindimensionaler Zusammenhang zwischen dem Einsatz „intelligenter“ Diagnosesysteme und der Zunahme der Fehlersuchzeiten, da hierfür zunächst die angestiegene Komplexität der Fahrzeugsysteme verantwortlich ist. Jedoch haben die Verfahren der geführten Fehlersuche nicht zur beabsichtigten Reduktion von Fehlersuchzeiten beigetragen.

Interessant ist, dass die häufigsten Diagnosefälle in den Bereichen „Geräusche“ und „Kühlung“ liegen. Die Lösung dieser Fälle erfordert trotz teilweise vorhandener Geräuschedatenbanken vor allem Erfahrungswissen und Gespür für die Fehlerlokalisierung. Es lassen sich zwar mit modellbasierten Ansätzen (z.B. mit Hilfe von Bond-Graphen) beliebige physikalische Phänomene abbilden, nicht aber deren Ursachen, die außerhalb der „Systemgrenzen“ liegen. Ein Beispiel: Ursache eines Überhitzungsproblems durch Laubansammlung zwischen Fahrzeugkühler und Kondensator.

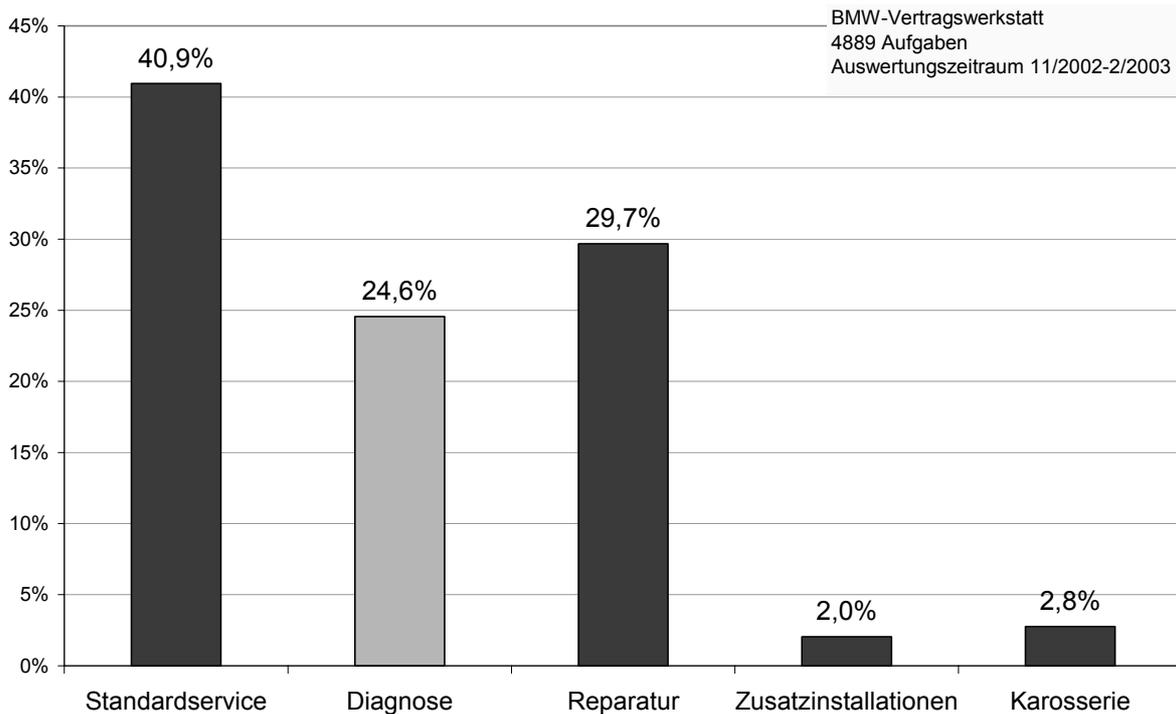


Abb. 4: Typische Aufgabenverteilung in einer Kfz-Servicewerkstatt  
*typical distribution of work tasks in a vehicle repair workshop*

### 3.1.2 Nutzungsverhalten

Rechnergestützte Diagnosesysteme werden mittlerweile für ein umfassendes Aufgabenspektrum genutzt (vgl. Abb. 5). Diagnoseaufgaben lassen sich zum Teil mit und ohne Automatisierung bzw. Führung bearbeiten. Beim VAS 5051 von Volkswagen kann für gewisse Aufgaben entweder die „Geführte Fehlersuche“ oder die „Fahrzeugeigendiagnose“ verwendet werden; beim DIS-Plus von BMW besteht die Wahl zwischen „Expertenmode“ und „Fehlersymptommode“ (entspricht der geführten Fehlersuche). Haben die Werkstattmitarbeiter die Wahl, entscheiden sie sich eher für den Diagnosemodus, der ihnen die Entscheidungsgewalt über den Diagnoseablauf lässt.

