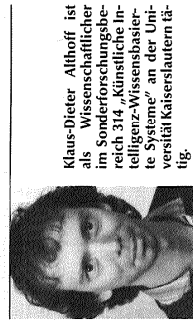
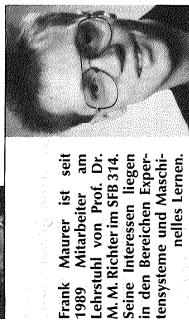


Die Lernkomponente der MOLTKE₃-Werkbank zur Diagnose technischer Systeme¹

Klaus-Dieter Althoff/Frank Maurer/Ralph Traphöner/Ralph Traphöner/Stefan Weiß



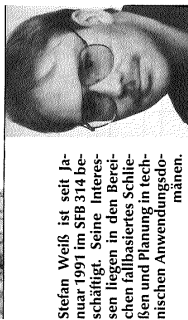
Klaus-Dieter Althoff ist als Wissenschaftlicher im Sonderforschungsbereich 314 „Künstliche Intelligenz-Wissensbasierte Systeme“ an der Universität Kaiserslautern tätig.



Frank Maurer ist seit 1989 Mitarbeiter im Lehrstuhl von Prof. Dr. M. M. Richter am SFB 314. Seine Interessen liegen in den Bereichen Expertensysteme und Maschinelles Lernen.



Ralph Traphöner studiert seit 1984 Informatik an der Universität Kaiserslautern und beschäftigt sich mit den Gebieten Wissens-Akquisition und Maschinelles Lernen.



Stefan Weiß ist seit Januar 1991 im SFB 314 beschäftigt. Seine Interessen liegen in den Bereichen fallbasiertes Schließen und Planung in technischen Anwendungsdomänen.

1. Motivation und Einführung

Ein Servicetechniker ist aufgrund seines Erfahrungswissens in der Lage, Diagnosen schneller zu stellen, falsche Diagnosen zu vermeiden, Konsequenzen aus falschen Diagnosen zu ziehen sowie das (erfolgreiche) Diagnoseverfahren bereits erlebter Situationen auf das aktuelle Problem (sinngemäß) zu übertragen. Diese Fähigkeiten beruhen dabei auf seinem intuitivem Verständnis für ähnliche Situationen beziehungsweise seinem Vermögen, verkürzte Lösungswege anzuwenden zu können.

Ein Beispiel aus der Domäne der CNC-Maschinen soll dies illustrieren: Eine Werkzeugmaschine wird in einem Bereich mit sehr hoher Umgebungstemperatur eingesetzt. Nehmen wir weiter an, daß bei dieser Maschine umgebungsbedingt in 90 % der Fälle ein bestimmter Teil der Hydraulik ausfällt. Ein erfahrener Servicetechniker, der diese Maschine kennt, wird im allgemeinen schon nach der Feststellung der ersten Symptome entscheiden, ob der übliche

¹ Die hier dargestellte Arbeit wurde teilweise gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Sonderforschungsbereich 314 „Künstliche Intelligenz - Wissensbasierte Systeme“, Projekte X6 und X9. Das Projekt X6 wurde in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung (WZL, Prof. Dr.-Ing. T. Pfeifer) der RWTH Aachen durchgeführt.

² Models, Learning and Temporal Knowledge in Expert Systems for Technical Diagnosis

³ Generator of Empirical MOLTKE Rules

⁴ PATern Directed Expert System

Fehler aufgetreten ist oder nicht. Erkennt er ein Teilmuster der Symptomatik des Hydraulikfehlers, so wird er auf ein Abarbeiten des kompletten Suchweges verzichten.

Ein weiteres Szenario ist die Behandlung von bisher unbekanntem Fehlerverhalten: Nach der Installation und den damit verbundenen Testläufen erfolgen reguläre CNC-Maschinen beim erstmaligen Einsatz ein Fehler: feststellt. Nach einer langwierigen Untersuchung stellte der erneut herbeigerufene Techniker zufällig fest, daß das für den Transport aufgetragene Schmierfett einen Endschalter verklebt hatte. Diese für den Servicetechniker neue Erfahrung versetzt ihn in Zukunft in die Lage, ähnliche Fehlerituationen gezielt zu lösen.

