

Die grafische Präsentation von Altlasten- Bewertungswissen in der Wissenserwerbskomponente von XUMA-GEFA

Wolfgang Ferse¹, Thomas Reitz²

1 Einleitung

In einer mehrjährigen Zusammenarbeit zwischen den Forschungszentren Karlsruhe (FZK) und Rossendorf (FZR), der Technischen Universität Dresden (TUD) sowie der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) und dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) wurde über verschiedene Entwicklungsstadien das wissensbasierte System XUMA-GEFA für Altlasten entwickelt. Dieses System wird seit Ende 1995 in Sachsen und seit 1997 in Baden-Württemberg landesweit für die Bewertung von Altlasten eingesetzt. Eine Teilkomponente von XUMA-GEFA ist die Altlastenbewertungsfunktion. Ausschließlich auf diese Funktion wird im vorliegenden Beitrag eingegangen.

Vor dem Hintergrund der Tatsache, daß es sich bei der Altlastenbewertung um ein noch relativ junges Fachgebiet mit einer dynamischen Methodenentwicklung handelt, kommt der Wissenserwerbskomponente beim Einsatz der Bewertungsfunktion von XUMA-GEFA eine entscheidende Bedeutung zu. Die Präsentation des Wissens innerhalb der Wissenserwerbskomponente der Altlastenbewertungsfunktion orientierte sich ursprünglich im System XUMA an den syntaktischen Strukturen der Wissensbasis. Wie der Einsatz dieser Wissenserwerbskomponente im Landesamtes für Umwelt und Geologie Sachsen zeigte, waren die Altlasten-Experten jedoch nicht in der Lage, ihr Fachwissen selbständig und mit angemessenem (Zeit)aufwand in die Struktur der Wissensbasis zu transformieren.

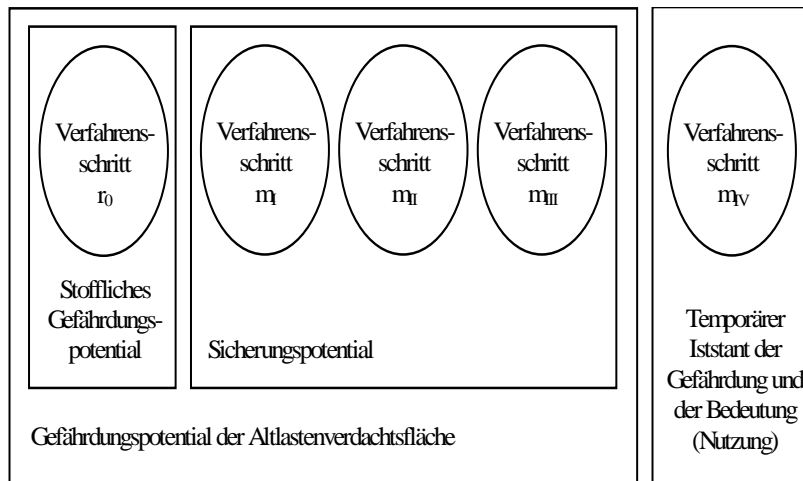
Der vorliegende Beitrag beschreibt, ausgehend von der Erläuterung des Bewertungsverfahrens, die anwendungsorientierte Neuentwicklung einer grafischen Wissensrepräsentation für die Altlastenbewertungsfunktion.

¹ Forschungszentrum Rossendorf, PF 510119, 01314 Dresden

² Technische Universität Dresden, 01069 Dresden

2 Das Baden-Württembergische Bewertungsverfahren für Altlasten

Das Bewertungsverfahren in XUMA-GEFA basiert auf der baden-württembergischen Methodik zur Bewertung von Altlasten (Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg 1988 /2/, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung 1994 /3/). Auf verschiedenen, nacheinander abzuarbeitenden Beweismustern, die jeweils dem Kenntnisstand der zugeordneten Erkundungsstufe entsprechen, wird das Gefährdungspotential der Altlast bewertet und ein entsprechender Handlungsbedarf abgeleitet.



- r_0 Ausgangsrisiko infolge Stoffgefährlichkeit
- m_I zu erwartender Schadstoffaustrag aus der Altlastenverdachtsfläche
- m_{II} zu erwartender Schadstoffeintrag in das Schutzgut
- m_{III} zu erwartender Schadstofftransport im und Schadstoffwirkung auf das Schutzgut
- m_{IV} Bedeutung des Schutzgutes sowie momentane Schutzgutgefährdung

Abbildung 1: Verfahrensschritte bei der Altlastenbewertung

Die Bewertung auf jedem Beweismuster gliedert sich in einzelne Verfahrensschritte (siehe Abbildung 1). Ausgehend von der Stoffgefährlichkeit r_0 gehen in den nachfolgenden drei Verfahrensschritten die Parameter ein, die angesichts des Schadstoffaustrages (m_I), des Schadstoffeintrages in das Schutzgut (m_{II}) sowie des Schadstofftransportes und der Wirkung im Schutzgut (m_{III}) relevant sind. Hierbei wird jeder bewertungsrelevante Sachverhalt hinsichtlich seines risikoerhöhenden bzw. risikomindernden Einflusses im Vergleich mit einer definierten Standardlast bewertet. Der sich ergebende relative Risikowert wird in einem fünften Verfahrensschritt ent-

sprechend der Bedeutung des Schutzgutes und dessen derzeitiger Schadstoffbelastung (m_{IV}) gewichtet.

Abbildung 2: Ausschnitt aus Bewertungsablaufplan
Innerhalb jedes Verfahrensschrittes gibt es eine Anzahl bewertungsrelevanter Sachverhalte, die als Merkmale (bzw. Bewertungsmerkmale) bezeichnet werden und in

einem Ablaufplan angeordnet werden können. Zwischen den einzelnen Merkmalen existieren fachliche Abhängigkeiten. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Merkmals-Ablaufplan für den Verfahrensschritt m_{II} des Schutzgutes Grundwasser.

Der Anwender belegt die einzelnen Merkmale mit sogenannten Merkmalswerten, welche die fallspezifische Ausprägung der Merkmale darstellen. Auf der Basis dieser Merkmalswerte werden für die einzelnen Merkmale Bewertungszahlen ermittelt, welche jeweils aus einem minimalen und einem maximalen Wert, die den Bewertungsbereich darstellen, und dem gewichteten Mittelwert - $r_{\text{mittel}} (r_{\text{min}} r_{\text{max}})$ - bestehen. Für einige Merkmale kann der Anwender die vom Programm ermittelte Bewertungszahl in vorgegebenen Grenzen ändern. Damit erhält er die Möglichkeit, korrigierend in die Bewertung einzugreifen.