Neben mangelndem Vertrauen in automatisierte Diagnoseabläufe sowie unzureichender Nachvollziehbarkeit der vorgeschlagenen Diagnoseschritte und der ermittelten Systemzustände ist hierfür ein banaler, aber entscheidender Grund mitverantwortlich: Allein das Auslesen aller Fehlerspeicher in hochgradig vernetzten Fahrzeugen mit 40 oder mehr Steuergeräten dauert bei der automatisierten Diagnose bis zu 45 Minuten.

Durch funktionale Adressierung, schnellere Datenübertragungsraten von 500 kBaud bei Diagnose on CAN und Einsatz schnellerer Prozessoren in den Diagnosewerkzeugen lässt sich dieses Problem nicht vollständig beheben. Für gezielte Diagnoseoperationen werden daher nun „Geführte Funktionen“ wie beim VAS 5051 bei Volkswagen angeboten, mit denen ein vollständiger Systemtest umgangen werden kann.

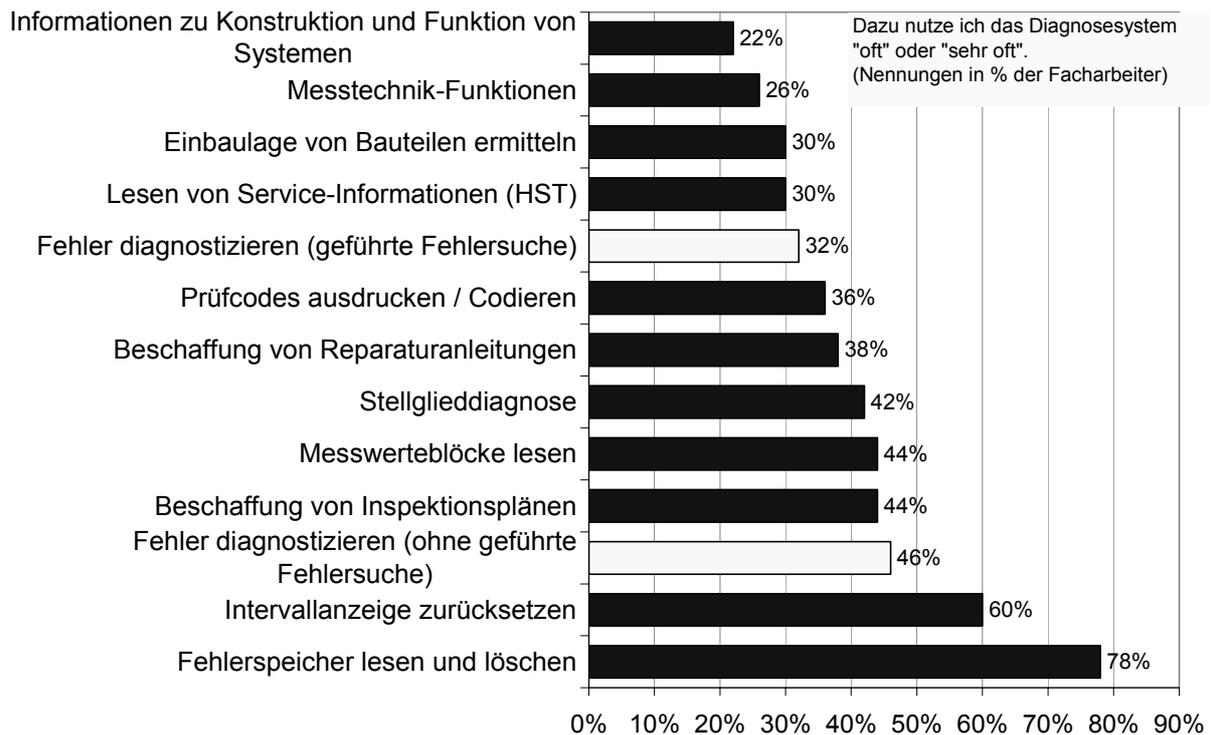


Abb. 5: Nutzungsverhalten rechnergestützter Diagnosesysteme im Kfz-Service  
*usage of computer-aided diagnostic systems in the area of vehicle service*