Solches Wissen, das auf konkreten Erfahrungen beruht, steht heutigen Diagnosesystemen meist nicht zu Verfügung. Der Servicetechniker hingegen kennt aus seiner Tätigkeit durch Lernen aus weitläufigen Fällen zu verbessern. Allgemein lernt ein Techniker auf eine doppelte Weise:

- Er „lernt“, von einem bestimmten früheren Fall, in dem er in einer konkreten Situation eine dortige Lösung

Wert logisch-1 nicht erhoben. Mit anderen Worten: Er hat es nicht benötigt, um die gleiche Diagnose stellen zu können. Man kann dieses Verhalten auf zweierlei Weise interpretieren:

- Der Servicetechniker betrachtet das Symptom als für die gegebene Situation irrelevant.
- Die Relevanz der übrigen Symptomwerte für die Diagnose oder den fehlenden Symptomwert ist so stark, daß ein Analogeschluß zwischen der vollständigen und der unvollständigen Situation gerechtfertigt ist – also der fehlende Symptomwert durch eine Analogie abgeleitet werden konnte.

In beiden Fällen wäre die fragliche Symptomausprägung durch die restlichen Symptomwerte „partiell determiniert“. Man kann versuchen, den Grad der Determiniertheit durch Lernen aus weiteren Fällen zu verbessern. Allgemein lernt ein Techniker auf eine doppelte Weise:

- Er „lernt“, von einem bestimmten früheren Fall, in dem er in einer konkreten Situation eine dortige Lösung

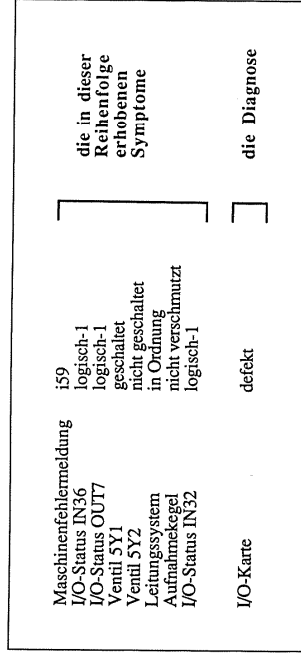


Bild 1 – Ein „Fall“ in der MOLTKE-Wissensbasis

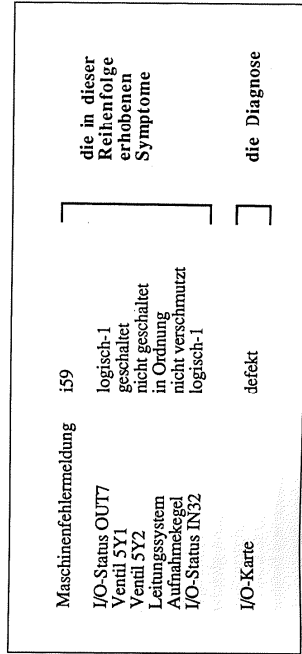


Bild 2 – Ein Fall des Servicetechnikers

sinnvoll auf den aktuellen Fall übertragen.

- Er „lernt“ aus der Gesamtheit aller früheren Fälle sein gesamtes Lösungsverhalten zu verbessern.

Die hier gegebenen Beispiele sollen einen ersten Eindruck hinsichtlich der Anforderungen an die Lernkomponente vermitteln. Weitere Anforderungen ergeben sich aus der Integration in die MOLTKE₃-Werkbank, deren grundlegende Terminologie im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

2. Die Terminologie der MOLTKE₃-Werkbank

Im Verlauf des MOLTKE-Projektes entstanden mehrere prototypische Diagnoseanwendungen aus technischen Bereichen (CNC-Bearbeitungszentren, 3D-Meßmaschinen, Tunnelvortriebsmaschinen und Fehlersuche in heterogenen Computernetzen). Basierend auf den dabei gewonnenen Erfahrungen entwickelten wir ein einfaches Modell für technische Diagnoseanwendungen. Wir gehen davon aus, daß sich Diagnose wie folgt beschreiben läßt: Diagnose = Klassifikation + Testauswahl.

Basierend auf dieser Zweiteilung entstand eine Repräsentationssprache, die die Sprachwelt des Experten widerspiegelt. Diese ist im folgenden (abstrakt) beschrieben.