Innerhalb jedes Verfahrensschrittes werden die Bewertungszahlen der einzelnen Merkmale additiv zusammengefaßt. Danach wird, unter Berücksichtigung der Risikokennziffern der Verfahrensschritte, eine Gesamt-Risikokennziffer ermittelt, die analog zu den Merkmals-Bewertungszahlen aus drei Zahlenwerten besteht. Der Maximalwert der Gesamt-Risikokennziffer wird zur Ermittlung des Handlungsbedarfes herangezogen, während der Mittelwert für die Festlegung der Abarbeitungsreihenfolge maßgeblich ist.

3 Die Implementierung der Bewertungsfunktion in XUMA-GEFA

3.1 Die Komponenten der Bewertungsfunktion

Die Bewertungsmethodik wird von den Fachbehörden an zentraler Stelle im Land erarbeitet und weiterentwickelt. Deshalb stellt XUMA-GEFA die Bewertungsmethodik in Form einer modifizierbaren Wissensbasis zur Verfügung.

Die **objektorientierte Wissensbasis** enthält die Merkmale, Tabellen und Regeln für die Bewertung der Altlastverdachtsflächen (siehe Punkte 2 und 3.2). Die **Wissenserwerbskomponente** ermöglicht es den Fachbehörden, die Wissensbasis ohne zusätzlichen Programmieraufwand fachlich zu erweitern und zu aktualisieren. Damit besteht die Möglichkeit XUMA-GEFA jederzeit dem aktuellen Kenntnisstand anzupassen.

Mit Hilfe eines **Programmgenerators** wird das separate Anwendungsprogramm **zur Bewertung von Altlastverdachtsflächen** (im weiteren als Laufzeitsystem bezeichnet) aus der Wissensbasis erzeugt. Dieses vollständig von der Wissensbasis unabhängige Laufzeitsystem gestattet den Vor-Ort-Einsatz auf einem MS-Windows-PC. Durch das direkte Generieren des Laufzeitsystems aus der Wissensbasis ist gewährleistet, daß das erzeugte Programm dem aktuellen Wissensstand entspricht und das gesamte Programmsystem konsistent arbeitet.

Zusätzlich wird ein externes Datenbank-Strukturfile generiert mit dem es möglich ist, die externe Falldatenbank, in der die Bewertungsergebnisse verwaltet werden, an die jeweils neue Bewertungsstruktur anzupassen.

Die einzelnen Komponenten des Systems XUMA-GEFA und ihr Zusammenspiel beim Prozeß des Wissenserwerbs und der Programmgenerierung zeigt Abbildung 3. Weitere Details zum System XUMA-GEFA sind in /4/ und /5/ zu finden.

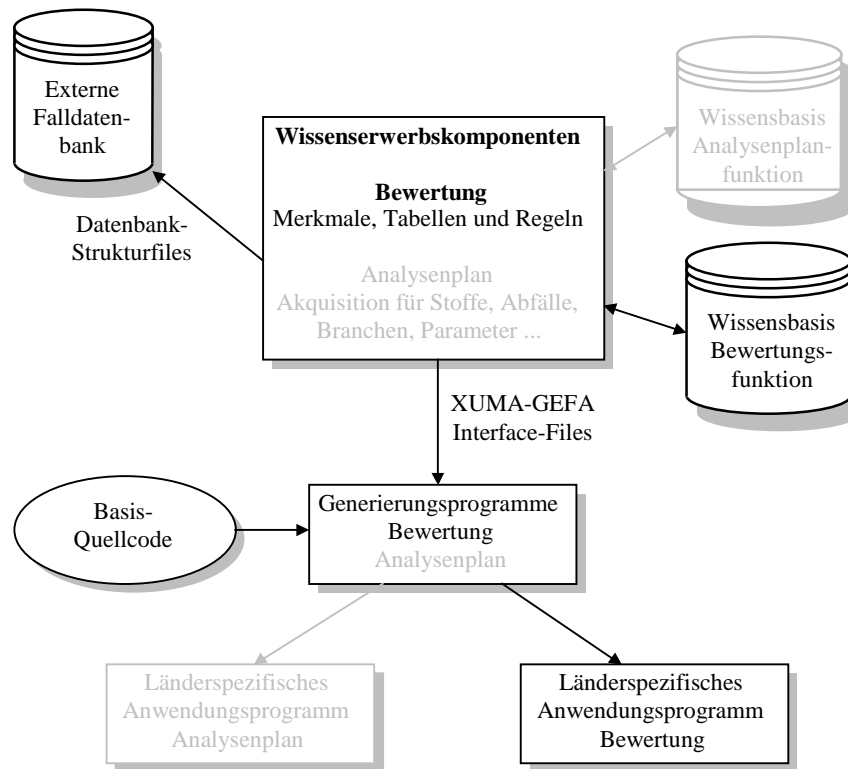


Abbildung 3: Schema der Programmgenerierung in XUMA-GEFA

Das System XUMA-GEFA wird gegenwärtig in den Ländern Baden-Württemberg und Sachsen landesweit als offizielles Altlasten-Bewertungssystem für die Schutzgüter Grundwasser und Boden auf dem Beweinsniveau 1 und 2 eingesetzt. Damit verfügen diese Länder über einen geschlossenen Informationskreislauf, der ohne Programmieraufwand dynamisch der Methodik der jeweiligen Länder angepaßt werden kann. Durch diese Flexibilität des Programmsystems ist es möglich, daß auch andere Länder, die eine Variante des Baden-Württemberger Bewertungsverfahrens verwenden, das Programmsystem XUMA-GEFA nachnutzen können.

3.2 Die semantische Bewertungsstruktur innerhalb des Laufzeitsystems

Wie unter Punkt 2 beschrieben, untergliedert sich das Bewertungsverfahren in fünf Verfahrensschritte in denen die Bewertungsmerkmale enthalten sind. In XUMA-GEFA wurden diese Verfahrensschritte zur besseren Nutzerführung nochmals in Formulare unterteilt, wobei ein Verfahrensschritt beliebig viele Formulare enthalten kann. Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die Präsentation und Verarbeitung der Merkmale bezüglich der Formulare, die in XUMA-GEFA die kleinste merkmalszusammenfassende Einheit darstellen und damit beim Wissenserwerb den grundlegende Bearbeitungskontext für die Merkmale bilden.

Ein Formular enthält eine Menge von Merkmalen, die dem Anwender inhaltlich und optisch zusammenhängend dargeboten werden soll. Dabei müssen zur Laufzeit folgende Funktionen realisiert werden:

- a) Anordnung der Merkmale in einer vorgegebenen Reihenfolge
- b) kontextsensitive Anzeige der Merkmale (im Abhängigkeit der Merkmalswerte anderer Merkmale)
- c) Bereitstellung verschiedener Eingabearten für verschiedene Merkmale (z.B. Zahlen, Bereiche, Berechnungsprogramme)
- d) Syntaktische und semantische Prüfung der eingegebenen Merkmalswerte
- e) Ermittlung von Merkmalswerten und Bewertungszahlen für die Merkmale
- f) Zusammenfassung der Merkmalsbewertungen zu einer Gesamtbewertung (Gesamt-Risikokennziffer)

Im Laufzeitsystem werden diese Funktionen durch ein Zusammenspiel von drei grundlegenden Objekttypen realisiert: Merkmalen, Tabellen und Regeln. Diese können im Wissenserwerb definiert und geändert werden.

3.2.1 Merkmale

Merkmale (auch: Bewertungsmerkmale) sind die zentralen Entitäten im Prozeß der Erfassung und Bewertung einer Altlast, denn eine Altlast zu bewerten heißt, Bewertungsmerkmale mit Ausprägungen (insbesondere Merkmalswerten) zu belegen, ihnen anschließend (elementare) Bewertungszahlen zuzuordnen und schließlich die Bewertungszahlen auf höherer Ebene (arithmetisch) zusammenzufassen (siehe auch Punkt 2).

Ein Bewertungsmerkmal ist ein Objekt, das durch Attribute beschrieben wird. Dabei gibt es zwei grundlegende Arten von Attributen: Vorgabeattribute und auszuprägende Attribute.

Die **Vorgabeattribute** werden mit Hilfe der Wissenserwerbskomponente durch den Fachexperten belegt, editiert oder gelöscht. Durch die Belegung der Vorgabeattribute werden die folgenden Sachverhalte festgelegt.

- Einordnung des Merkmals in das Gesamtbewertungssystem (siehe Tabelle "Vorgabeattribute", Nr. 1 bis 3)
- Anordnung des Merkmals im Ablaufplan des Formulars sowie seine Wechselwirkung mit anderen Merkmalen (siehe Tabelle "Vorgabeattribute", Nr. 11 bis 13)
- Steuerung der Ausprägung des Bewertungsmerkmals durch den Nutzer (siehe Tabelle "Vorgabeattribute", Nr. 15, 16, 20 bis 22)

Die Tabelle "Vorgabeattribute" zeigt eine Auswahl der insgesamt 27 Vorgabeattribute. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgabeattribute ist /1/ zu entnehmen.

Nr.	Vorgabeattribut	Bedeutung
1	Bezeichnung	bezeichnet Merkmal; weist Fachmann auf die Bedeutung des Merkmals hin
2	Schutzgut	definiert, welchem Schutzgut das Merkmal zugeordnet ist
3	Formular	definiert, welchem Formular das Merkmal zugeordnet ist
...		
11	eingeben-wenn	Bedingung, wann ein Bewertungsmerkmal ausgeprägt werden muß
12	nicht-eingeben-wenn	Bedingung, wann ein Bewertungsmerkmal nicht ausgeprägt werden darf
13	nur-eingeben-wenn	Bedingung, wann ein Bewertungsmerkmal ausgeprägt werden darf
...		
15	lokale-Konsistenz	Verweis auf Regel, die Bedingungen bezüglich der auszuprägenden Attribute des Bewertungsmerkmals prüft
16	lokale-Tabellen	Verweis auf die Tabellen, die den Wertebereich für die Benutzerbewertung vorgeben
...		
20	Auswahlbereich	Liste der Menüpunkte, aus der der Nutzer einen Wert auswählen kann (Attribut wird nur bei Merkmalsklassen mit Auswahlmöglichkeit angeboten)
21	Eingabebereich	legt Typ der Eingabe und deren Wertebereich fest (Attribut wird nur bei Merkmalsklassen mit Tastatureingabe angeboten)
22	Programm	enthält Bezeichnung eines externen Programmes das zur Ausprägung des Bewertungsmerkmals aufgerufen werden soll (Attribut wird nur bei Merkmalsklassen mit Aufrufmöglichkeit externer Programme angeboten)
...		

Tabelle: 1 Vorgabeattribute

Die **auszuprägenden Attribute** sind die Attribute des Bewertungsmerkmals, die beim Programmlauf von GEFA durch den Nutzer ausgeprägt werden können (Dateneingabe) bzw. die durch das Programm belegt werden (Infoqualität). Durch die Belegung der auszuprägenden Attribute der Merkmale wird die zu untersuchende Altlast beschrieben und kann anschließend bewertet werden. Die Ausprägungen und

Bewertungen werden für alle untersuchten Altlasten in einer externen Falldatenbank abgespeichert.

Auszuprägendes Attribut	Bedeutung
Merkmalwert	fachlich geprägter Eingabewert für das Merkmal; Basis für Bewertung des Merkmals; vom Nutzer eingegeben
Nutzerbewertung	vom Nutzer eingegebene Bewertungszahl, welche die durch das Programm durchgeführte Bewertung überschreibt
Infoqualität	protokolliert die Herkunft des Merkmalswertes bzw. der Bewertung; vom Programm belegt
Kommentar	fachliche Erläuterung für Merkmalswert oder Benutzerbewertung; vom Nutzer eingegeben

Tabelle 2: auszubildende Attribute

Für das Anlegen von Merkmalsobjekten werden im Wissenserwerb verschiedene Klassen angeboten, die verschiedene Ausprägungsarten zulassen. Die Unterscheidung der Klassen erfolgt nach den folgenden Kriterien.

- a) Die Rolle des Bewertungsmerkmals:
 - Interne Merkmale (für Nutzer unsichtbar) - dienen bei der Bewertung als Zwischenspeicher für interne Werte, sind nicht durch Nutzer einstellbar
 - Externe Merkmale (für Nutzer sichtbar)
 - Read-Only-Merkmale: Werte werden angezeigt, aber sind nicht editierbar
 - einstellbare Merkmale: Werte werden angezeigt und sind editierbar
- b) Der Ausprägungstyp des Bewertungsmerkmals:
 - Auswahl - Nutzer wählt aus einer Menge vorgegebener Werte
 - Tastatureingabe - Nutzer gibt einen konkreten Wert; Begrenzung durch vorgegebenen Wertebereich
 - Programm - Nutzer kann Programm zur Berechnung der Merkmalsausprägung aus anderen Werten starten

Ausgehend von diesen drei Grundformen sind Kombinationen und Verfeinerungen möglich. Abbildung 4 zeigt die sich aus der oben genannten Einteilung ergebende Struktur der Merkmalsklassen.

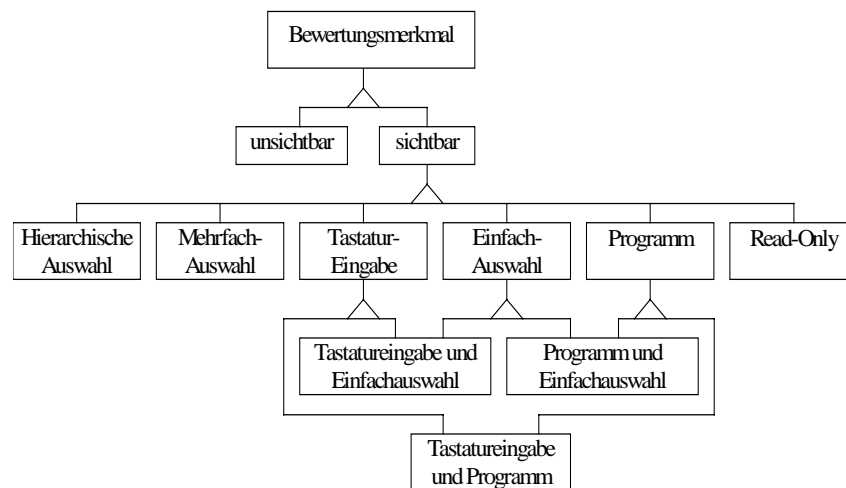


Abbildung 4 Die Klassenstruktur der Bewertungsmerkmale

Die einzelnen Merkmale werden von der Bewertungsfunktion unter Auswertung der vorhandenen Merkmalswerte sowie unter Nutzung von Bewertungstabellen und -regeln mit einer Bewertungszahl bewertet. Unter Ausnutzung des Merkmals-Klassenkonzeptes kann die Bewertung der jeweiligen Datenqualität angepaßt werden, indem der Bereich der Bewertungszahl (siehe Punkt 2) entsprechend variiert wird. Beispielsweise ergeben sich beim Einsatz der Merkmalsklasse "Tastatureingabe und Einfachauswahl" die folgenden Möglichkeiten.

- Bei Eingabe eines konkreten Wertes über Tastatureingabe (z.B. Fließgeschwindigkeit=3m/s) wird der Bewertungsbereich i.A. gleich Null, d.h. minimaler und maximaler Wert sind gleich dem gewichteten Mittelwert.
- Sind nur unsichere Eingabedaten verfügbar, wählt der Nutzer einen unscharfen Eingabebereich über Einfachauswahl (z.B. Fließgeschwindigkeit zwischen 1 m/s und 10 m/s), was eine Bewertungszahl mit einem entsprechenden Bereich ergibt.
- Können zu einem fakultativen Merkmal keine Angaben gemacht werden, erfolgt eine Standardbewertung mit Bereich, die in den Vorgabeattributen definiert ist.

Damit wird sichergestellt, daß fehlende Daten nicht zu einer Verminderung der Risikokennziffer führen. Die Größe des Bewertungsbereiches der Gesam-Risikokennziffer (siehe Punkt 2) hängt davon ab, wieviele fakultative Merkmale nicht eingegeben und ob unscharfe Merkmalswerte gewählt wurden. Die Größe des Bewertungsbereiches ist somit auch ein Maß für die Unsicherheit des Ergebnisses.

Alle Bewertungsmerkmale können ausschließlich beim Wissenserwerb durch den Fachexperten erzeugt und ggf. auch gelöscht werden. Der Nutzer des Laufzeitsystems kann nur die ausprägende Attribute eines Bewertungsmerkmals editieren und die Bewertung veranlassen.

3.2.2 Regeln

Die Regeln dienen zum Prüfen der eingegebenen Merkmalsausprägungen, zur Ausprägung von Merkmalen und zu deren Bewertung. In XUMA-GEFA werden, in Abhängigkeit von ihrer Funktion, vier verschiedene Klassen von Regeln verwendet:

- a) Lokale Konsistenzprüfregeln
 - Prüfung der durch den Nutzer erfolgten Merkmalsausprägung
 - Beeinflussung der Merkmalsausprägung
- b) Globale Konsistenzprüfregeln
 - Prüfung der logischen Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Merkmalen bzw. deren Ausprägungen
- c) Wertzuweisungsregeln
 - Ausprägung von Merkmalen unter Beachtung von Bedingungen oder/und Ausprägungen anderer Merkmale
- d) Bewertungsregeln
 - Bewertung der Merkmale in Abhängigkeit von ihren Ausprägungen

Alle Regeln können ausschließlich beim Wissenserwerb durch den Fachexperten erzeugt, geändert oder gelöscht werden.

3.2.3 Tabellen

Tabellen stellen in XUMA-GEFA Hilfsmittel dar, die für die Ausprägung und Bewertung von Merkmalen durch die Regeln sowie für das Prüfen der Benutzerbewertung genutzt werden. Dabei treten die folgenden Tabellenklassen auf, die sich sowohl durch ihre Struktur als auch durch ihre Funktion unterscheiden.

1. Wertzuweisungstabellen
 - werden von Wertzuweisungsregeln genutzt
 - enthalten Merkmalsausprägungen als Funktion der Ausprägungen von einem oder zwei anderen Merkmalen
2. Bewertungstabellen
 - werden von Bewertungsregeln genutzt
 - enthalten Bewertungszahlen als Funktion der Ausprägungen von einem oder zwei anderen Merkmalen
3. Lokale Tabellen
 - werden herangezogen, wenn für ein Merkmal die Ausprägung der Nutzerbewertung erfolgt
 - enthalten zulässige Nutzerbewertungs-Bereiche als Funktion der möglichen Merkmalswert-Ausprägungen

Alle Tabellen können ausschließlich beim Wissenserwerb durch den Fachexperten erzeugt, geändert oder gelöscht werden.

3.2.4 Der Bewertungsablauf im Laufzeitsystem

Bei der Durchführung einer Bewertung im Laufzeitsystem laufen die folgenden Vorgänge und Funktionen ab.

1. Öffnen eines Formulars
 - Abarbeitung aller dem Formular zugeordneten Wertzuweisungsregeln in der Reihenfolge, wie sie durch den Wissenserwerb vorgegeben ist.
 - Anordnung der Merkmale entsprechend der in den Vorgabeattributen festgelegten Reihenfolge. Ausblenden der Merkmale, die schon bei Öffnen des Formulars nicht eingegeben werden dürfen (Vorgabeattribute: nicht-eingeben-wenn- und nur-eingeben-wenn-Bedingung). Bei Merkmalen, die bei Öffnen des Formulars nicht eingegeben werden dürfen aber bereits einen Wert besitzen, werden diese Werte gelöscht.
 - Ausprägung der Merkmalen über Merkmalsdialoge. Beim Verlassen eines Merkmalsdialoges wird eine Prüfung der Dateneingabe (Vorgabeattribute, lokalen Konsistenzprüfungsregeln) durchgeführt.
2. Verlassen eines Formulars
 - Abarbeitung aller dem Formular zugeordneten Wertzuweisungsregeln in der Reihenfolge, wie sie durch den Wissenserwerb vorgegeben ist.
 - Abarbeitung der globalen Konsistenzprüfungen und der Eingabe-Bedingungen (Vorgabeattribute: eingeben-wenn, nicht-eingeben-wenn, nur-eingeben-wenn).
3. Bewertung eines Verfahrensschrittes
 - Bewertung des Verfahrensschrittes als Ganzes, d.h. alle Formulare müssen konsistente Daten enthalten.
 - Abarbeitung aller Wertzuweisungs- und Konsistenzprüfregeln sowie aller Eingabebedingungen für alle Formulare des Verfahrensschritts (siehe Verlassen eines Formulars) in deren vorgegebener Reihenfolge.
 - Abarbeitung aller Bewertungsregeln des Verfahrensschrittes und Ausprägung der Merkmals-Bewertungen.
 - Zusammenfassung der Merkmalsbewertungen über Formulare und Verfahrensschritte.

Neben der Ausgabe eines ausführlichen Bewertungsprotokolls (Liste alle Merkmale mit ihren Merkmalswerten und Bewertungszahlen) und des KONTA-Blattes (graphische Darstellung der Ergebnisse) speichert die Bewertungsfunktion diese Daten in speziellen Dateien ab, die direkt in die externen Falldatenbanken eingelesen werden können.

4 Die Wissenserwerbskomponente der Bewertungsfunktion von XUMA-GEFA

Wie der Einsatz von XUMA-GEFA im Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen zeigte, waren die Altlasten-Experten nicht in der Lage, mit der ursprünglichen, syntaxorientierten WEK ihr Fachwissen selbständig und mit angemessenem (Zeit)aufwand in die Struktur der Wissensbasis zu transformieren. Als besonders kompliziert erwies sich die Belegung der Vorgabeattribute, die das dynamische Verhalten bei der Bewertung steuern (eingeben-wenn, nicht-eingeben-wenn, nur-eingeben-wenn) sowie generell der Regeln. Deshalb entschieden wir uns für eine Neuimplementierung der WEK, wobei wir uns streng an der Sichtweise der Anwender auf das Fachwissen orientierten. Als erster Schritt wurde der Merkmals-Wissenserwerb neu entworfen.

Der grundlegende Bearbeitungskontext für den Wissenserwerb der Merkmale ist das Formular (siehe Punkt 3.2). In der WEK wird, im Gegensatz zum Laufzeitsystem, wo ein Formular verschiedene Erscheinungsformen haben kann, mit einem generischen Formular gearbeitet, das die Vereinigungsmenge aller Formulare umfaßt. Die jeweils aktuelle Erscheinungsform des Formulars zur Laufzeit wird durch einen Teil der unter Punkt 3.2.1 beschriebenen Vorgabeattribute (eingeben-wenn, nicht-eingeben-wenn, nur-eingeben-wenn) erreicht, welche die Aus- und Einblendung von Merkmalen steuern.

Als Paradigma für die graphische Struktur der Merkmale wurde eine Art Programmablaufplan gewählt (siehe Abbildung 5), da diese Form in der kozeptionellen Vorbereitung bisheriger GEFA-Versionen auf dem Papier verwendet wurde und deshalb in der Gedankenwelt der Experten bereits verankert war. Grundlegende Idee ist dabei, die verschiedenen möglichen Erscheinungsformen bzw. Varianten eines Formulars als mögliche Eingabepfade anzusehen, die ein Anwender beim Eingeben von Daten in das Formular durchlaufen kann. Die verschiedenen Varianten ergeben sich durch bedingungsgesteuerte Verzweigungen analog zum Programmablaufplan.

Das Konzept der Pfadverzweigungen erwies sich als der Denkweise der Experten wesentlich angemessener als die Spezifikation der Gültigkeit jedes einzelnen Merkmals in Abhängigkeit von allen anderen, wie erste Tests vollauf bestätigten. Die richtige Modellierung der in der WEK zu beschreibenden Situation wird durch die grafische Repräsentation schneller gefunden. Syntaktische Fehler sind ausgeschlossen, inhaltliche Fehler werden besser und schneller erkannt und korrigiert. Im folgenden sollen einige Details des neuen Merkmals-Wissenserwerbs zur Verdeutlichung der Funktionsweise genauer dargestellt werden.

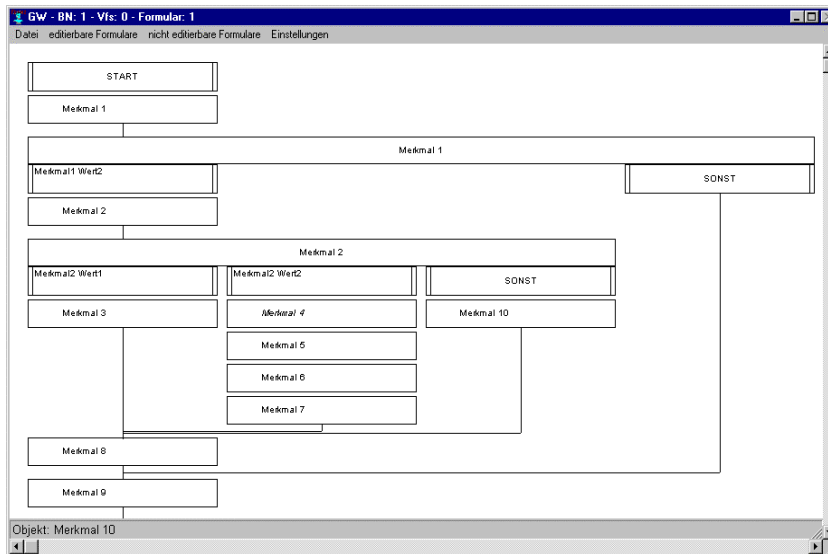


Abbildung 5: Screen-Snapshot aus WEK-GEFA für Merkmale

4.1 Merkmale

Wie die Merkmale in einem Formular des Laufzeitsystem angeordnet werden sowie deren Eigenschaften bezüglich der Datenausprägung wird durch die Vorgabeattribute bestimmt (siehe Punkt 3.2). In der ursprünglichen Version der WEK wurden alle Vorgabeattribute rein syntaxorientiert-textlich und nur im Kontext des einzelnen Merkmals definiert, eine Darstellung des Zusammenhangs der Merkmale im Formular existierte nicht.

Das betraf auch jene Vorgabeattribute, die die Stellung und die Eingabebedingungen der Merkmale bestimmen. So mußten beispielsweise für das Merkmal "Merkmal 4" in Abbildung 5, welches ein Pflichtmerkmal sein soll, die folgenden Eingabebedingungen formuliert werden:

- nur-eingeben-wenn: ("Merkmal 1" = "Merkmal1 Wert2") UND
("Merkmal 2" = "Merkmal2 Wert2")
- eingeben-wenn: immer

Diese Eingabebedingung bedeutete, daß Merkmal 4 eingegeben werden muß, wenn "Merkmal 1" = "Merkmal1 Wert1" und "Merkmal 2" = "Merkmal2 Wert2" und ansonsten nicht eingegeben und angezeigt werden darf.

Diese Bedingungen mußten für jedes einzelne Merkmal aufgestellt und eingegeben werden und wurden ausschließlich in textlicher Form in der Wissensbasis abgespeichert. Der Nutzer hatte keine andere Möglichkeit sich von der semantischen Richtigkeit seines Ablaufplanes zu überzeugen als die, die Sinnfälligkeit seiner Ein-

gabebedingungen anhand seines Ablaufplanentwurfes auf dem Papier zu vergleichen bzw. die Auswirkungen dieser Bedingungen im Laufzeitsystem zu testen.

In der neuen grafischen WEK wird nun das Formular mit seinen Merkmalen als graphische Struktur präsentiert, d.h. die Merkmale werden direkt im grafischen Ablaufplan plaziert. Ihre Stellung im Bewertungspfad wird unmittelbar ersichtlich, die Ablaufreihenfolge ist klar. Damit ist eine explizite Eingabe von Eingabebedingungen für die Anzeige einzelner Merkmale nicht mehr notwendig, die Eingabebedingungen korrespondieren mit der graphischen Struktur und werden von der WEK automatisch im Hintergrund generiert. Somit lassen sich nunmehr zwei verschiedene Arten von Vorgabeattributen unterscheiden:

- Relationale bzw. kontextabhängige Vorgabeattribute (Formular, Reihenfolge, Eingabebedingungen usw.) werden vom Programm selbständig aus der Stellung des Merkmals in der graphischen Struktur abgeleitet.
- Elementare bzw. textliche Vorgabeattribute (Bezeichnung, Wertebereich, Standardbelegungen usw.) werden beim Merkmal selbst in einem klassenspezifischen Dialog erfaßt und dargestellt.

Um ein neues Merkmal einzuführen, bestimmt der Nutzer zunächst dessen Platz in der grafischen Formularstruktur, indem er das vorhergehende, schon existierende Objekt fokussiert hinter dem ein neues Merkmal eingefügt werden soll. Durch das Einfügen des Merkmals in die grafische Struktur werden durch das Programm dessen kontextabhängige Vorgabeattribute belegt.

Danach wird dem Nutzer ein Popup-Menü angeboten, in dem er zuerst die gewünschte Merkmalsklasse (siehe Punkt 3.2.1) bestimmt. Die Merkmalsklasse, welche die Funktion eines Merkmals im Bewertungsprozeß beschreibt und später nicht mehr geändert werden kann, wird somit der Merkmalerzeugung bestimmend vorangestellt.

Anschließend wird ein klassenspezifischer Dialog angezeigt der es dem Nutzer gestattet, die weiteren Vorgabeattribute für das neue Merkmal zu initialisieren. Nach der Bestätigung der Eingaben wird das neue Merkmal erzeugt, initialisiert und in die graphische Struktur eingefügt. Bei nachfolgenden Editierschritten können die Vorgabeattribute ergänzt und/oder verändert werden.

Sowohl die grafische Struktur (Reihenfolge und Anordnung der Merkmale) als auch die textlichen Vorgabeattribute sind durch den Nutzer direkt editierbar, so daß Anordnung und Reihenfolge der Merkmale jederzeit anschaulich bleibt. Dabei erfolgt sofort eine Überprüfung auf unzulässige Operationen, die unkorrekte Strukturen von vornherein vermeidet.

4.2 Eingabebedingungen

Die Erfassung der Eingabebedingungen unterscheidet sich im grafischen Wissenserwerb völlig von der in der Vorgängerversion. Statt die Eingabebedingungen lokal für

jedes Merkmal zu erfassen, werden die zusammengehörigen Merkmale, wie unter Punkt 4.1 beschrieben, zu Pfaden zusammengefaßt, die als Block behandelt werden. Zusätzlich zu den Merkmalen werden auf der Ebene der WEK Verzweigungsobjekte eingeführt, die ein Verzweigen der Pfade in mehrere optionale Kontexte ermöglichen. Im Ergebnis entsteht so ein Netzwerk aus Merkmalen und Verzweigungen, das alle vorgesehenen Eingabepfade bzw. alle möglichen Laufzeitausprägungen eines Formulars kompakt und übersichtlich darstellt (siehe auch 5).

Für jeden Verzweigungspfad einer Verzweigung müssen Bedingungen formuliert werden, die dann für alle Merkmale dieses Pfades zutreffen. Die Bedingungen einer Verzweigung sind genau von einem Merkmal, im weiteren als Bedingungsmerkmal bezeichnet, abhängig, die positive Formulierung der Bedingung steht als Text über dem jeweiligen Verzweigungspfad.

Aus der Bewertungsmethodik ergeben sich folgende Verzweigungsbedingungstypen. Das Bedingungsmerkmal

- hat eine bzw. hat keine Ausprägung
- hat eine Ausprägung, die Teilmenge eines vorgegebenen Bereiches B ist bzw. die nicht im Bereiches B liegt.

Eine Verzweigung kann analog zu einem Merkmal an beliebigen Stellen innerhalb des grafischen Ablaufplanes eingefügt werden. Dazu wird das vorangehende Objekt fokussiert und die neue Verzweigung erzeugt. Beim Erzeugen der Verzweigung kann der Nutzer zwischen zwei verschiedenen Verzweigungsarten, Einfach- oder Mehrfachverzweigung (nur für Bedingungsmerkmale mit Auswahlbereich), wählen. Anschließend wird dem Nutzer ein verzweigungsartspezifischer Dialog angeboten, in dem die Verzweigungsbedingungen formuliert werden müssen.

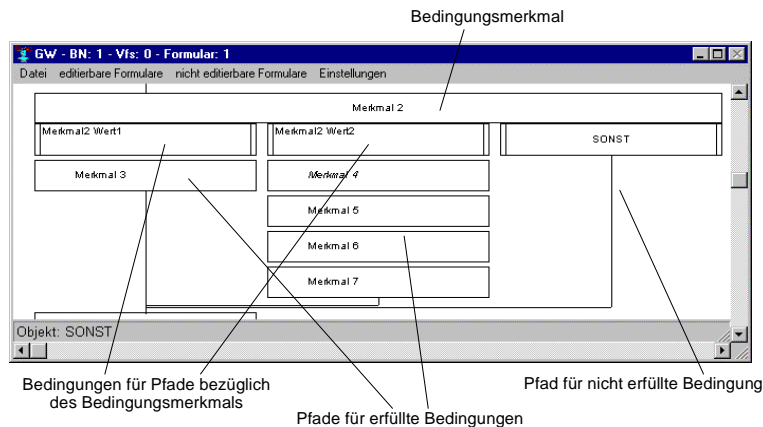


Abbildung 2 Mehrfachverzweigungen im WEK

Das Formulieren der Verzweigungsbedingung erfordert folgende Schritte:

1. Auswahl des Bedingungsmerkmal aus der Liste aller möglichen Merkmale
 2. Wahl des oben beschriebenen Bedingungstyps (hat einen Wert, ist in Wertebereich ...)
 3. Kennzeichnung einer Teilmenge des Wertebereiches für den positiven Zweig
- Für den Nutzer der WEK werden die Verzweigungen, sowohl bei der Eingabe als auch bei einem evtl. später durchgeführten Editiervorgang, wie in Abbildung 2 (Beispiel Mehrfachverzweigung) dargestellt präsentiert.

4.3 Aufbau und Modifikation der grafischen Struktur

Der Hintergrund des aktuellen Arbeitsfensters dient als Behälter für die Objekte eines Formulars. Standardmäßig wird ein neues Formular mit dem Kopfelement des primären Pfades initialisiert. Von diesem Kopfelement aus kann die Struktur durch Anfügen und Verzweigen schrittweise erzeugt werden und wächst entsprechend in zwei Dimensionen:

- vertikal: Pfade (sequentiell)
- horizontal: Verzweigungen (alternativ)

Die graphischen Objekte werden bei Mauskontakt automatisch fokussiert, der Anwender hat nun die Wahl zwischen lokaler Bearbeitung oder lokalem Einfügen eines Objektes (rechte Maustaste) oder Copy/Paste-Operationen zur Änderung der Gesamtstruktur (linke Maustaste). Einfügungen erfolgen immer hinter dem fokussierten Objekt.

Eine komplette Verzweigung (bestehend aus Bedingung und Zweigen mit Merkmalen) wird als ein Objekt behandelt, wobei die Auswahl der Bedingung stellvertretend das gesamte Verzweigungsobjekt fokussiert.

Wenn ein fokussiertes Objekt (Merkmal oder komplette Verzweigung) in den Zwischenpuffer übernommen wurde, kann es nach Auswahl der Einfügeposition an einer anderen Stelle eingebaut werden. Dazu kann auch das Formular gewechselt werden. Beim Verschieben eines Objektes wird dieses erst von der Ausgangsposition entfernt, wenn das Objekt an der neuen Position plazierte wurde und die Konsistenzprüfung erfolgreich war.

Neben dem Verschieben und Löschen von Objekten ist auch das Erzeugen einer Kopie möglich. Auf diese Weise können Eigenschaften eines Merkmals oder sogar komplette Unterstrukturen (Verzweigungen) in andere Formulare übernommen werden, was sinnvoll ist, weil verschiedene Teile des Bewertungsverfahrens (Beweisniveaus und Schutzgüter) oft ähnlichen Merkmale nutzen.

4.4 Konsistenzprüfung

Zur Absicherung der reibungslosen Funktion der geschilderten Eingabesteuerung zur Laufzeit, müssen einige Einschränkungen beachtet werden, um die Auswertbarkeit der Verzweigungsbedingungen zu garantieren. So muß beispielsweise das Bedingungsmerkmal vor Auswertung der Bedingung bereits belegt sein, da nur so eine sinnvolle Berücksichtigung der Bedingung (z.B. Ausblendung des Merkmals zur Laufzeit) möglich ist. Durch die Copy/Paste-Funktionen wurden noch erweiterte Anforderungen an die Konsistenzprüfung gestellt. Im Einzelnen müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Verzweigungen dürfen nicht in Formulare verschoben werden, die vor dem Formular ihres Bedingungsmerkmal liegen (bzw. Bedingungsmerkmale nicht in Formulare hinter ihre abhängige Verzweigung).
- Aktuell verwendete Bedingungsmerkmal dürfen nicht gelöscht werden; ein Umbenennen eines Bedingungsmerkmals muß in den abhängigen Verzweigungsbedingungen nachgeführt werden.
- Für Auswahlmerkmale und Verzweigungsbedingungen mit Teilbereichen gilt:
- Auswahlwerte dürfen nicht gelöscht werden
- Beim Umbenennen von Auswahlwerten eines Bedingungsmerkmals muß die Umbenennung auch in der abhängigen Verzweigungsbedingung erfolgen.
- Für Mehrfachverzweigungen gilt, daß Zweige nur entfernt werden dürfen, wenn sie keine Merkmale enthalten.

4.5 Belegung der relationalen Vorgabeattribute

Die für die einzelnen relationalen Vorgabeattribute (siehe Punkt 4.1) notwendigen merkmalspezifischen Bedingungen werden erst beim Abspeichern der Wissensbasis erzeugt. Dazu wird die interne Repräsentation der grafischen Formularstruktur traversiert und alle Merkmale, die Bestandteil von Pfadverzweigungen sind, erhalten ihre lokalen Eingabebedingungen, die sich aus allen vorgeschalteten Verzweigungsbedingungen des aktuellen Pfades ergeben. Dabei gelten folgende Regeln:

1. Mehrfachverzweigungen werden in eine Folge von Einfachverzweigungen aufgelöst (siehe Punkt 4.2).
2. Je nach Pfad erfolgt ggf. eine Negation der Bedingung.
3. Die Bedingungen (falls mehrere auftreten) werden konjunktiv verknüpft.
4. Die Gesamtbedingung wird negiert, da sie in GEFA das Ausblenden bzw. das Eingabeverbot beschreibt. Dabei erhält die Gesamtbedingung letztlich eine disjunktive Form.

Für die in Abbildung 5 dargestellte grafische Struktur ergeben sich für das Merkmal "Merkmal 10" die folgenden lokalen Eingabebedingungen:

- Nur-eingeben-wenn: "Merkmal 1" = "Merkmal1 Wert2"
- Nicht-eingeben-wenn: "Merkmal 2" = "Merkmal2 Wert1" ODER
"Merkmal 2" = "Merkmal2 Wert2"

4.6 Revisualisierung

Zusätzlich zur Möglichkeit neue Formulare innerhalb der graphischen Struktur zu entwickeln bietet der graphische Wissenserwerb die Option, ältere Versionen der XUMA-GEFA-Wissensbasis im Paradigma der grafischen WEK darzustellen, wobei jedoch keine Möglichkeit zur Veränderung der Strukturen besteht. Damit wird einerseits die Möglichkeit gegeben, die mit der ursprünglichen WEK durchgeführte Änderungen der Fachmethodik darzustellen und damit auch semantisch zu prüfen und andererseits die Ablaufpläne bestehender Wissensbasen zu drucken. Zur optisch ansprechenden Darstellung werden bei der Revisualisierung temporär Merkmale mit gleichen Bedingungen zu Zweigen zusammengefaßt.

4.7 Struktur und Programmiersprache

Abbildung 7 zeigt schematisch die Struktur der WEK für Merkmale. Zu erkennen ist, daß die grafische Struktur getrennt von der Merkmals-Wissensbasis, in der die Merkmale in der Objektform abgespeichert sind, wie sie unter Punkt 3.2.1 beschrieben wurde, gehalten werden. Für Wissensbasen, die mit der ursprünglichen Version der WEK erzeugt wurden, ist ausschließlich die Merkmals-Wissensbasis vorhanden. D.h. beim Wiedereinlesen können nur die Merkmals-Wissensbasen editiert werden, für die auch die entsprechenden grafischen Strukturen vorhanden sind; die anderen können nur revisualisiert und gedruckt werden.

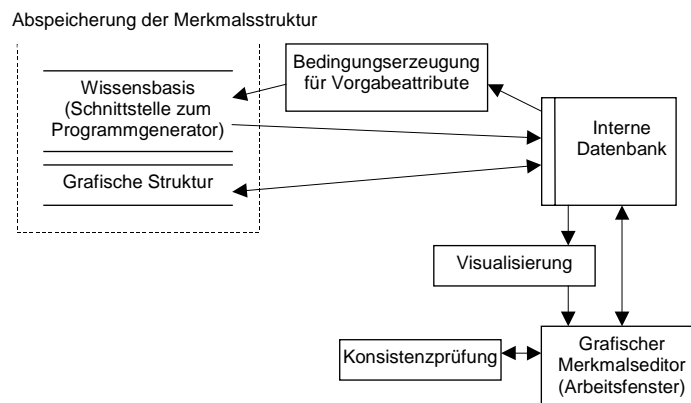


Abbildung 7 Struktur der Merkmals-WEK

Die Implementierungssprache für GEFA und den graphischen Wissenserwerb ist CommonLISP. Die Nutzung von LISP hat ihre Wurzeln in der Geschichte des XUMA-Projektes und wurde stets beibehalten. Als Programmier- und Anwendungs-

umgebung hat sich der Windows-PC fest etabliert und wird in naher Zukunft die UNIX-basierten Systeme aus XUMA vollständig ersetzen.

5. Ergebnisse und Erfahrungen

Bei ersten Tests mit zukünftigen Anwendern konnten die Vorteile des graphischen Ansatzes eindeutig bestätigt werden. Die logische Strukturierung der Eingabe kann erstmals so erfolgen, daß allein die fachlichen Gesichtspunkte ausreichen, um eine fehlerfreie und konsistente Modellierung zu ermöglichen. In der Folgezeit soll dieser Ansatz weiter ausgebaut werden, indem auch die Erfassung von Regeln und Tabellen auf vergleichbare Weise unterstützt wird.

Generell kann festgestellt werden, daß bei der Neuimplementierung der WEK einem hohen Nutzen für den Anwender (verbunden mit guter Akzeptanz) auch ein hoher Aufwand an Entwicklungsarbeit gegenübersteht. Hier zeigt sich ein gewisser Mangel an etablierten generischen Werkzeugen zur Visualisierung von Datenstrukturen, die sich flexibel in die jeweilige Anwendung einfügen. Solche Werkzeuge könnten Erkenntnisse über praktische und angemessene Visualisierung von einzelnen Datenaspekten sowie Objekt- und Relationstypen in allgemeiner Form unterstützen. Wichtig ist dabei aber die Anpassung der äußeren Erscheinung, im strukturellen Zusammenspiel und in der Begriffswelt, an den jeweiligen Anwendungsbereich.

An erster Stelle für den Erfolg einer wissensbasierten Methode steht unserer Meinung nach die Einpassung in das Denkmodell der Anwendung. Das angebotene System muß als Erleichterung und Vereinfachung wirken und darf nicht durch ungewohnte Anforderungsprofile bei der Bedienung belastet werden. Dieser Sachverhalt, der letztlich an der Gesamtwirkung und im praktischen Einsatz beurteilt werden kann, wurde zu einer wesentlichen Grundüberzeugung für unsere Arbeit. Nur durch ein effektives Einbeziehen der jeweiligen Fachleute bzw. Experten, mit der Zielrichtung einer anschaulichen und intuitiv handhabbare Repräsentationen des Fachwissens, kann der wissensbasierte Ansatz mit Wissensbasis und deklarativer Programmierung, der die Flexibilität und Einsatzbandbreite vieler Anwendungen entscheidend erhöht, auch erfolgreich in der Praxis angewendet werden.

6 Literatur

- /1/ Ferse, W.; Geiger, W.; Reitz, Th. u.a. (1996), "Spezifikation und Struktur der Altlastenbewertung mit dem Programmsystem XUMA-GEFA", Bericht, Forschungszentrum Rossendorf, Institut für Sicherheitsforschung
- /2/ *Altlasten-Handbuch, Teil 1: Altlasten-Bewertung*, Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.), Wasserwirtschaftsverwaltung, Heft 18, Dezember 1988
- /3/ *Handbuch zur Altlastenbehandlung in Sachsen*, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, 1994
- /4/ Ferse, W.; Geiger, W.; Reißfelder, M.; Reitz, T.; Schneider, U.; Weidemann, R. (1997); "Das wissensbasierte System XUMA-GEFA für Altlasten: Vom Prototyp zum Produktionssystem"; Umweltinformatik '97; 11. Internationales Symposium der Gesellschaft für Informatik; Straßburg, 10. - 12. September 1997
- /5/ Ferse, W.; Reitz, Th. (1997); "Die Anwendung wissensbasierter Methoden bei der Bewertung von Altlasten"; XPS'97, 4. Deutsche Jahrestagung Wissensbasierte Systeme, Bad Honnef, März 1997