### 3.1.3 Effizienz automatisierter Diagnoseabläufe

Die zentrale Frage bei der Automatisierung der Diagnose ist, ob sich mit ihr die in der Praxis vorkommenden Fehlerfälle zufrieden stellend lösen lassen. Daher wurde den mit der Diagnose betreuten Facharbeitern die folgende Frage gestellt:

„In wie viel Prozent der Fälle haben Sie den Fehler mit Hilfe der geführten Fehlersuche nicht gefunden?“

Die Auswertung der Fragestellung führte zu folgendem Ergebnis: Im Mittel werden in 45% aller Fälle die Diagnoseprobleme nicht mit Hilfe der automatisierten Abläufe in den Diagnosesystemen gelöst. Automatisierte Diagnosen decken also nur rund die Hälfte aller in der Praxis vorkommenden Fehlerfälle zufrieden stellend ab.

Anhand der genauen Analyse einzelner Diagnosefälle lässt sich aufzeigen, welche Ursachen für das Versagen automatisierter Diagnoseabläufe verantwortlich sind. Lassen sich angebotene Diagnoseschritte beispielsweise nicht nachvollziehen, kommt es zu Fehleingaben und zum Abbruch geführter Diagnoseprozeduren. Sind die Vorschläge nicht praxisgerecht, werden sie umgangen und wenn möglich abgekürzt. Vorgedachte Diagnoseabläufe können sich nur auf (etwa durch FMEA) zuvor bedachte Fehlerabhängigkeiten beziehen. Werden diese durch eine optimierte Entwicklung zuvor ausgeschlossen, tauchen sie in der Praxis gar nicht mehr auf, und wenn doch, dann mit einer solch großen Häufigkeit, dass der Einsatz von Diagnosesystemen rasch überflüssig wird, weil sich die Fehlerursache in der Branche schnell

herumspricht /1, S. 248/. So werden in der Praxis nicht einmal 20% der in den Diagnosegeräten implementierten Diagnoseabläufe genutzt. Auch modellbasierte Diagnoseverfahren erfordern, dass die Fehlerursachen innerhalb betrachteter Systemgrenzen liegen (s.o.). Ist dies nicht der Fall, steht der Fachmann in der Werkstatt mit dem Diagnoseresultat der modellgestützten Diagnose recht hilflos da, er kann es nicht einschätzen, interpretieren und in eigene Diagnosestrategien integrieren. Es entstehen „wirre“, nicht nachvollziehbare Diagnoseresultate. In den Fallstudien ließ sich beobachten, dass geführte Diagnoseprozeduren abgearbeitet wurden, der Tausch einer Komponente vorgeschlagen und ohne Erfolg durchgeführt wurde und die weitere angeleitete Diagnose den Charakter von Endlosschleifen ohne Alternative hatte. Die Schwäche automatisierter Führungen ist indes schon lange bekannt: „Ein System, daß dogmatisch Ratschläge erteilt, wird im allgemeinen zurückgewiesen werden“ /13//12, S. 651/. Insgesamt überwiegen heute zudem Einzelfälle, die eine Berücksichtigung in automatisierten Prüfabläufen schwierig bis unmöglich macht.

55% der befragten Diagnoseexperten halten die systematische Einbeziehung von Symptombeschreibungen durch den Kunden für notwendig. Dies entspricht auch der gängigen Servicepraxis, jedoch erschweren arbeitsteilige Arbeitsorganisationsformen eine professionelle diagnosebezogene Berücksichtigung. So kommen über Serviceberater und Kundendienstmeister transportierte Symptombeschreibungen oft in unbrauchbarer Form am Arbeitsplatz des Diagnostikers an. Die Symptom- und Falldatenbanken der „intelligenten“ Diagnosesysteme sind zudem äußerst unvollständig. „Fälle“ fließen überwiegend noch parallel zur Nutzung von Diagnosesystemen in Serviceinfos/Kundendienstmitteilungen ein.

### **3.1.4 Lösung der Diagnoseprobleme in der Servicepraxis**

Die Facharbeiter wurden danach befragt, wie die Diagnoseprobleme gelöst werden, wenn die automatisierte Diagnose nicht zum Ziel führt. Die Ausführungen der Praktiker hierzu belegen, dass individualisierte Problemlösungsansätze erforderlich sind, um situationsbezogen agieren zu können. In vielen Fällen helfen Fehlersuchstrategien, die bereits gemachte Erfahrungen mit Fehlerfällen berücksichtigen (vgl. Abb. 6). Die Fehlersuche läuft dann nach rationalen Überlegungen ab, die aber nicht formalisiert sind. Gemachte Erfahrungen liefern Ideen und das Fehlerbild insgesamt Indizien für das weitere Vorgehen im vorliegenden Fall. Wir sprechen hier von einem nicht-formalisierbaren, rationalen Umgang mit Diagnosefällen.