Ein Symptom beschreibt einen meßbaren Teil des Zustandes des zu diagnostizierenden Systems. Ein Symptom kann dabei ein konkreter Meßwert sein, zum Beispiel eine gemessene Spannung, oder auch ein daraus abstrahierter Wert, zum Beispiel die Spannung ist zu hoch. Ein aktuell gemessener Wert eines Symptoms wird als *Symptomwert* bezeichnet. Symptomwerte werden mit Hilfe von *Facts* erhoben. Der Vektor, der zu einem Zeitpunkt aktuellen Symptomwerte, wird auch als *Situation* bezeichnet, wobei Symptome auch den Wert „unbekannt“ haben können.

⁵ Aus der Wissensbasis extrahierte Fälle heißen Diagnosepläne. 6 Partielle Determinationen sind ein Ersatz für bedingte Wahrscheinlichkeiten (mangels genauer Information). Dabei werden die Determinationsfaktoren durch Determinationsfaktoren ausgedrückt, deren Wertebereich jeweils 10,1 ist.

⁶ Partielle Determinationen sind ein Ersatz für bedingte Wahrscheinlichkeiten (mangels genauer Information) und der „Grad der Determiniertheit“ durch Determinationsfaktoren ausgedrückt, deren Wertebereich jeweils 10,1 ist.

5.1. Verbesserung der Wissensbasis

Eine Wissensbasis (WB) kann als eine schwache Hintergrundtheorie angesehen werden, das heißt sie ist redundant, unvollständig und/oder inkonsistent. Die Redundanz äußert sich dabei durch zu viele Diagnosepfade in der WB beziehungsweise durch Pfade, die an sich zu lang sind. Unvollständigkeit der WB dagegen bedeutet, daß Diagnosepfade fehlen beziehungsweise zu kurz sind. Inkonsistenzen in der WB schließlich ergeben sich aus widersprüchlichen Situationen bei ausweisungsweisen Diagnosen ihrer Pläne. Es ist nun die Aufgabe der Lernkomponente, die WB mit Hilfe empirischer Diagnosedaten zu verbessern. Für die angesprochenen drei Grundproblematiken bieten sich folgende Lösungsansätze:

- **Redundanz:** Diagnosepfade werden durch die Generierung heuristischer Regeln (Abkürzungsregeln, Redundanzregeln) verkürzt. Bei seiner Analyse der WB gibt GenRule eine Warnmeldung aus, sobald es Diagnosepfade findet, die durch das Diagnoseverfahren nicht mehr „verwendet“ werden können.
- **Unvollständigkeit:** Erkennt GenRule, daß Diagnosepfade zu kurz sind, so generiert es Reihenfolgen, die die Erhebung der „fehlenden“ Symptome im Rahmen des Diagnoseverfahrens erzwingen. Diagnosepfade, für die GenRule keinen „ähnlichen“ Diagnosepfad findet, werden an die PATDEX₂-Teilkomponente weitergereicht, die sie Shell um Ähnlichkeitsbasierte Klassifikation auf der Grundlage der weitergereichten Fälle erweitert.
- **Inkonsistenz:** GenRule berücksichtigt explizit die Tatsache, daß zu einer Diagnose häufig mehrere Fehler korrespondieren. PATDEX₂ kann widersprüchliche Fälle verarbeiten und nach Ähnlichkeitskriterien anordnen. Lösungen auf Basis derartiger Informationen haben dann eher einen Hinweischarakter.

Da reale empirische Falldaten nicht fehlerfrei sind, ergibt sich eine zusätzliche Aufgabe für die Lernkomponente, nämlich die vorgelegten Fälle möglichst weitgehend zu filtern. Die beiden grundsätzlichen Hilfsmittel, die die Lernkomponente hierzu verwendet, sind die häufigkeitsorientierte Rechtfertigung der generierten Regeln und die

¹⁵ Dadurch können „systematische Inkonsistenzen“ behandelt werden.

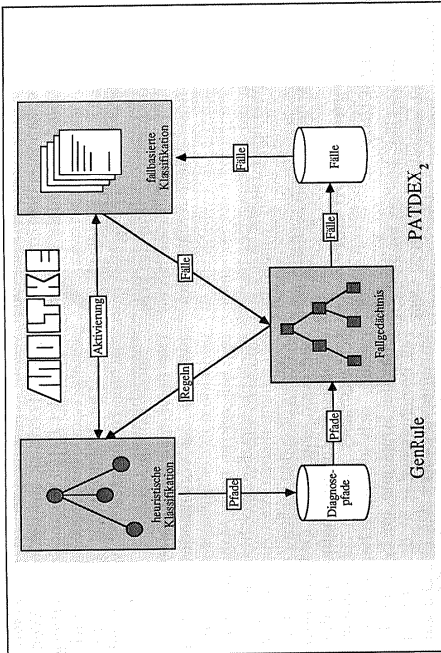


Bild 3 - Lernkomponente innerhalb der MOLTKE₃-Werkbank

probabilistische Klassifikation auf der Basis von Ähnlichkeiten. So ignoriert GenRule zum Beispiel redundante Diagnosepfade, solange diese nicht „zu häufig“ auftreten. Inkonsistente Fälle werden von PATDEX₂ verarbeitet (interaktives Testen der Fallbasis), bis sie nach Auflösung der Inkonsistenzen in die WB Eingang finden. Zum Erkennen unvollständiger Fälle verwendet GenRule eine Kombination unterschiedlicher Determinationsfaktoren¹⁶. Grundsätzlich erscheint hier allerdings, wie auch in den vorher erwähnten Problematiken, eine Einbeziehung allgemeiner technischer Hintergrundwissens sinnvoll.

6. Bewertung und Diskussion

Die Diagnoseschell ist das Ergebnis einer mehrjährigen Kooperation mit einem anerkannten Ingenieurinstitut und erfüllt die Anforderungen, die seitens des Instituts gestellt wurden (17), (15). In diese Kooperation flossen auch theoretische Vorarbeiten im Bereich der Modellierung diagnostischer Problemlösens mit ein (22), die für den praktischen Einsatz umgesetzt wurden (13). Aufbauend auf den Ergebnissen der Kooperation wurde die MOLTKE₃-Werkbank entwickelt (5).

Für die Lernkomponente diente die ursprüngliche Anwendung (Diagnose von CNC-Bearbeitungszentren: siehe [4] als Medium zur Integration verschiedener Wissensakquisition- und Lernverfahren. Der Aspekt der Zweckmäßigkeit der eingesetzten Lernverfahren war dabei von Anfang an wesentlich. Dies

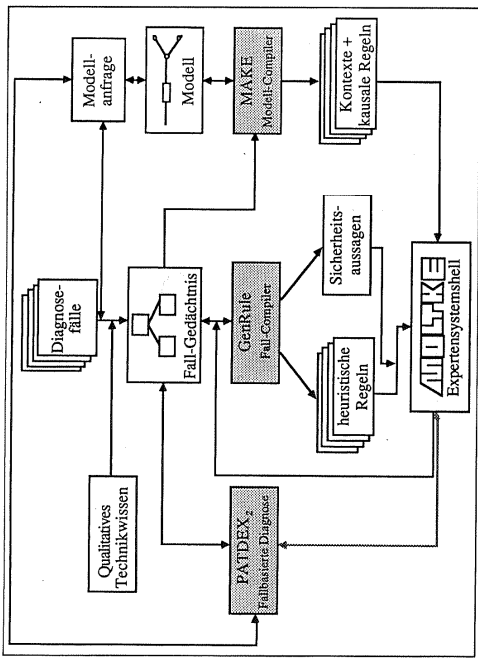


Bild 4 - Der Aufbau der MOLTKE₃-Werkbank

oder nur „bedingt verkürzt“, indem hierfür explizit Abkürzungs- und Redundanzregeln repräsentiert werden. Bei der Ausgabe einer Enddiagnose wird dann auf unsicher abgeleitete beziehungsweise überflüssig erachtete Symptome hingewiesen. Diese Aufbereitung resultiert zum einen aus Anforderungen der zugrunde liegenden Domäne, zum anderen ist sie die Konsequenz aus dem Vorhandensein von MAKE¹⁸ (Bild 4), das auf der Basis von Maschinenplänen bereits eine MOLTKE-WB erzeugen kann.

In ihrer konkreten Zielrichtung sind die Ansätze von GenRule und PATDEX₂ neu sowohl für das Verfeinern von WB's als auch für den Bereich des fallbasierten Schließens. Insbesondere konzentrieren sich existierende Systeme meist auf den Klassifikationsaspekt, während zum Beispiel in PATDEX₂ sowohl die Klassifikation als auch die Testauswahl mit fallbasierten Mechanismen realisiert sind. Damit ist auch eine fallbasierte Alternative zu den bislang beschriebenen Testselektionsverfahren der Diagnoseschell möglich.