Am effizientesten schätzen die Facharbeiter den problemorientierten Austausch mit Kollegen und die Entwicklung eigener Diagnosestrategien ein, wobei allerdings zuvor mit dem Diagnosesystem Systemzustände (Fehlerspeicher, Diagnoseabfragen) gesichert wurden. Ebenfalls führen immer häufiger Serviceinformationen der Hersteller zum Ziel, die Diagnosefälle in zentralen Datenbanken aufbereiten und so die Erfahrungen mit Problemen aus dem gesamten Händlernetz bündeln.

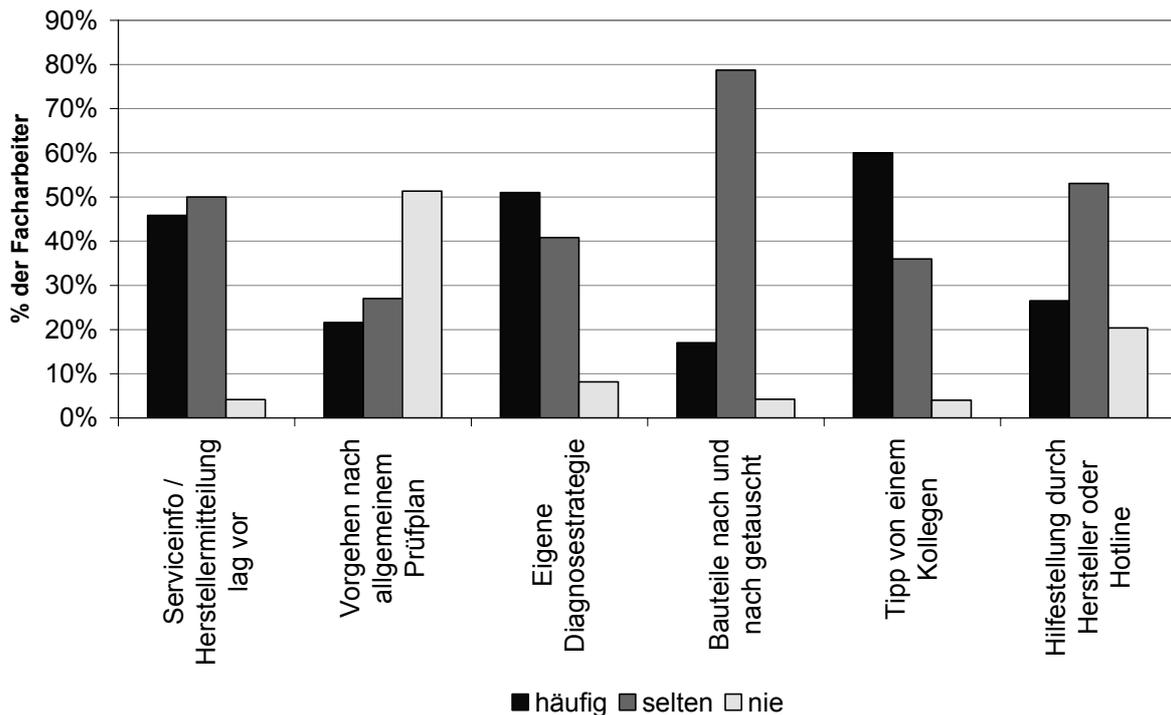


Abb. 6: Erfolgreiche Fehlersuchstrategien von Facharbeitern bei Versagen der automatisierten Diagnoseabläufe  
*successful fault diagnosis strategies of skilled workers at failures of the automated diagnosis processes*

Ansätze aus dem Bereich des fallbasierten Schließens (Case-Based-Reasoning – CBR) sind auch für die Werkstattdiagnose interessant und vor allem bei Diagnosesystemen französischer Automobilhersteller verbreitet (ACTIA). Allerdings tauchen in der Werkstattpraxis vermehrt singuläre Fehler auf, Fehler also, die nahezu nie identische Fehlerbilder bieten und daher den Aufbau von Falldatenbasen erschweren. Unter dem Aspekt der Zeiteinsparung werden ebenfalls nach wie vor in der Praxis Verfahren des „Versuch und Irrtum“ eingesetzt, die allerdings umso erfolgloser sind, je komplexer sich das Diagnoseproblem darstellt.

Die Entwicklung eigener Diagnosestrategien gelingt auf Grund der Intransparenz der automatisierten Diagnoseabläufe nur einer zunehmend kleiner werdenden Gruppe von Facharbeitern – ein Hinweis auf die entstehende Kompetenzlücke durch Automatisierung. Jedoch ist auch für die Anwendung dieser Strategien die Nutzung rechnergestützter Diagnosesysteme unumgänglich, weil nur noch mit diesen der Zugang zu Systeminformationen möglich ist. Die zunehmende Sensorintegration verstärkt diese Entwicklung; Sensoren liefern kaum mehr analoge, durch Messtechnik erschließbare Informationen. Entsprechend kristallisieren sich vermehrt Know-how-Anbieter als „Diagnoseberater“ heraus, die im Zusammenwirken mit der Facharbeiterkompetenz zu effizienten Diagnoseabläufen führen. Die Diagnosepraxis spricht für kooperative Diagnoselösungen wie die Telediagnose. Alle verfügbaren Informationen über Systemzustände, Symptome, Funktion der Fahrzeugsysteme, Kundenbeanstandungen, Einsatzbedingungen des Fahrzeuges, Organisation der Arbeitsprozesse

in der Werkstatt und Erfahrungen mit Diagnoseproblemen im Feld werden gebündelt, um die Entscheidungsfähigkeit des Werkstattpersonals bei der Bestimmung der optimalen Vorgehensweise im Diagnoseprozess zu erhöhen.

### **3.2 Grenzen der automatisierten Diagnose**

Die Grenzen der automatisierten Diagnose liegen nach den vorliegenden Erkenntnissen dort, wo

- Fehlerbeeinflussungen außerhalb betrachteter Systemgrenzen liegen;
- singuläre Fehler auftreten, die nicht durch FMEA im Diagnoseentwicklungsprozess abgedeckt werden konnten;
- Entscheidungen im Diagnoseablauf getroffen werden müssen, die außerhalb technischer Einflussbereiche liegen;
- Fehlerfortpflanzungen das Systemverhalten systematisch verändern oder grenzwertig werden lassen;
- sporadisches Auftreten der Fehler eine eindeutige Reproduzierbarkeit erschwert.

Hierzu ist fest zu stellen: Diese Bedingungen entsprechen heute dem Standard in der Diagnosepraxis.

### **4 Berücksichtigung der Anforderungen aus den Werkstätten im Entwicklungsprozess**

In der bestehenden beruflichen Praxis, so die empirischen Befunde, sind Diagnosekompetenzen der Facharbeiter erforderlich und müssen systematisch entwickelt werden. Wenn dies gewollt und ein Ersatz durch maschinelle Kompetenzen nicht beabsichtigt ist, dann sind Diagnosesysteme ausgehend von den beruflichen Anforderungen zu entwickeln.

In Arbeitsprozessanalysen ließ sich ermitteln, dass eine prozessbezogene Informationsversorgung handlungsleitend und kompetenzförderlich wirkt, während dessen Dialogkomponenten bestehender Kfz-Expertensysteme nach technologischen Erkenntnisdimensionen aufgebaut sind. Die Informationsversorgung ist im ersten Fall für den Facharbeiter transparent und nachvollziehbar. Facharbeiter holen sich Informationen für die Problemlösung zielgerichtet aus Steuergerätespeichern und Wissensbasen, wenn sie diese benötigen. Die Lösung von Diagnoseproblemen ist dann auch durch ein situationsbezogenes Lernen im Arbeitsprozess möglich. Dies entspricht insbesondere dann der einzig angemessenen Vorgehensweise, wenn Fehlerbedingungen nicht vollständig oder nicht rein technisch ermittelt werden können. Solche Systeme hätten den Charakter von tutoriellen Expertensystemen, die analog zu

Expertensystemen der zweiten Generation im Bereich der medizinischen Diagnostik als Kritksysteme ausgelegt sind und nicht den Ersatz menschlicher Expertise zum Ziel haben. Um die Effizienz in der Diagnosepraxis zu erhöhen, sollten nicht nur Kompetenzen und Informationen im Bereich der Diagnoseentwicklung gebündelt und aufeinander abgestimmt werden, wie dies durch die Elektronik-Strategie bei Volkswagen oder bei Ford geschieht. Vielmehr kommt es entscheidend darauf an, die Diagnoseabläufe in den Werkstätten zum Ausgangspunkt für Überlegungen zu notwendiger Diagnoseunterstützung zu machen. Seit der WIBUR-Studie /14/ vor der Einführung des BMW DIS haben die Verantwortlichen in der Automobilindustrie hier viel Potenzial verschenkt, weil sie ihr Augenmerk ausschließlich auf unternehmensinterne *Entwicklungsprozesse* gelenkt haben. Der Erfolg eines Automobilproduzenten wird jedoch letztendlich durch die Kundenzufriedenheit bestimmt, die maßgeblich durch die Servicequalität beeinflusst ist. Dies gälte es bei zukünftigen Entwicklungen wieder stärker zu bedenken.

## 5 Literatur

- [1] BECKER, M.  
Diagnosearbeit im Kfz-Handwerk als Mensch-Maschine-Problem.  
W. Bertelsmann Verlag  
Bielefeld, 2003
- [2] WEHLITZ, P.  
Nutzenorientierte Einführung eines Produktdatenmanagement-Systems.  
Dissertation an der TU München  
München, 2000
- [3] BARTZ, R. und 18 Mitautoren  
Grundlagen und Einsatz von ASAM-Standards  
expert Verlag  
Renningen-Malmsheim, 2001
- [4] ARISTOTELES  
Politik, 1253b
- [5] INTELLIGENT SYSTEMS DIVISION, NASA  
Immobil Robots  
<http://ic.arc.nasa.gov/projects/mba/immobots/>, Zugriff am 2.6.2005
- [6] STRUSS, P.; HELLER, U.; MALIK, A.; SACHENBACHER, M.  
Modellbasierte Werkzeuge für Diagnose und Fehleranalyse von  
Fahrzeugsystemen. In: Hotz, L.; Struss, P.; Guckenbiehl, Th. (Hrsg.): INDIA  
- Intelligente Diagnose in der Anwendung  
Shaker Verlag  
Aachen, 2000, S. 17-40
- [7] TAPPE, R.

- Verfahren zur Dynamisch Intelligenten Fehlersuche in komplexen Systemen.  
Exemplarischer Einsatz im Kfz-Bereich  
Shaker Verlag  
Aachen, 2004
- [8] STRUSS, P.; PRICE, CH.  
Model-Based Systems in the Automotive Industry. In: AI Magazine, 24(4), 2003,  
p. 17-34
- [9] BÄKER, B.; FORCHERT, TH.  
Onboard-Diagnosekonzepte für zukünftige Kraftfahrzeuge. Fehlerdiagnose, En-  
ergie- und Informationsmanagement. In: VDI Berichte Nr. 15, 1999, S. 237-253
- [10] CENTER FOR ENGINEERING EDUCATION AND PRACTICE  
COLLEGE OF ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE  
UNIVERSITY OF MICHIGAN-DEARBORN  
Advanced Automotive Diagnostics using Wavelets and Fuzzy Logic. Project  
abstract  
<http://www.engin.umd.umich.edu/ceep/reports/2001/murphey01.html>, Zugriff am  
13.6.2005
- [11] TORASSO, P.  
Case-Based Reasoning in Diagnostic Problem Solving: Alternative or  
complementary to MBR?  
Online Proceedings; 15th international workshop on principles of diagnosis  
<http://www.laas.fr/DX04/>, Zugriff am 13.6.2005
- [12] BUCHANAN, B.; SHORTLIFFE, E.-H. (Hrsg.)  
Rule-based expert systems: the MYCIN experiments of the Stanford Heuristic  
Programming Project  
Addison-Wesley  
Reading u.a., 1985
- [13] WOLLNY, S.  
Erklärungsfähigkeit kooperierender regelbasierter Expertensysteme zum  
diagnostischen Problemlösen  
Dissertation  
Technical University of Berlin, School of Electrical Engineering and Computer  
Sciences, [http://edocs.tu-berlin.de/diss/2003/wollny\\_stefan.pdf](http://edocs.tu-berlin.de/diss/2003/wollny_stefan.pdf)  
Berlin, 2003
- [14] EHRMÜLLER, F.; FISCHER, J.  
Wissensbasierte Unterstützung von Wartungs- und Reparaturtätigkeiten in Kfz-  
Werkstätten – WIBUR. Abschlussbericht.  
BMW AG  
München, 1993