Hinsichtlich der exponentiellen Komplexität der eingesetzten Verfahren (Zeit- und Speicherkomplexität beim Einfügen ins Fallgedächtnis, Zeitkomplexität beim Generieren der Diagnoseschelle durch den KnowledgeBase-Expander) nutzt die Lernkomponente in entscheidendem Maße die Dekompo-

¹⁹ Model-Based Automated Knowledge Extractor: hierzu siehe (5) beziehungsweise (16).

nierbarkeit der Domäne der CNC-Bearbeitungszentren aus. Dies stellt somit eine Einschränkung für die Verallgemeinerbarkeit der erzielten Resultate dar.²⁰ Für eine genauere Bewertung und Diskussion der Lernkomponente siehe [1]. Alle hier beschriebenen Komponenten der MOLTKE₃-Werkbank sind implementiert²¹. Insbesondere ist PATDEX₂ auch als „stand alone“-System einsetzbar.

7. Weitere Aktivitäten

Im Rahmen dieses Beitrages konnte nicht auf die Verwendung zusätzlichen Hintergrundwissens, zum Beispiel allgemeinen qualitativen Technikkwissens²² (Bild 4), zur Verbesserung der Lernverfahren eingegangen werden. Dadurch kann zum Beispiel die Rechtfertigung von GenRule generierter Regeln vereinfacht werden, da hierzu dann gegebenenfalls weniger Fälle erforderlich sind. Weitere wichtige Punkte sind die Erweiterung beziehungsweise Abänderung des Kontextgraphen auf Basis des Fallgedächtnisses sowie die Integration nichtmonotoner Schlußfolgerungsverfahren.

²⁰ Die von technischen Systemen allerdings meistens erfüllt wird.
²¹ Die Implementierungssprache ist Smalltalk-80. Entsprechend ist die Werkbank auf fast allen Workstations und größeren PC's verfügbar.
²² Darunter fallen zum Beispiel Zusammenhänge wie bei ¹⁹, diese wiederum steuern die Hydraulik, etc.

MOLTKE₃-Werkbank

Danksagung

Unser Dank gilt in besonderem Maße Herrn Prof. Dr. M. M. Richter, sowie der ML-Arbeitsgruppe in Kaiserslautern, für die unzähligen, engagierten Diskussionen, die die Lernkomponente in der hier beschriebenen Art und Weise erst möglich machten.

Literatur

- [1] Althoff, K.-D.: Eine fallbasierte Lernkomponente als integrierter Bestandteil der MOLTKE₃-Werkbank zur Diagnose technischer Systeme. 1991 (in Vorbereitung)
- [2] Althoff, K.-D./De la Ossa, A./Maurer, F./Stadler, M./Weß, S.: Adaptive Learning in the Domain of Technical Diagnosis, in: Proc. Workshop on Adaptive Learning, FAW Ulm, 1989
- [3] Althoff, K.-D./De la Ossa, A./Maurer, F./Stadler, M./Weß, S.: Case-Based Reasoning for Real World Applications, interner Bericht, Universität Kaiserslautern, 1990
- [4] Althoff, K.-D./Faupel, B./Kockskämper, S./Traphöner, R./Wernicke, W.: Knowledge Acquisition in the Domain of CNC Machining Centers: the MOLTKE Approach, in: Proc. EKAW 1989, S. 180-195
- [5] Althoff, K.-D./Maurer, F./Rehbold, R.: Multiple Knowledge Acquisition Strategies in MOLTKE, in: Proc. EKAW 1990, S. 21-40
- [6] Althoff, K.-D./Traphöner, R.: GenRule: Learning of Shortcut-Oriented Diagnostic Problem Solving in the MOLTKE₃-Workbench, interner Bericht, Universität Kaiserslautern, 1990
- [7] Block, H.: Automatische Klassifikation, Göttingen 1974
- [8] Breuker, J./Wielinga, B.: Model-Driven Knowledge Acquisition: Interpretation Models, Memo 87, Deliverable task A1, Esprit Project 1098, 1987
- [9] Carbonell, J.G.: Learning by analogy: formulating and generalizing plans from experience, in: Michalski, R.S., Carbonell J.G. & Mitchell, T.M. (eds.): Machine Learning, Togo Publishing Co., Palo Alto, 1983
- [10] Carbonell, H.G.: Derivational Analogy in Problem Solving and Knowledge Acquisition, in: Michalski, R.S., Carbonell, J.G. & Mitchell, T.M. (eds): Machine Learning, Vol II, Morgan Kaufmann, Los Altos CA, 1986
- [11] Kodratoff, Y.: Combining Similarity and Causality in Creative Analogy, in: Proc. ECAI 1990, S. 398-403
- [12] Kolodner, J.L.: Maintaining Organization in a Dynamic Long-Term Memory, Cognitive Science (7), S. 243-280, 1983
- [13] Maurer, F.: FOMEX: ein fehlerorientiertes, modulares Expertensystem zur Diagnose von CNC-Bearbeitungszentren, Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, 1989
- [14] Morik, K.: Sloppy Modeling, in: (Morik, K. (d.): Knowledge Representation and Organization in Machine Learning, Springer Verlag: Berlin, Heidelberg 1989), S. 107-134
- [15] Pfeifer, T./Held, H.-J./Faupel, B.: Aufbau einer Wissensbasis für Fehlerdiagnosesysteme von Bearbeitungszentren, VDI-ZVDI-Verlag 10, 1988
- [16] Rehbold, R.: Integration modellbasierter Wissens in technische Diagnostikexpertensysteme, Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1991 (in Vorbereitung)
- [17] Richter, M.M./Pfeifer, T./Althoff, K.-D./Faupel, B./Nökel, K./Rehbold, R.: Abschlußbericht Teilprojekt X6, Sonderforschungsbereich „Künstliche Intelligenz – Wissensbasierte Systeme“, Kaiserslautern, 1990
- [18] Stanfill, C./Waltz, D.: The memory based reasoning paradigm, Proc. DARPA Workshop on Case-Based Reasoning, Morgan Kaufmann, 1988
- [19] Traphöner, R.: Ein Konzept zur Verarbeitung von Erfahrungswissen in MOLTKE, Projektarbeit, Universität Kaiserslautern, 1990
- [20] van Someren, M.W./Zheng, L.L./Post, W.: Cases, Models or Compiled Knowledge; a Comparative Analysis and Proposed Integration, in: Proc. EKAW 1990, S. 339-355
- [21] Weiß, S.: PATDEX₂: ein System zum adaptiven, fallfokussierenden Lernen in technischen Diagnosesituationen, Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, 1990
- [22] Wetter, T.: Ein modallogisch beschriebenes Expertensystem, ausgeführt am Beispiel von Ohrenerkrankungen, Dissertation, RWTH Aachen 1984



NEU

EDV-Verträge richtig gestaltet

Praktischer Ratgeber für Verträge nach den „Besonderen Vertragsbedingungen (BVB)“

Egbert-E. Reichel, Norbert H. Siegrist

Das Buch enthält als Arbeitsgrundlage und -hilfe:

- einen Textabdruck aller „Besonderen Vertragsbedingungen (BVB)“ mit zahlreichen zusätzlichen Erläuterungen und Anmerkungen,
- eine Zusammenfassung der wichtigen Rechte und Pflichten des Auftragnehmers und Auftraggebers (Checkliste),
- diverse in der Praxis anwendbare Formulare, Muster eines Kauf-, Miet- und Wartungsscheins sowie
- wichtige Tips und Hinweise rund um die BVB.

Ziel des Buches ist es, allen Projektverantwortlichen (Führungskräfte, Organisatoren usw.) wichtige Arbeitsgrundlagen und Entscheidungshilfen an die Hand zu geben.

(395 Seiten, August 1990, 68 DM, Format 16,5 x 23,5 cm, brosch., ISBN 3-922213-09-X, Bestell-Nummer A 8156)

FACHBUCH-SERVICE

FBO
Fachverlag für Büro- und
Organisationstechnik GmbH
Postfach 316

7570 Baden-Baden

Ich/wir bestelle(n) gegen Rechnung und zur Lieferung an die untenstehende Anschrift:

— Exemplar(e) **EDV-Verträge richtig gestaltet**
Bestell-Nr. 8156 (68 DM zzgl. Versandkosten)

() Bitte senden Sie mir Ihr Gesamtverzeichnis zu.

Firma/Abteilung

Name/Vorname

Postfach/Straße

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift