

# **Flächenmanagement von Wasserschutzgebieten mit MapInfo und MS Access**

## **Teil 1: Methodik, Durchführung und Diskussion**

Projektarbeit im Rahmen des Universitätslehrganges  
UNIGIS Professional  
an der Universität Salzburg

Helga Zahn, GeoTeam GmbH

Bayreuth, im Oktober 2000

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	iii
Zusammenfassung .....	iv
<b>1 Einführung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation .....	1
1.2 Zielsetzung .....	2
1.2.1 Übergeordnete Ziele .....	2
1.2.2 Teilziele .....	2
<b>2 Methodischer Ansatz.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Entwicklung einer geeigneten Datenbankstruktur .....</b>	<b>6</b>
<b>4 Kartengrundlage .....</b>	<b>9</b>
4.1 Vorbereitung der Kartengrundlage in AutoCAD Map R2 .....	9
4.2 Überführung der Grundkarte nach MapInfo professional 5.5.....	9
<b>5 Verknüpfung von Geometrie und Sachdaten.....</b>	<b>10</b>
5.1 Zugriff auf Datenbank-Informationen .....	11
<b>6 Durchführung räumlicher Analysen .....</b>	<b>14</b>
6.1 Anforderungen der Wasserversorger .....	14
6.1.1 Visualisierung von Datenbankinhalten.....	14
6.1.2 Abrufen von Informationen zu räumlichen Objekten.....	15
6.1.3 Flächenbilanzen.....	15
6.2 Technische Grundlagen in MapInfo.....	16
6.2.1 SQL-Abfragen.....	16
6.2.2 Erstellen thematischer Karten.....	17
6.2.3 Durchführung von Flächenbilanzen .....	18
6.2.4 Ausgabe der Ergebnisse (graphisch, alphanumerisch) .....	18
6.3 Umsetzung der Anforderungen in MapInfo.....	19
6.3.1 Karte der nutzbaren Feldkapazität und der Rest-Nitratgehalte.....	19
6.3.2 Markierung der Lage von Flächen für Herbstprobenahme .....	21
6.3.3 Bilanzierung der Nutzungsverteilung im Schutzgebiet.....	21
<b>7 Beurteilung der Benutzeroberfläche von MapInfo.....</b>	<b>23</b>
<b>8 Schlußbetrachtung .....</b>	<b>24</b>

<b>9</b>	<b>... und Ausblick .....</b>	<b>26</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>27</b>
<b>11</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>28</b>
	Anhang A: Karte der Rest-Nitratgehalte und der nFKWe im Untersuchungsgebiet	
	Anhang B: Karte für N <sub>min</sub> -Probenahme im Herbst 2000	

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung des methodischen Ansatzes .....	4
Abb. 2: Einteilung von Flurstücken in Teilflächen und Schläge (schematisch) .....	6
Abb. 3: Beziehungen zwischen Access-Datenbanktabellen und Relationen in MapInfo .....	8

## Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit wurde ein Anwendungs-Grundsystem für das Flächenmanagement von Wasserschutzgebieten entwickelt. Die Anwendung ermöglicht die Visualisierung und Analyse flächenbezogener Daten. Für die Erstellung der Anwendung wurden das Desktop-GIS MapInfo professional 5.5 und die Datenbank MS Access 97 verwendet.

Die Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Im Hauptteil wird nach einer Einführung in den Themenbereich der methodische Ansatz dargestellt und die Durchführung im einzelnen erläutert. Dazu gehören die Entwicklung einer Datenbankstruktur, die Aufbereitung der zugrundeliegenden digitalen Karte, die Verknüpfung von externer Datenbank und GIS sowie die Durchführung von räumlichen Analysen. Abschließend werden die Eignung des Systems für die Aufgabenstellung und Möglichkeiten der weiteren Entwicklung diskutiert.

Der zweite Teil der Arbeit enthält eine Arbeitsanleitung, die die bei der Entwicklung durchgeführten Einzelschritte detailliert dokumentiert. Unter anderem werden die Erstellung komplexer Abfragen und spezieller räumlicher Analysen, die Aktualisierung und Ergänzung von Datensätzen sowie die Bearbeitung der Geometrien beschrieben. Des Weiteren finden sich in der Dokumentation Angaben zur Funktionalität von MapInfo.

# 1 Einführung

## 1.1 Ausgangssituation

In vielen Regionen Deutschlands spielt die Gewinnung von Trinkwasser aus Grundwasser und Quellen eine wichtige Rolle. Zum Schutz des Trinkwassers werden im Umgriff der Gewinnungsanlagen Wasserschutzgebiete eingerichtet, deren Größe in erster Linie von den hydrogeologischen Verhältnissen und den Entnahmemengen abhängt. In den meist in drei Zonen unterteilten Schutzgebieten gelten zum Teil strenge Vorschriften, um die Gefahr einer Beeinträchtigung der Grund- und Quellwasserqualität zu minimieren.

Aufgrund der Problematik der konkurrierenden Nutzungen, z.B. zwischen Wassergewinnung und Landwirtschaft, sind die Wasserversorgungsunternehmen gehalten, flächenbezogene Daten zu erfassen, um mögliche Gefahrenherde schnell identifizieren bzw. im Vorgriff verhindern zu können. Die Daten werden in der Regel flurstücks- oder schlagbezogen erfaßt. In zunehmendem Maße erfolgt die Speicherung in Datenbanken, was die Flexibilität bei der Datenhaltung erhöht.

Zur Veranschaulichung der Sachdaten wurden zunächst analoge, von Hand kolorierte Flurkarten verwendet, die mehr und mehr durch Karten abgelöst wurden, die mit CAD-Programmen digital erstellt wurden. Heute ist mit Hilfe der Geographischen Informationssysteme (GIS) die Erfassung, Bearbeitung, Analyse und Verwaltung räumlicher Daten möglich. Um doppelte Datenhaltung zu vermeiden, bietet es sich an, die in einer Datenbank verwalteten Daten zur Darstellung, weiteren Bearbeitung und Analyse in ein GIS zu integrieren.

Die Wahl der für diese Zwecke geeigneten Software hängt von vielen Faktoren ab. Zu den Kriterien gehören außer den Anschaffungskosten und der vorhandenen Hardwareausstattung auch der benötigte Leistungsumfang und die Qualifikation des Benutzers. Im Falle von größeren Wasserversorgungsunternehmen erfolgt die Überwachung der Wasserschutzgebiete und die Beratung von Landwirten häufig durch Mitarbeiter, die zunächst keine spezifischen GIS-Vorkenntnisse mitbringen. Kleinere Wasserversorger (Gemeinden, Zweckverbände) beauftragen in der Regel externe Fachbüros (z.B. GeoTeam GmbH, Naila), bei denen GIS-Kenntnisse vorausgesetzt werden können.

## 1.2 Zielsetzung

### 1.2.1 Übergeordnete Ziele

In der vorliegenden Arbeit soll ein Anwendungs-Grundsystem für das Flächenmanagement von Wasserschutzgebieten, bestehend aus einem GIS und einer externen Datenbank erstellt werden. Der zuständige Bearbeiter (z.B. ein Agraringenieur bei einem Wasserversorger oder einem vom Wasserversorger beauftragten Fachbüro) soll ein Instrument erhalten, mit dem sowohl die Verwaltung der Sachdaten als auch die Visualisierung und Analyse der räumlichen Daten erfolgen kann. Das Zusammenspiel von GIS und externer Datenbank soll die herkömmliche Arbeit mit Tabellenkalkulationsprogrammen und analogen Karten zunächst ergänzen und im Idealfall später komplett ersetzen. Das Grundsystem soll so beschaffen sein, daß es die wichtigsten vom Bearbeiter zu erledigenden Aufgaben vereinfacht.

Schwerpunkt der Arbeit ist die Integration von Sach- und Geometriedaten mit dem Ziel, für den Bearbeiter eine Möglichkeit zu schaffen, mit relativ einfachen Mitteln vom Bildschirm-Arbeitsplatz aus Datenbank-Informationen über räumliche Objekte abzufragen. Die Visualisierung der Daten steht dabei im Vordergrund. Auch die Bearbeitung und Ergänzung der Daten soll mit der Anwendung möglich sein.

Die Erstellung einer erweiterten Datenbankfunktionalität (Berechnung und Auswertung von Nitratgehalten, Berechnung von Ausgleichs- und Prämienzahlungen, Generierung von Berichten, etc.) ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

### 1.2.2 Teilziele

Die in Kapitel 1.2.1 vorgegebene allgemeine Zielsetzung kann in mehrere Zwischenschritte unterteilt werden. Im einzelnen werden folgende Ziele angestrebt:

1. Im GIS sollen SQL-Abfragen durchgeführt werden, mit denen die Datensätze der einzelnen Datenbanktabellen und der zugrundeliegenden Geometrie miteinander verknüpft werden und auf deren Grundlage die Sachdaten in thematischen Karten dargestellt werden können. Die Formulierungen der SQL-Abfragen sollen so abgelegt werden, daß sie später einfach reproduziert werden können.
2. Mit der Anwendung soll die Durchführung für den Wasserversorger relevanter räumlicher Analysen möglich sein. Für die Erstellung verschiedener thematischer Karten sollen Vorlagen für Darstellungsstil und Legendenbeschriftung zur Verfügung gestellt werden.

3. Der Austausch von Daten zwischen dem GIS und der Datenbank soll bidirektional erfolgen können. Es soll untersucht werden, ob und unter welchen Bedingungen die Aktualisierung und Ergänzung von Datensätzen vom GIS aus zu bewerkstelligen ist.
4. Die Benutzerfreundlichkeit der Anwendung soll beurteilt werden. Dazu soll die Frage untersucht werden, unter welchen Umständen für den Bearbeiter ein offenes System oder eine vorkonfigurierte Software sinnvoller ist.
5. Eine Dokumentation der zur Erstellung der Anwendung und zur Weiterbearbeitung notwendigen Arbeitsschritte soll vorgelegt werden. Dazu gehören auch Anleitungen für spezielle räumliche Analysen.

## 2 Methodischer Ansatz

Für die Bearbeitung der Fragestellung wurden die Programme Microsoft Access 97 und MapInfo professional 5.5 ausgewählt. MS Access steht im Rahmen von MS-Office in vielen Unternehmen als handelsübliche Datenbanksoftware für kleine Datenbanken zur Verfügung. MapInfo ist eine relativ kostengünstige, weit verbreitete Desktop-GIS-Software, die auf mehreren Betriebssystemen einsetzbar ist (DICKMANN u. ZEHNER, 1999). MapInfo bietet zusätzlich zur Standard-Verknüpfung über ODBC eine direkte Anbindung an Access-Datenbanken an.

Die für die Bearbeitung der Fragestellung verwendeten Daten wurden exemplarisch aus von der GeoTeam GmbH (Naila) fachlich betreuten Wasserschutzgebieten abgeleitet. Die verwendete digitale Karte wurde aus Plänen eines bestehenden Schutzgebietes erstellt.

Der methodische Ansatz ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

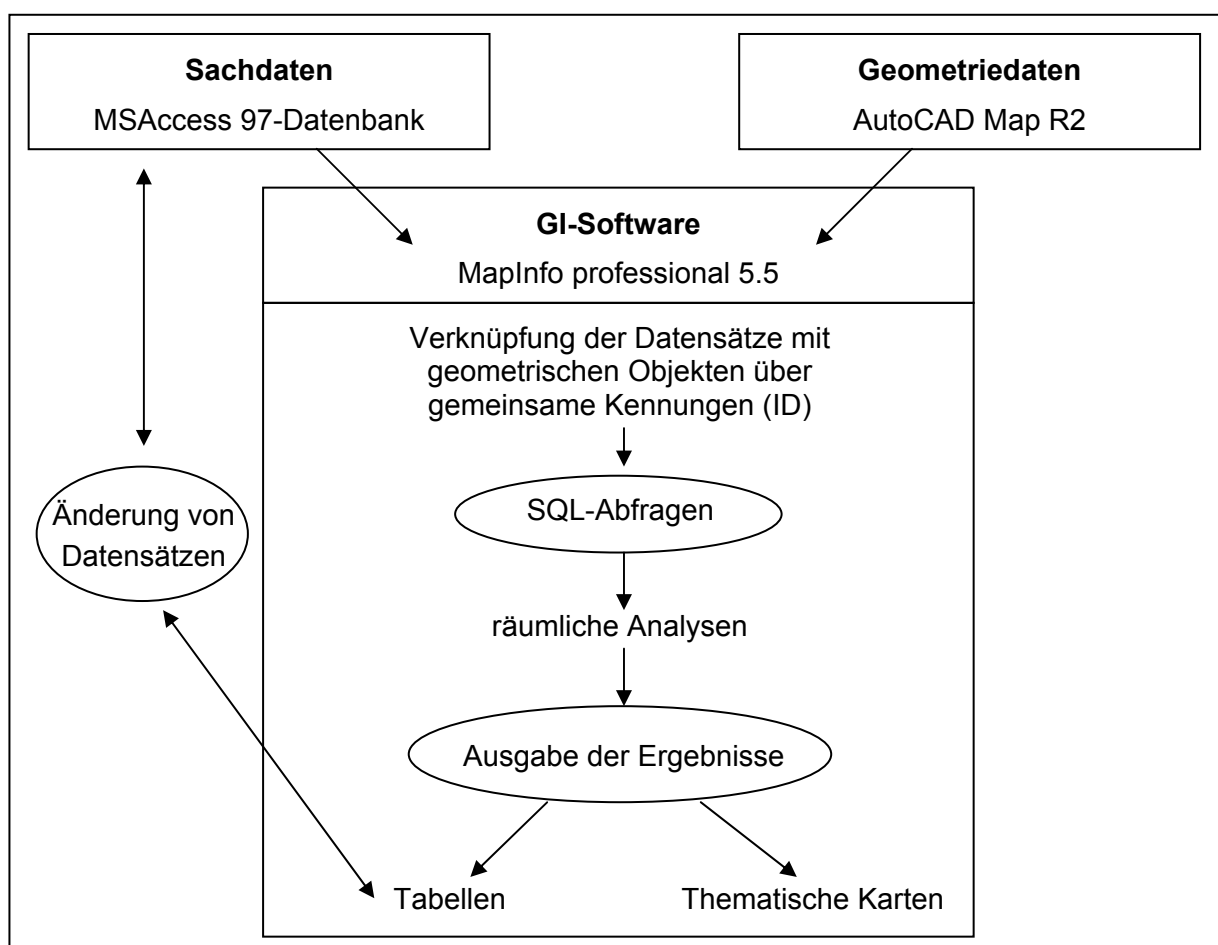


Abb. 1: Schematische Darstellung des methodischen Ansatzes

In MapInfo sollen Geometriedaten aus AutoCAD und Sachdaten aus MS Access zusammengeführt werden. Dies setzt voraus, daß Datenbankstruktur und vorgehaltene Geometrien zusammenpassen. Redundante Datenhaltung soll dabei vermieden werden. Am Beginn der Arbeit steht daher die Entwicklung einer für die Wasserschutzgebietsverwaltung geeigneten Datenbankstruktur und der daraus folgenden Anforderungen für die Geometriedaten.

Die Geometriedaten liegen als Zeichnungsdatei des CAD-Programmes AutoCAD Map R2 vor. Für die Übernahme nach MapInfo muß die Datei entsprechend aufbereitet werden.

Den Attributen und geometrischen Objekten werden gemeinsame Identifikationsnummern (ID) zugewiesen, über welche die Verknüpfung der Datensätze erfolgt. Der Zugriff auf die Datenbankinformationen in Access kann von MapInfo aus auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen, die einander gegenübergestellt werden.

Die Auswahl und Analyse von Daten und die Darstellung von Sachverhalten mit räumlichem Bezug in thematischen Karten basiert in MapInfo großteils auf der Verwendung der SQL-Syntax. Um die Erstellung thematischer Karten für den Sachbearbeiter zu vereinfachen, werden SQL-Abfragen zu ausgewählten Fragestellungen vorformuliert und Vorlagen für Darstellungsstil und Legende angefertigt.

Detaillierte Angaben zur Durchführung der einzelnen Bearbeitungsschritte sollen die Erstellung und den Umgang mit einer MapInfo-Anwendung im Rahmen des Flächenmanagements von Wasserschutzgebieten erleichtern. Zur besseren Lesbarkeit des Textes werden diese in einer gesonderten Dokumentation (Teil 2 der Projektarbeit) festgehalten.

### 3 Entwicklung einer geeigneten Datenbankstruktur

Überlegungen zum Datenbankaufbau werden vorangestellt, da dieser ausschlaggebend ist für die in MapInfo benötigten Geometriedaten und deren Verknüpfung mit den Sachdaten der Datenbank. Die Entwicklung der Datenbankstruktur erfolgte parallel zu ersten Arbeiten in MapInfo.

Wie in der Einführung bemerkt, erfassen Wasserversorgungsunternehmen innerhalb der von ihnen betreuten Wasserschutzgebiete flächenbezogene Daten. Eine Besonderheit dieser in der Regel landwirtschaftlich genutzten Flächen besteht in ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität.

Eine Bewirtschaftungseinheit (Schlag) kann im einfachsten Fall einem Flurstück entsprechen. Es ist aber auch möglich, daß ein Flurstück mehrere Bewirtschaftungseinheiten enthält oder daß mehrere Flurstücke oder Flurstücks-Teilflächen zusammen einen Schlag bilden (siehe Abbildung 2).

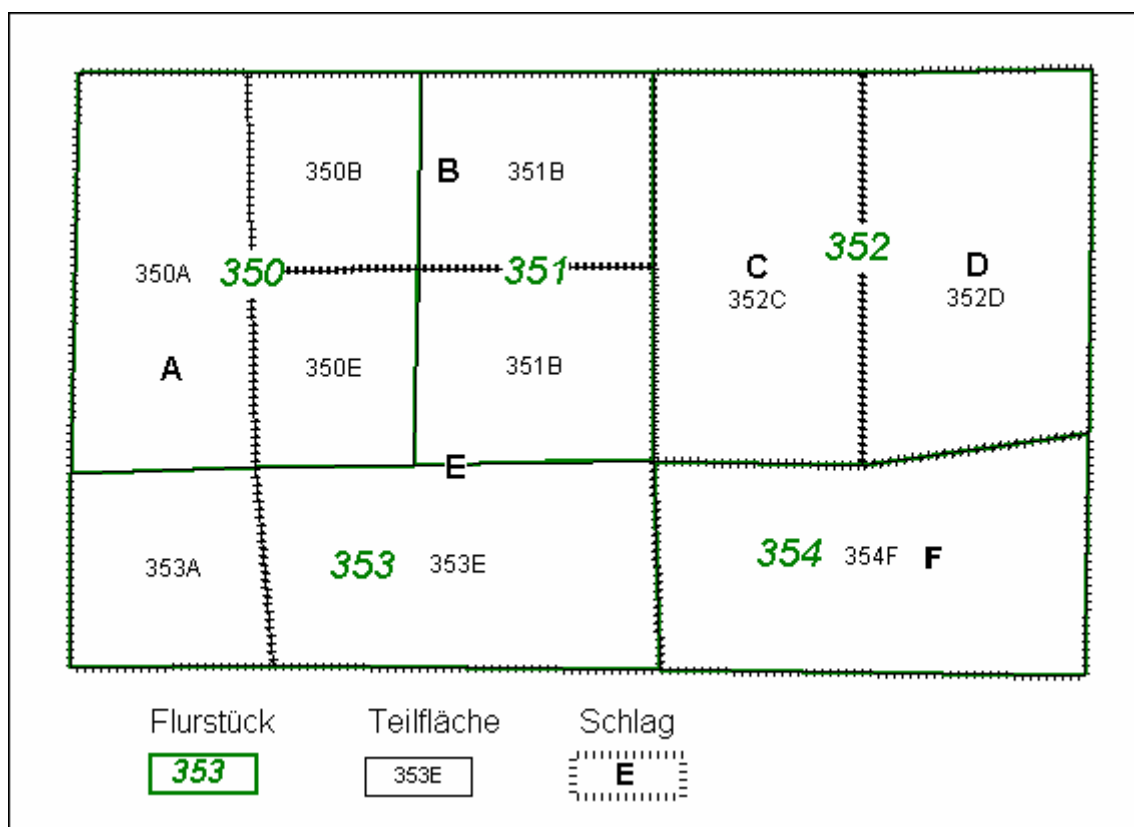


Abb. 2: Einteilung von Flurstücken in Teilflächen und Schläge (schematisch)

Die räumliche Variabilität ist zusätzlich zeitlichen Veränderungen unterworfen. Je nach Fruchtfolge, der Betriebsstruktur und der Marktlage können die Schläge von Jahr zu Jahr anders eingeteilt werden. Werden nun betriebliche und wasserwirtschaftliche Daten langfristig erfasst, sollte auch diese Variabilität dokumentiert werden können.

Die Einteilung in Flurstücke ist die rechtliche Grundlage für das Kataster. Flurstücke bilden daher als konstante Größen die Basis für Datenbank und GIS. Der Eigentümer eines Flurstückes (evtl. mehrere Personen in Gütergemeinschaft) kann dieses an einen oder bei Flächenunterteilung an mehrere Bewirtschafter verpachten. Um den Schadstoffeintrag (Nitrat, Pflanzenschutzmittel) in landwirtschaftlich geprägten Wasserschutzgebieten zu minimieren, werden zwischen dem Wasserversorger und dem Bewirtschafter vielerorts Kooperationsverträge abgeschlossen (HARTMANN, 1996). In Datenbank und Karte sollten daher die Bewirtschafter der Flurstücke abgefragt werden können.

Den kleinsten gemeinsamen Nenner der geometrischen Objekte bilden von einem Bewirtschafter einheitlich genutzte Teilflächen eines Flurstückes. Sinnvoll wäre eine Datenhaltung, die die Verwaltung der konstanten Grundflächen (Flurstücke) und der u. U. jährlich variierenden Teilflächen ermöglicht. Um einen besseren Überblick erhalten zu können, müssten auch die übergeordneten Bewirtschaftungseinheiten erfaßt werden. Diese bilden die Grundlage für die  $N_{\min}$ -Probenahme im Herbst, mit der die Rest-Nitratgehalte im Boden stichprobenartig überprüft werden. Hierzu werden von jedem untersuchten Schlag Mischproben gezogen. Das jeweilige Analyseergebnis wird wieder auf die Fläche extrapoliert.

Durch die Berücksichtigung der zeitlich-räumlichen Entwicklung wird die Datenbank-GIS-Struktur sehr komplex. Die Verteilung der Bewirtschaftungseinheiten muß für jeden Bewirtschaftungszeitraum getrennt festgehalten werden, um frühere Situationen mit später folgenden vergleichen zu können. Von der Datenbankseite her ist es von Vorteil, jedes Bewirtschaftungsjahr in einer gesonderten Datenbank mit derselben Tabellenstruktur zu verwalten, die von der Hauptdatenbank, über die die Dateneingabe erfolgt, verknüpft und abgefragt wird.

Für die Handhabung in MapInfo bedeutet die Berücksichtigung der zeitlich-räumlichen Entwicklung, daß für jeden Bewirtschaftungszeitraum entsprechende geometrische Objekte angelegt werden, die bei neueren Flurstücksaufteilungen nicht überschrieben werden. Demnach sollte als Grundlage ein Satz von Geometriedatensätzen (Recordset) erstellt werden, der alle Flurstücke enthält. Zusätzlich wird für jeden Bewirtschaftungszeitraum je ein Recordset mit den kleinsten Flächeneinheiten benötigt, das die Grundlage für die übergeordneten Schläge bildet. Die Identifizierung der an einem Schlag beteiligten Flurstücke ist somit über die darin enthaltenen Teilflächen möglich. Solange die Grundgesamtheit der Teilflächen dieselbe bleibt, muß bei einer Veränderung der Schlageinteilung nur die Zuordnung dieser Teilflächen zu den aktuellen Schlägen aktualisiert werden, um die neu erfaßten Daten in MapInfo darstellen zu können. Werden Flurstücke jedoch weiter / anders unterteilt, müssen neue Datensätze eingefügt werden.

Die Umsetzung der oben angedeuteten Problematik in einer Datenbank führt zu einer sehr komplexen Datenbankstruktur mit zahlreichen verknüpften Tabellen, die den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Des Weiteren hat sich in ersten Testläufen gezeigt, daß bei Datenbank-GIS-Verknüpfung von mehr als drei Tabellen in MapInfo Schwierigkeiten bei der Abfrage von Daten für die Erstellung von thematischen Karten auftreten (diese Problematik wird ausführlich in Kap. 6.1 und 6.2.2 der Dokumentation diskutiert). Aus diesen Gründen wurde eine Datenbankstruktur entwickelt, die zumindest einen Teil der oben diskutierten Probleme berücksichtigt, und in MapInfo eine Weiterverarbeitung der Tabellen zuläßt. Es wurde daher von der Annahme ausgegangen, daß die kleinsten Flächeneinheiten jeweils einer Bewirtschaftungseinheit entsprechen. Außerdem wird nur ein Bewirtschaftungszeitpunkt betrachtet.

In MapInfo werden dementsprechend die Relationen Flurstücke und Teilflächen mit geometrischen Objekten angelegt. Die Datenbanktabellen werden als verknüpfte Relationen in MapInfo integriert und dort für SQL-Abfragen und die Erstellung thematischer Karten weiterverwendet.

Die Datenbankstruktur und die Beziehungen zwischen den Datenbanktabellen und den Geometrien in MapInfo werden im Folgenden aufgezeigt (Abbildung 3):

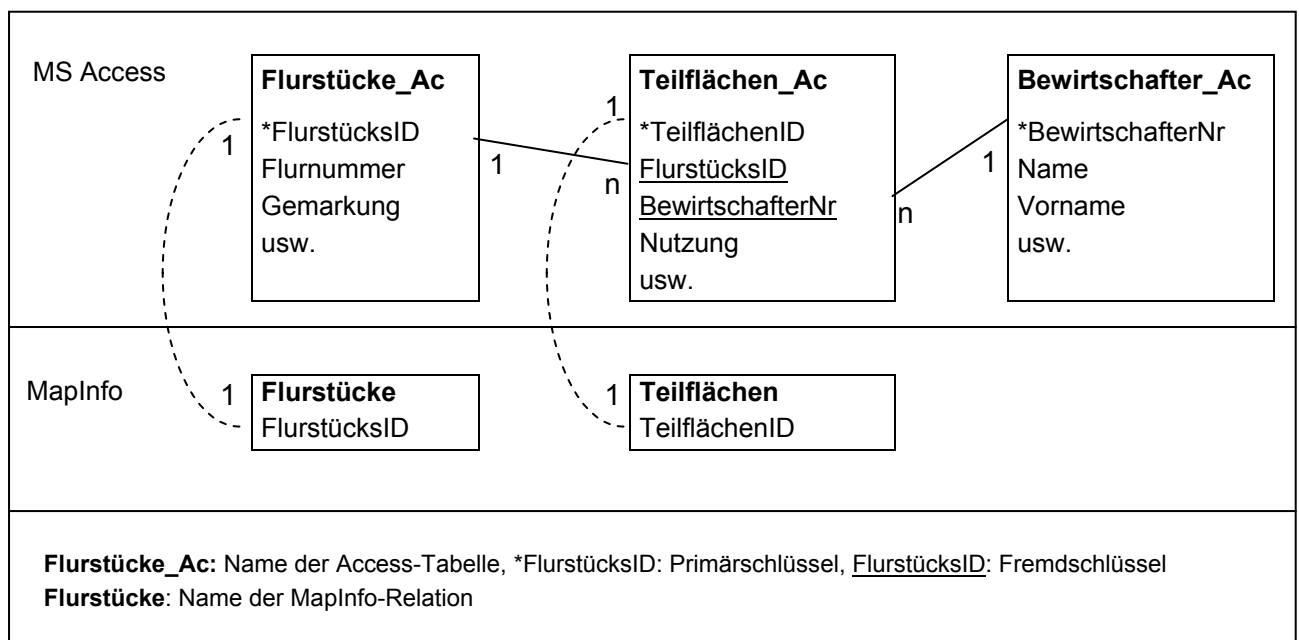


Abb. 3: Beziehungen zwischen Access-Datenbanktabellen und Relationen in MapInfo

## 4 Kartengrundlage

### 4.1 Vorbereitung der Kartengrundlage in AutoCAD Map R2

Ausgangspunkt der Kartenbearbeitung ist eine in AutoCAD Map digitalisierte Flurkartengrundlage des zu bearbeitenden Wasserschutzgebietes.

Damit die digitalisierten Flurstücke und andere flächenhaften Elemente (z.B. Umgrenzung der Wasserschutzgebiete) in MapInfo als Flächen erkannt werden, müssen sie zuerst in geschlossene Polylinien (Polygone) umgewandelt werden. Diese entsprechen den kleinsten auftretenden Flächeneinheiten (z.B. kann ein Flurstück durch mehrere Nutzungsgrenzen in kleinere Nutzungseinheiten unterteilt sein). Eine automatische Erstellung von Polygonen ist in AutoCAD Map auf der Basis einer zuvor erstellten Flächentopologie möglich. Voraussetzung für deren Gelingen ist die Bereinigung von Digitalisierungsfehlern. Die Kartenbereinigung sollte in AutoCAD nicht vollautomatisch durchgeführt werden. Bewährt hat sich ein schrittweises Vorgehen, mit dem die Korrekturen überwacht werden können (siehe Kap. 1 der Dokumentation).

### 4.2 Überführung der Grundkarte nach MapInfo professional 5.5

In MapInfo 5.5 steht mit dem Universal Translator ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem die Konvertierung räumlicher Daten verschiedener Formate möglich ist (AutoCAD dwg/dxf, ESRI shape, Intergraph/MicroStationDesign, MapInfo Interchange Format). Für jeden Layer der Zeichnungsdatei wird eine MapInfo-Relation erstellt. Jede Relation mit graphischen Objekten wird in MapInfo als separater Layer in einem Kartenfenster dargestellt. Anzeigefenster dienen der tabellarischen Darstellung der Datensätze (vgl. Dokumentation Kap. 2).

Die nach MapInfo überführten Polygone entsprechen den in AutoCAD Map digitalisierten kleinsten Flächeneinheiten und können somit als Teilflächen-Relation abgespeichert werden. Das Zusammenfassen von Teilflächen zu Gesamtflurstücken läßt sich in MapInfo einfach bewerkstelligen, weswegen es dem umständlicheren umgekehrten Weg vorgezogen wird. Bevor die Teilflächen-Relation allerdings kopiert und unter dem Namen Flurstücke verändert wird, ist es ratsam, sie auf Fehler und das Vorhandensein von Inselepolygonen (Teiche etc.) zu überprüfen und diese gegebenenfalls zu korrigieren (vgl. Dokumentation Kap. 3.5).

Zur besseren Orientierung und als Grundlage für Analysen werden außerdem die Layer Brunnen, Flurnummern, Beschriftungen, Gemarkungs- und Wasserschutzgebietsgrenzen nach MapInfo importiert.

## 5 Verknüpfung von Geometrie und Sachdaten

Voraussetzung für die Verknüpfung der graphischen Objekte mit Datensätzen der Datenbank sind gemeinsame Kennungen (ID). Zur Vergabe der IDs wurden verschiedene Vorgehensweisen durchgespielt.

Am übersichtlichsten ist die Verwaltung der Daten, wenn die IDs von Teilflächen und Flurstücken identisch sind, solange die Flurstücke nicht weiter unterteilt sind. Bei einer Unterteilung der Flurstücke in zwei und mehr Teilflächen werden den Teilflächen von den Flurstücken abweichende IDs vergeben. Die Zuordnung der IDs zu den Flurnummern erfolgt am besten in Access, wo das Feld, das die Kennungen enthält, als Autowert (automatische Zuordnung einer fortlaufenden Nummer) formatiert wird. Auch für die Teilflächen sollten die IDs als Autowert formatiert werden. Das Ordnungsprinzip wird daher nur durchbrochen, wenn nach der ersten Vergabe der IDs neue Flurstücke zum Bearbeitungsgebiet hinzugenommen werden, die nicht in mehrere Teilflächen unterteilt sind (der Zähler bei den Teilflächen ist dann schon bei höheren ID-Werten als der Zähler der Flurstücke). Die Zuweisung der IDs zu den graphischen Objekten in MapInfo wird detailliert in Kapitel 4 der Dokumentation beschrieben.

Wird die Datenbank neu angelegt, wäre es alternativ dazu auch möglich, die Teilflächen in MapInfo automatisch mit einer ID versehen zu lassen (rowid), die dazugehörige Flurnummer in MapInfo einzugeben und die Relation anschließend als MS Access-Datenbank abzuspeichern. Dieses Vorgehen wäre weniger arbeitsintensiv als das zuvor geschilderte und würde außerdem gewährleisten, daß keine Flächen übersehen werden. Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, daß die aus MapInfo übernommene ID in Access nachträglich nicht mehr als Autowert formatiert werden kann. Beim zusätzlichen Einfügen von Datensätzen müssen IDs dann per Hand oder mittels einer Visual-Basic-Prozedur eingetragen werden.

In die Datenbank müssen nur die Flächen übernommen werden, die für den Bearbeiter des Wasserschutzgebietes von Interesse sind. Dies können sowohl alle im Wasserschutzgebiet bzw. im Einzugsbereich der Brunnen liegende Flächen sein als auch ausschließlich die dort liegenden landwirtschaftlich genutzten Flächen.

## 5.1 Zugriff auf Datenbank-Informationen

MapInfo bietet zwei verschiedene Möglichkeiten, auf Informationen zuzugreifen, die in einer externen Access-Datenbank gespeichert sind. Der Zugriff kann direkt erfolgen (gilt nur für Access) oder über ODBC (Open Database Connectivity). Gemeinsam ist beiden Möglichkeiten, daß die Verknüpfung dynamisch ist, die Datenbank-Daten also nicht von der Datenbank getrennt werden. Die Daten werden nicht nach MapInfo importiert oder in neuen Relationen abgelegt. Die Datensätze der Relation enthalten stattdessen Verknüpfungen zu den Datensätzen der externen Datenbank.

Direkter Zugriff auf Access	Verknüpfung über ODBC
„Logisch-physikalische“ Verknüpfung: die verknüpfte Datenbank ist nicht gegen eine Datenbank mit dem selben Namen und der selben Struktur unter dem gleichen Pfad austauschbar.	„logische“ Verknüpfung: verknüpfte Datenbank kann durch eine andere ersetzt werden, die im selben Pfad steht, den selben Namen und die selbe Struktur hat.
Die Möglichkeit zum direkten Zugriff auf Access-Datenbanken ist im Grundpaket von MapInfo enthalten.	MapInfo ODBC-Unterstützung muß als zusätzliches Softwarepaket installiert werden.
Access-Tabellen werden direkt geöffnet; MapInfo erzeugt eine Definition für Tabelle, die in der Relation *.tab gespeichert wird; die Access-Daten werden nicht in eine MapInfo-Relation kopiert, sondern weiterhin in Access gespeichert.	Für den Zugriff auf eine externe Datenbank muß eine DBMS-Datenquelle eingerichtet werden (DBMS-Treiber, Datenbank); der Zugriff erfolgt über SQL-Abfragen; MapInfo legt eine „verknüpfte Relation“ an, in welche die Informationen aus der externen Datenbank geladen werden.
„Die Access-Tabelle muß eine "flache" Tabelle sein, d.h. es dürfen keine Felder enthalten sein, die auf Daten in anderen Tabellen verweisen (wie z.B. Abfragen aus mehreren Tabellen in Access).“ (MAPINFO-HILFE)	Der Zugriff auf in Access erstellte Abfragen ist möglich. Ebenfalls möglich ist der Zugriff auf mehrere miteinander verknüpfte Access-Datenbanken.
Mehrere Tabellen aus derselben Datenbank können gleichzeitig ausgewählt werden.	Beim Öffnen der ODBC-Verbindung muß jede Datenbank-Tabelle einzeln ausgewählt werden.
Die Tabellen werden komplett geöffnet (keine Vorauswahl von benötigten Spalten möglich).	Beim Öffnen der ODBC-Verbindung kann eine Vorauswahl getroffen werden, welche Felder aus der Access-Tabelle übernommen werden. Die Tabelle kann mit Schreibschutz geöffnet werden.

Ist Access-Datenbank-Tabelle geöffnet, kann MapInfo-Arbeitsbereich nicht vollständig geöffnet werden (da die Tabelle durch MapInfo nicht gesperrt werden kann) → MapInfo muß zuerst geöffnet werden.	Die Reihenfolge des Öffnens von MapInfo und Access spielt keine Rolle.
Bei geöffnetem MapInfo-Arbeitsbereich mit geöffneten Access-Relationen können in der Access-Datenbank keine Einträge vorgenommen werden. Für Einträge in Access muß zuerst in MapInfo die zugeordnete Relation geschlossen werden, nach der Veränderung der Einträge in Access muß die Relation in MapInfo wieder geöffnet werden.	Einträge können sowohl über MapInfo als auch in Access vorgenommen werden, ohne daß dazwischen Dateien geschlossen werden müssen; die Aktualisierung erfolgt allerdings nicht zeitgleich, sondern bei Veränderungen in MapInfo erst dann in Access, wenn die veränderte Relation abgespeichert wird, bei Veränderungen in Access erst dann in MapInfo, wenn dort die ODBC-Tabelle aktualisiert wird (Button); die verknüpfte Relation kann nicht bearbeitet werden, wenn der Primärschlüssel der Tabelle bei Herstellen der ODBC-Verbindung nicht in MapInfo ausgewählt wurde.
Zugriff auf Access-Datenbank ist nicht für mehrere MapInfo-Benutzer gleichzeitig möglich.	Zugriff auf Access-Datenbank ist für mehrere MapInfo-Benutzer gleichzeitig möglich.

Für beide Varianten gilt:

- Die Daten aus Access werden beim Öffnen der Tabellen in MapInfo nicht nach MapInfo kopiert.
- Innerhalb von MapInfo erfolgt der Zugriff auf Access-Tabellen über SQL.
- Bei Veränderung der Tabellenstruktur in Access muß die Verknüpfung zur Datenbank gelöst und neu aufgebaut werden, um eine Aktualisierung in MapInfo zu erreichen.
- In MapInfo kann die Struktur einer Relation, die auf einer Tabelle basiert, nicht geändert werden; Strukturänderungen sind dort erst nach dem Speichern der Relation als Kopie möglich, wobei die dynamische Verknüpfung verloren geht.
- Dynamische Verknüpfungen innerhalb von SQL-Abfragen können nur auf Basistabellen durchgeführt werden. Das bedeutet, daß Ergebnisrelationen von SQL-Abfragen nicht in einer weiteren SQL-Abfrage mit einer anderen Tabelle verknüpft werden können.

Bei einer relativ kleinen Datenbank, wie sie für die Projektarbeit verwendet wurde, ist keine der beiden Zugriffsarten eindeutig besser für die Verknüpfung mit MapInfo geeignet als die andere.

Vorteile des direkten Zugriffs liegen darin begründet, daß der Umweg über ODBC, der einige Konfigurationseinstellungen erfordert, umgangen wird. Veränderungen in Datenbank und GIS können jeweils nur durchgeführt werden, wenn die entsprechende Tabelle bzw. Relation in der anderen Anwendung geschlossen ist. Dies bedeutet einerseits, daß die Bearbeitung von Datensätzen dadurch umständlicher wird. Andererseits werden Änderungen beim Öffnen der anderen Anwendung sofort übernommen. Stehen Datenbank und MapInfo-Relationen im selben Verzeichnis, so ist der Transfer des GIS-Datenbank-Systems ohne weitere Arbeitsschritte möglich.

Die Vorteile des Zugriffs über ODBC bestehen in der höheren Flexibilität bei der Bearbeitung. Bestehen die verknüpften Tabellen aus vielen Feldern, ist die Verknüpfung über ODBC zu bevorzugen, da hier eine Vorauswahl möglich ist, welche Felder nach MapInfo übernommen werden sollen. Mit zunehmender Komplexität der Datenbankstruktur nehmen auch die Schwierigkeiten beim Umgang mit den verknüpften Tabellen in MapInfo zu. Dies kann mit dem Zugriff über ODBC zum Teil ausgeglichen werden, da es damit möglich ist, auf verschiedene miteinander verknüpfte Datenbanken zuzugreifen. Durch das Erstellen von Auswahlabfragen in Access können somit allfällige Bearbeitungsschwierigkeiten in MapInfo im Vorfeld teilweise umgangen werden.

## 6 Durchführung räumlicher Analysen

Durch räumliche Analysen werden implizit im Datenbestand vorhandene Informationen nutz- und darstellbar gemacht (SAURER u. BEHR, 1997). Die verschiedenen Analysemethoden dienen zur Gewinnung von Informationen über Lage und Eigenschaften (Attributausprägungen) von Objekten. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die Auswahl (Selektion) und Verdichtung von Daten (Aggregation).

### 6.1 Anforderungen der Wasserversorger

Landwirtschaftliche Nutzung gefährdet die Grundwasserqualität in unterschiedlichem Ausmaß. Die Gefährdung der Grundwasserbelastung mit Nitrat und Pflanzenschutzmitteln steigt mit der Intensivierung der Nutzung. Außerdem hängt das Gefährdungspotential stark von der Bodenbeschaffenheit ab. Kulturen, die in der Regel im Herbst einen hohen Restnitratgehalt hinterlassen, wie Mais, Raps und Leguminosen und Sonderkulturen wie Spargel, sind hinsichtlich der Nitratauswaschung besonders kritisch zu betrachten. Dies gilt vor allem dann, wenn sie auf leichten Böden angebaut werden. Unter den Nutzungen Wald und Dauergrünland sind die Sickerwasserbelastungen mit Nitrat in der Regel sehr gering. Für den Wasserversorger sind daher die ackerbaulich genutzten Flächen von besonderer Bedeutung.

Innerhalb der verschiedenen Zonen eines Wasserschutzgebietes gelten unterschiedliche Bestimmungen für die Bewirtschaftung. Diese betreffen u.a. die Lagerung und Ausbringung von Dünger, Bewässerung, Freilandtierhaltung, Verwendung von Pflanzenschutzmitteln und bauliche Eingriffe. Über Kooperationsvereinbarungen werden zusätzlich zu den geltenden gesetzlichen Bestimmungen Regelungen getroffen, die den Austrag von Nitrat bzw. Pflanzenschutzmitteln minimierten sollen. Steuerung der Stickstoffdüngung über Mengen- und Zeitvorgaben, verzögerter Bodenumbruch, Minimalbodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau und das Verbot, verschiedene Pflanzenschutzmittel zu verwenden, sind Instrumente, um diesem Ziel näher zu kommen (GEOTEAM GMBH, 1999).

Über das mit einer externen Datenbank gekoppelte GIS soll der Bearbeiter eines Wasserschutzgebietes die Möglichkeit bekommen, Gefährdungen des Grundwassers durch landwirtschaftliche Nutzung rasch einschätzen zu können. Die Beratung der im Bearbeitungsgebiet wirtschaftenden Landwirte soll durch das Abrufen von Informationen zu ausgewählten Flächen erleichtert werden. Flächenbilanzen können z.B. Auskunft darüber geben, wie hoch die Anteile der verschiedenen Nutzungen im Wasserschutzgebiet sind.

#### 6.1.1 Visualisierung von Datenbankinhalten

Die Visualisierung von Datenbankinhalten soll den Bearbeiter dabei unterstützen, einen Überblick über die räumliche Verteilung verschiedener Sachverhalte zu gewinnen. Von

Interesse sind hier z.B. die Abgrenzung der einzelnen Schutzzonen, Lage und Bezeichnung von Brunnen und evtl. vorhandener Grundwassermeßstellen. Die Kombination der Bewirtschaftungsverhältnisse (wer bewirtschaftet welchen Schlag?) mit den Stickstoffüberschüssen der einzelnen Betriebe kann insbesondere unter Berücksichtigung der räumlichen Bodenverhältnisse (Nitrat-Rückhaltevermögen) zu einer ersten Einschätzung der Grundwassergefährdung dienen. Für die Identifizierung der einzelnen Flurstücke ist neben der Darstellung der Flurnummern wichtig, die Zugehörigkeit zu verschiedenen Gemeinden bzw. Gemarkungen erkennen zu können.

### 6.1.2 Abrufen von Informationen zu räumlichen Objekten

Die Datenbank-GIS-Anwendung soll Auskunft geben können über die Lage von Flächen (Objekten), die bestimmte Eigenschaften aufweisen. Umgekehrt sollen ausgehend von der Lage einer Fläche (eines Objekts) Informationen über deren Eigenschaften abgerufen werden können.

Beispielhafte Fragestellungen hierzu sind im Folgenden aufgeführt.

- Von welchem Landwirt wird die ausgewählte Fläche bewirtschaftet? Welche Angaben liegen über den Bewirtschafter vor (Adresse, Betriebsart, -größe, ...)?
- Welche Nutzungen liegen in der Engeren Schutzzone vor?
- Welche Bewirtschafter haben Flächen in der Weiteren Schutzzone?
- Wo liegen die Flächen, die von Landwirt X bewirtschaftet werden?
- Wo liegen Flächen mit kritischer Nutzung (Mais,Raps, Leguminosen, ...) ?
- Wo liegen die Flächen, die im Herbst beprobt werden sollen ( $N_{\min}$ -Probenahme)?
- Wo liegen Flächen mit höchster Auswaschungsgefährdung und höchstem aktuellem Nitratgehalt?

### 6.1.3 Flächenbilanzen

Eine Beurteilung von Veränderungen, die durch das Abschliessen von Kooperationsverträgen erreicht wurden, wäre z.B. mittels einer jährlichen Bilanzierung der Flächen mit sehr geringem Nitrat-Rückhaltevermögen und gleichzeitig hohen  $N_{\min}$ -Werten möglich. Diese Bilanzierung setzt allerdings voraus, daß noch keine Auswaschung unter die Probenahmetiefe stattgefunden hat.

Die Berechnung der Flächenanteile der verschiedenen Nutzungen im WSG bzw. dem Bearbeitungsgebiet dient dem Vergleich mit anderen Gebieten und der Feststellung von Tendenzen über einen beobachteten Zeitraum hinweg.

## 6.2 Technische Grundlagen in MapInfo

Für die Durchführung räumlicher Analysen stehen in MapInfo verschiedene Auswahlverfahren, Klassifikations- und Aggregationsmethoden zur Verfügung, die nachfolgend beschrieben werden.

### 6.2.1 SQL-Abfragen

MapInfo unterstützt Teile der Befehlssyntax der Structured Query Language (SQL). SQL ist eine Anweisungs- und Abfragesprache, mit der der Zugriff auf relationale Datenbanken möglich ist (BARTELME, 1995). Als nicht-prozedurale Sprache ist SQL eine Sprache der 4. Generation. Die Anweisungen werden nicht wie bei prozeduralen Sprachen (C++, Java, etc.) in Einzelschritten, sondern in einfachen an der englischen Alltagssprache angelehnten Statements formuliert (SAUER, 1998).

MapInfo stellt für SQL-Anweisungen ein Dialogfenster zu Verfügung, in dem interaktiv die Befehlsfolge erstellt werden kann. Da in diesem Menü keine Datenmanipulation (INSERT, UPDATE, DELETE), sondern nur eine Auswahl der Daten vorgesehen ist, beschränken sich die möglichen Befehle auf Select-Anweisungen. Für die Eingabe der SQL-Befehle stehen in Drop-Down-Listefeldern verschiedene Formulierungen zur Auswahl: mathematische und logische Operatoren (erweitert um die räumlichen Kriterien „enthält“, „innerhalb“, „schneidet“), mathematische Funktionen und Aggregatfunktionen (Mittel, gewichtetes Mittel, Count, ...).

Mit dem SELECT-Befehl ist sowohl die nach bestimmten Kriterien vorgenommene Auswahl von Datensätzen aus einer einzelnen Tabelle möglich als auch die Auswahl aus mehreren Tabellen, die über gemeinsame Werte verknüpft werden (Join).

SELECT		Wähle folgende Spalten:
FROM		aus Relationen:
WHERE	entspricht in MapInfo	die erfüllen:
GROUP BY		Gruppieren über Spalten:
ORDER BY		Sortierung über Spalten:

Die Abfrageergebnisse können in MapInfo entweder in einer temporären Relation angezeigt oder als neue Relation im Arbeitsbereich abgespeichert werden. Dies entspricht dem Anlegen

von Views in Standard-SQL, die in weiteren Abfragen verwendet werden können. In MapInfo ist dies nicht der Fall: SQL-Abfragen werden nur auf Basisrelationen zugelassen.

Bei der SQL-Auswahl können sowohl in verschiedenen Relationen vorkommende Spalten gewählt werden als auch durch Berechnungen daraus abgeleitete Spalten. Berechnungen können für jede Zeile einzeln durchgeführt werden, für alle Zeilen zusammen oder für Gruppen von Zeilen, die in einer Spalte denselben Wert enthalten.

Die Verknüpfung von mehr als zwei Relationen ist mit Einschränkungen möglich. Die Erstellung von SQL-Abfragen wird detailliert in Kapitel 6 der Dokumentation beschrieben.

## 6.2.2 Erstellen thematischer Karten

Thematische Karten dienen der Veranschaulichung raumbezogener Sachverhalte (WILHELMY, 1996). Die Darstellung kann in Form von Choroplethen, Diagrammen oder Symbolen oder aus Kombinationen daraus erfolgen.

Thematische Karten werden in MapInfo auf der Basis von kartierbaren Relationen erstellt. Dabei spielt es keine Rolle, ob die darzustellenden Inhalte direkt in dieser geometrischen Relation vorliegen oder aus einer anderen Relation stammen, die damit verknüpft ist. Auch die Art der Verknüpfung ist nicht festgelegt. Die Attributwerte können in einer temporären Spalte vorliegen, die aus den Daten einer anderen Relation abgeleitet wurden. Die Verknüpfung kann auch über eine SQL-Abfrage erfolgen, deren Ergebnisrelation kartierbar ist.

Für die Darstellung einzelner thematischer Variablen eignen sich thematische Karten über individuelle Werte (z.B. bei nominalen Werten), mit abgestuften Symbolen, Punktedichten oder über Wertebereiche (Klassifizierungen). Hierfür stehen fünf Klassifikationsmethoden zur Auswahl. Auch eine benutzerdefinierte Klassifikation ist möglich. Mit Balken- oder Kreis-Diagrammen können mehrere thematische Variablen gleichzeitig dargestellt werden.

Der thematische Layer wird als eigener Layer zum Kartenfenster hinzugefügt, er wird also vom zugrundeliegenden Layer getrennt. Pro Basisrelation können mehrere thematische Layer erstellt werden. Die entsprechende Anordnung der thematischen Layer ermöglicht so die Erstellung von mehrschichtigen Karten, d.h. von Karten, auf denen sich mehrere Darstellungen überlagern.

Thematische Karten werden nicht als eigene Relation, sondern über den Arbeitsbereich abgespeichert. Beim Öffnen des Arbeitsbereiches wird die thematische Karte neu erzeugt. Werden Datensätze in der zugrundeliegenden Relation verändert, wird die thematische Karte sofort aktualisiert. Werden Variablen dargestellt, die über eine weitere Relation mit der kartierbaren Relation verknüpft sind, so erfolgt die Aktualisierung erst nach der Durchführung von Zwischenschritten (vgl. Dokumentation Kap. 5.4).

Die Dynamik der thematischen Karten, die über die Speicherung im Arbeitsbereich erreicht wird, birgt auch Nachteile. Wird das Kartenfenster, das die thematische Karte enthält oder die zugrundeliegende Relation geschlossen oder der thematische Layer aus dem Kartenfenster entfernt und anschließend der Arbeitsbereich gespeichert, muß die Karte neu angefertigt werden. Dasselbe gilt auch für die standardmäßig vom Kartenfenster getrennten Legendenfenster, wenn sie geschlossen werden.

Einstellungen für thematische Karten, die wiederverwendet werden sollen, können als Vorlage gespeichert werden.

### 6.2.3 Durchführung von Flächenbilanzen

Das Erstellen von Flächenbilanzen wird hauptsächlich über SQL-Abfragen durchgeführt. Flächen, die bilanziert werden sollen, werden über SQL-Abfragen anhand von Attributwerten, oder ihrer Lage relativ zu anderen Objekten selektiert. Die Bilanzierung erfolgt über die Gruppierung einer Spalte über gemeinsame Attributwerte. Aus den Werten anderer Spalten derselben Relation können aggregierte Informationen (wie z.B. Summen, Mittelwerte) für jede Gruppe berechnet werden. Eine prozentuale Angabe des Flächenanteils erhält man entsprechend nur dann, wenn eine Spalte angelegt wird, in der der prozentuale Anteil der Einzelflächen an der betrachteten Gesamtfläche berechnet wird.

### 6.2.4 Ausgabe der Ergebnisse (graphisch, alphanumerisch)

Im Rahmen der Arbeit im Wasserversorgungsunternehmen reicht die Darstellung der Ergebnisse am Bildschirm häufig aus. Für die Darstellung der Inhalte am Bildschirm stehen in MapInfo Karten-, Anzeige-, Diagrammfenster zur Verfügung.

Kartenfenster dienen zur Darstellung geographischer Objekte aus einer oder mehreren Relationen. Legenden für Thematische Karten werden bei deren Erstellung automatisch erzeugt. Auch für die Grundkarten können sogenannte Kartographische Legenden erzeugt werden. Für jeden sichtbaren Layer einer kartierbaren Relation wird hierbei in einem separat angelegten Legendenfenster eine eigene Legende erstellt. Die Reihenfolge entspricht der Anordnung im Kartenfenster. Während die Legende von Thematischen Karten in das Kartenfenster eingebettet werden kann, ist dies für Kartographische Legenden nicht möglich. Die Gestaltungsmöglichkeiten für Legenden sind sehr gering.

In Anzeigefenstern werden die Daten tabellarisch dargestellt. Es kann ausgewählt werden, welche Spalten in welcher Reihenfolge angezeigt werden, doch ist diese Einstellung nicht dauerhaft möglich (sie geht mit dem Schließen des Anzeigefensters verloren). Ebenso lassen sich temporär auch Ausdrücke erstellen, wie z.B. Berechnungen mit Attributwerten aus einer oder mehreren Spalten.

Diagrammfenster ermöglichen die Veranschaulichung statistischer Zusammenhänge in einem gesonderten Fenster. Es können Liniendiagramme, Balken-, Kreis- und Bereichsdiagramme sowie Blasen- und Säulendiagramme und Histogramme erstellt werden.

Für die Ausgabe über einen Drucker / Plotter können die zuvor beschriebenen Elemente und andere graphische Objekte in Layoutfenstern zusammengestellt werden. Im Layoutfenster kann die Rahmengröße der einzelnen Objekte definiert werden. Bei Kartenfenstern kann auch der Maßstab eingestellt werden. Da eine weitere Bearbeitung der einzelnen Objekte im Layoutfenster nicht möglich ist, müssen Karten-, Anzeige- und Diagrammfenster so angelegt werden, wie sie später im Layout erscheinen sollen. Während eine Maßstabsleiste ausschließlich im Kartenfenster zur Karte hinzugefügt werden kann, läßt sich ein Nordpfeil als Punktsymbol auch im Layoutfenster einfügen. Das Anlegen von Layoutvorlagen ist möglich.

Alle Fenster können einzeln ausgedruckt oder in verschiedenen Formaten als Bilddateien abgespeichert werden. Die Fenstertitel werden dabei nicht ausgegeben.

MapInfo-Kartenfenster können über die OLE-Schnittstelle als Objekte in andere Anwendungen eingebettet und als Bestandteil des jeweiligen Dokumentes abgespeichert werden. Das Einbetten eines Kartenfensters kann über Kopieren in die Zwischenablage oder über eine Drag & Drop-Operation erfolgen. Eine Weiterbearbeitung im Dokument ist nur möglich, wenn eine 32-bit-Version von MapInfo installiert ist. Ist MapInfo nicht installiert, werden auch MapInfo-spezifische Flächenmuster nicht korrekt dargestellt.

Tabellen können zur weiteren Bearbeitung außerhalb von MapInfo als dBASE oder Access-Tabellen abgespeichert werden. Auch die Erstellung von Seagate Crystal Reports ist für alle tabellarischen Daten möglich.

## **6.3 Umsetzung der Anforderungen in MapInfo**

In den folgenden Abschnitten werden anhand von Beispielen Möglichkeiten aufgezeigt, wie die Anforderungen der Wasserversorger mithilfe räumlicher Analysen umgesetzt werden können. Detaillierte Arbeitsanweisungen finden sich in der Dokumentation, Kapitel 8.

### **6.3.1 Karte der nutzbaren Feldkapazität und der Rest-Nitratgehalte**

Das Risiko des Nitrataustrags aus dem Boden in das Grundwasser hängt von der Fähigkeit des Bodens ab, Wasser zu speichern. Ein Maß dafür ist die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes, die nFKWe. Die nFKWe bezeichnet die von Pflanzen nutzbare Wassermenge, die ein Boden innerhalb des durchwurzelteten Bodenhorizonts gegen die Schwerkraft zurückhalten kann (FREDE u. DABBERT, 1998). Sie ist von verschiedenen räumlich variablen Bodenparametern abhängig. Gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung (FINNERN, 1996) wird die nFKWe aus den über eine Bodenkartierung ermittelten Parametern

Textur, Lagerungsdichte, Stein- und Humusgehalt für jeden Bodenhorizont berechnet. Die effektive Durchwurzelungstiefe wird anhand der Profilauffolge abgeschätzt. Die nFKWe wird in der Regel in 5 Klassen eingeteilt. Diese Klassen werden unter Berücksichtigung von Bodenschätzung, Kartierungsergebnissen und Geländeformen auf die Fläche übertragen (GEOTEAM GMBH, 1995).

Je höher die Menge des von den Pflanzen zur Zeit der Ernte nicht verwerteten Stickstoffes ist, desto höher ist vor allem bei geringer nFKWe die Gefahr der Stickstoff-Austrags mit dem Sickerwasser (WAGNER, 1995). Zur Überprüfung wird daher im Herbst der Gehalt an mineralischem Stickstoff ( $N_{\min}$ ) ermittelt. Die Beprobung bis 90 cm Bodentiefe erfolgt stichprobenartig nach der Ernte über schlagbezogene Mischproben (Herbstprobenahme).

Die Darstellung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes und des Rest-Nitratgehaltes erfolgt über die Erstellung einer thematischen Karte. Um die Daten aus der Access-Datenbank graphisch darstellen zu können, muß die zugrundeliegende Tabelle in MapInfo zunächst mit der kartierbaren Relation verknüpft werden. Welche Felder in die Ergebnisrelation der SQL-Abfrage übernommen werden, richtet sich nach den Angaben, die beim Anklicken einer Fläche mit dem Info-Werkzeug im Info-Fenster aufgeführt werden sollen. Für die reine Visualisierung der Variablen nutzbare Feldkapazität und Rest-Nitratgehalt reicht die Abfrage dieser beiden Felder aus; sollen über die Inhalte der thematischen Karte hinaus mit dem Info-Werkzeug gleichzeitig Informationen zu anderen Variablen abgerufen werden können, müssen noch weitere Felder übernommen werden (siehe Dokumentation, Kap. 8.1.3 zur Verwendung des Info-Werkzeugs).

Sobald die kartierbare Ergebnisrelation zum Kartenfenster hinzugefügt wurde, kann auf ihrer Grundlage eine thematische Karte erzeugt werden. Die Klasseneinteilung der nFKWe ist für die durchschnittlichen Klimabedingungen verschiedener Regionen, wie z.B. für Oberfranken, festgelegt. Diese Klassengrenzen können benutzerdefiniert eingegeben werden. Außerdem können Darstellungsstil und Legendenbeschriftung angepaßt werden. Nach dem Speichern als Vorlage können diese Einstellungen wiederverwendet werden.

Die Darstellung der Rest-Nitratgehalte aus einem Jahre erfolgt am besten über die Erstellung von Kreisdiagrammen. Gegenüber der Verwendung von abgestuften Symbolen hat dieser Darstellungstyp den Vorteil, daß mit der Vergrößerung des Kartenausschnittes auch die Diagramme vergrößert dargestellt werden. Symbole werden unabhängig vom Zoom-Faktor immer gleich groß dargestellt. Durch die Anzeige des Startwinkels, der eigentlich zur Abgrenzung der Anteile dient, wenn mehrere Variablen innerhalb eines Kreisdiagrammes dargestellt werden, wird die Einschätzung der Diagrammgröße für den Betrachter auch bei Darstellung einer einzigen Variablen erleichtert. Für die Darstellung von Nitratgehalten aus mehreren Jahren bietet sich die Verwendung von Balkendiagrammen an.

Wird der thematische Layer, in dem die Rest-Nitratgehalte dargestellt werden, über den Layer der nFKWe gelegt, können beide Variablen zusammen in einer mehrschichtigen Karte dargestellt werden.

### 6.3.2 Markierung der Lage von Flächen für Herbstprobenahme

Die Schläge, die im Herbst stichprobenartig auf ihren Rest-Nitratgehalt hin untersucht werden, werden nach verschiedenen Kriterien ausgewählt und in der Datenbank entsprechend markiert. Bei entsprechender Funktionalität kann über die Datenbank ein Probenahmeprotokoll ausgedruckt werden, in dem die zu beprobenden Bewirtschaftungseinheiten (vgl. Kapitel 3) mit Flurnummern aufgeführt sind. Eine wesentliche Arbeitserleichterung läßt sich durch die Kennzeichnung dieser Flächen in einer Karte erreichen, die für die Geländearbeit herangezogen wird. Die zugrundeliegende Fragestellung lautet: Wo liegen die Flächen, die im Herbst beprobt werden sollen?

Mittels einer SQL-Abfrage wird die kartierbare Teilflächen-Relation mit der Teilflächen-Datenbanktabelle verknüpft. Sollen auch die Flurnummern dargestellt werden, muß auch die Flurstücke-Datenbanktabelle damit verknüpft werden. Es werden diejenigen Flächen abgefragt, die in der Datenbank als Probenahmeflächen gekennzeichnet sind.

Die Darstellung kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Grundvoraussetzung ist jeweils das Hinzufügen der Ergebnisrelation zu einem Kartenfenster, in dem die Layer Teilflächen und Flurstücke sichtbar sind. Dem in der Layersteuerung markierten Ergebnis-Layer können dort die gewünschten Farben und Muster zugewiesen werden. Ebenso ist die Erstellung einer thematischen Karte mit vordefiniertem Stil möglich.

Die Anzeige der Flurnummern der abgefragten Flächen ist möglich, indem das Kontrollkästchen Auto-Beschriftung für den Ergebnis-Layer in der Layersteuerung aktiviert und der Beschriftungsstil eingestellt wird.

Die Ausgabe auf Papier erfolgt am einfachsten über den Druckbefehl bei aktiviertem Kartenfenster. Soll eine Legende mit ausgedruckt werden, ist es am einfachsten, eine thematische Karte zu erstellen, da eine Legende dann automatisch generiert wird und in das Kartenfenster eingebettet werden kann. Im anderen Fall muß zuerst eine kartographische Legende erstellt und zusammen mit dem Kartenfenster in ein Layoutfenster eingefügt werden.

### 6.3.3 Bilanzierung der Nutzungsverteilung im Schutzgebiet

Die Bilanzierung der Nutzungen dient dazu, einen Überblick über deren Flächenanteile im Wasserschutzgebiet zu bekommen. Die Verteilung der Nutzungen im Schutzgebiet kann auf das gesamte Schutzgebiet oder auf die einzelnen Schutzzonen hin betrachtet werden. Soll sowohl die Flächengröße als auch der Anteil dieser Fläche an der betrachteten Gesamtfläche ermittelt werden, die von einer Nutzungsart eingenommen wird, muß diese Gesamtfläche in die SQL-Abfragen integriert werden.

Im Folgenden wird das Vorgehen zur Ermittlung von Flächengröße und -anteil der Nutzungsarten für die einzelnen Zonen des Wasserschutzgebietes skizziert. Zunächst werden die Flächengrößen der Schutzzonen aus der Karte ermittelt. Besteht eine Schutzzone aus mehreren Einzelflächen, so muß die Summe dieser Flächen berechnet werden, was über eine Gruppierungsabfrage möglich ist. Die Verknüpfung dieses Abfrageergebnisses mit der Datenbanktabelle, in der die Nutzungsart eingetragen ist, erfolgt über die Schutzzone. Die Flächengröße der Teilflächen kann als Näherungswert aus der kartierbaren Relation entnommen werden, die wiederum über gemeinsame IDs mit der Datenbanktabelle verknüpft wird. Die Verknüpfung der Relationen und die Aggregation der Spaltenwerte erfolgen in derselben SQL-Abfrage. In der Ergebnisrelation sind die Flächengrößen und -anteile der verschiedenen Nutzungen nach Schutzzonen sortiert aufgeführt.

## 7 Beurteilung der Benutzeroberfläche von MapInfo

Die Benutzeroberfläche in MapInfo besteht aus einer Menüleiste und einer Reihe von sogenannten Schaltflächenpads, die unterschiedliche Werkzeuge enthalten. Die einzelnen Schaltflächenpads können angezeigt oder ausgeblendet werden. Sie können auf dem Bildschirm frei verschoben oder in die Werkzeugleiste integriert werden.

Nicht alle Menüs sind immer verfügbar. Menüs, die für eines der Fenster spezifisch sind, werden nur angezeigt, wenn ein solches Fenster aktiviert ist.

Im Menü Tools können mit dem Werkzeugmanager Werkzeuge geladen werden, die sonst nicht standardmäßig zur Verfügung stehen. Darunter finden sich auch solche, die man bei der Lösung einfacher Aufgaben in der Werkzeugleiste vermißt, wie z.B. die Möglichkeit, Kartenfenster zu beschriften oder eine Maßstabsleiste einzufügen.

Die Benutzeroberfläche wirkt auf den ersten Blick übersichtlich, die wichtigsten Funktionen erschließen sich weitgehend intuitiv. Die Bearbeitung der besprochenen Aufgaben kann sich jedoch als schwierig erweisen, da bei komplexeren Fragestellungen meist eine Benutzerführung fehlt. Die Vorgehensweise muß vom Benutzer selbst herausgefunden werden, was z.B. bei SQL-Abfragen wegen der eingeschränkten SQL-Syntax nicht immer trivial ist.

Zur Verwirrung trägt die Vielzahl der Fenster bei, die alle über den selben Menüpunkt verwaltet werden. Nur mit Hilfe eines Tools ist es z.B. möglich, sich alle geöffneten Tabellen zusammenhängend anzeigen zu lassen (sie werden dabei nicht alphabetisch sortiert!). Nur Anzeigefenster können ohne Verluste geschlossen und wieder geöffnet werden. Bei allen anderen Fenstern müssen die Inhalte nach dem Schließen wieder neu zusammengestellt werden, wenn sie nicht im Arbeitsbereich gespeichert sind und über diesen Weg rekonstruiert werden können. Auch die Vielzahl temporärer Fenster, die z.B. bei der Aktualisierung von Spalten oder durch Abfragen entstehen, trägt nicht zur Übersichtlichkeit bei.

## 8 Schlußbetrachtung

Die vorliegende Arbeit zeigt, daß mit Hilfe von MapInfo und MS Access ein Anwendungs-Grundsystem für das Flächenmanagement von Wasserschutzgebieten erstellt werden kann, das den Bearbeiter bei der Verwaltung unterstützt und die wichtigsten zu erledigenden Aufgaben vereinfacht.

Um die gesamte entwickelte Anwendung beurteilen zu können, werden die in Kap. 1.2.2 aufgelisteten Teilziele 1 bis 4 nochmals aufgegriffen und diskutiert.

1. Wie in Kap. 6.2.1 ausgeführt, beschränkt sich die Diskussion zur **Durchführung von SQL-Abfragen** auf die GI-Software. Prinzipiell ist die Ausführung von SQL-Abfragen in MapInfo möglich. Einschränkungen ergeben sich jedoch durch MapInfo-spezifische Besonderheiten bezüglich der Unterstützung der Syntax (vgl. Kap. 6.1 in der Dokumentation). Bei komplexen Abfragen (Joins von mehreren Tabellen, Verwendung von Unterabfragen, etc.) werden die Grenzen der SQL-Funktionalität von MapInfo schnell erreicht. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, komplexere Abfragen in Access auszuführen und in MapInfo einzubinden (möglich ist dabei nur die Verknüpfung mittels ODBC). Der Nachteil besteht darin, daß von MapInfo aus keine Änderung der Daten vorgenommen werden kann.
2. Die in MapInfo integrierten Werkzeuge für **räumliche Analysen** können die Grundlage für ein Auskunftssystem bilden, das vom Bearbeiter genutzt wird. Die Werkzeuge ermöglichen die Selektion, Aggregation und Disaggregation von räumlichen Daten. Das Vorgehen wird auch beim Zusammenfassen und Teilen von Objekten nicht durch interaktive Dialogfelder unterstützt. Der Einsatz der verschiedenen Werkzeuge muß vom Nutzer selbst in der richtigen Reihenfolge durchgeführt werden und erfordert daher Erfahrung im Umgang mit Methoden der räumlichen Analyse. Die **Erstellung von thematischen Karten** läßt sich in MapInfo mit relativ einfachen Mitteln durchführen. Vorlagen für Darstellungsstil und Legendenbeschriftung können gespeichert werden. Sie werden automatisch im Installationsverzeichnis von MapInfo und nicht im aktuellen Verzeichnis abgelegt, was beim Export von Anwendungen zu beachten ist. Die Erstellung von thematischen Karten nach Vorlagen ist relativ einfach und für den Benutzer leicht zu erlernen. Da sie in der Regel auf SQL-Abfragen basieren, gelten die unter Punkt 1 genannten Einschränkungen auch für räumliche Analysen.
3. Zwischen GIS und externer Datenbank ist der bidirektionale **Austausch von Daten** möglich. Das Vorgehen bei der Änderung und Ergänzung von Datensätzen unterscheidet sich bei den beiden Arten der Anbindung an die Datenbank. Während bei der direkten Kopplung die Bearbeitung der Daten in nur jeweils einer geöffneten Anwendung zulässig ist, können bei der Verknüpfung über ODBC die Daten wechselseitig in beiden Anwendungen editiert werden. Dabei muß natürlich darauf geachtet werden, daß nicht gleichzeitig in beiden Anwendungen auf den selben Datensatz zugegriffen wird.

4. Zur **Benutzerfreundlichkeit** der entwickelten Anwendung: Da es sich um ein offenes System mit teilweise vorkonfigurierten Features, jedoch um keine eigens entwickelte Software mit Benutzeroberfläche handelt, ist für den Anwender eine Einarbeitung in die Grundfunktionalität von MapInfo nötig. Um dies zu umgehen, müßte mit MapBasic, der Programmierumgebung von MapInfo, eine spezielle Benutzeroberfläche erstellt werden, die die Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte durch Dialogfenster und eigene Schaltflächen erleichtert. Die vordefinierten Funktionen (SQL-Abfragen, thematische Karten, etc.) sind allerdings so gestaltet, daß der Anwender damit nach kurzer Zeit selbständig arbeiten kann.

## 9 ... und Ausblick

Erfahrungsgemäß wächst eine Software mit den Anforderungen des Anwenders. Die meisten Anwendungen werden typischerweise im Laufe der Zeit um weitere Funktionen ergänzt. Für die Verwendung bzw. Weiterentwicklung des vorgestellten GIS-Datenbank-Grundsystems lassen sich prinzipiell folgende Szenarien vorstellen:

1. **Die Anwendung wird ohne weitere Verfeinerungen ergänzend zur herkömmlichen Arbeit verwendet.** Dies wäre die einfachste und kostengünstigste Variante. Der Anwender gibt sich mit einer Grundfunktionalität zur Behandlung der häufigsten Aufgabenstellungen zufrieden und löst weitergehende und spezielle Probleme auf herkömmliche Art (analoge Pläne, Berechnungen mit Tabellenkalkulationsprogrammen etc.).
2. **Der Bearbeiter hat Interesse an der Einarbeitung in MapInfo und Access und ergänzt die Anwendung.** Dies setzt voraus, daß der Bearbeiter entweder Grundkenntnisse in der Arbeit mit GIS und Datenbanken mitbringt, oder bereit ist, sich diese anzueignen. Je nach Kenntnisstand und verfügbarer Zeit kann der Anwender komplexere Aufgaben (Erstellung von thematischen Karten, Durchführung von SQL-Abfragen und räumlichen Analysen) selber ausführen.
3. **Das Grundsystem wird zu einem vorkonfigurierten Datenbank-GIS-System mit GUI ausgebaut.** Dazu sind fundierte Kenntnisse in den Entwicklungsumgebungen von MapInfo und Access (MapBasic und VBA) nötig. Die Entwicklung müßte durch ein Fachbüro mit entsprechendem Fach- und Programmierwissen vorgenommen werden. Sinnvoll wäre der Zugriff auf Access und MapInfo über eine gemeinsame Benutzeroberfläche. Damit werden Eingabeprüfungen möglich und Konflikte vermieden, die durch unsachgemäße Änderungen von Datensätzen entstehen können. In MapInfo werden Buttons erstellt, mit denen umständlichere Arbeitsabfolgen automatisiert durchgeführt werden können. Die Menüführung in MapInfo wird auf die Funktionen beschränkt, die der Anwender benötigt.

Welche dieser Möglichkeiten gewählt wird, hängt ab von den fachlichen Kenntnissen des Anwenders und des Fachbüros, den Anforderungen des Anwenders, sowie den Kosten, die die Programmierung und Konfiguration der Software verursacht.

## 10 Literaturverzeichnis

- AUTODESK (1997): AutoCAD Map R2, Hilfe und Benutzerhandbuch; Neuchâtel
- BARTELME, N. (1995): Geoinformatik – Modelle, Strukturen, Funktionen; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg
- FINNERN, H. (Hrsg., 1996): Bodenkundliche Kartieranleitung; Schweizerbart Verlag; Stuttgart
- DICKMANN, F. u. K. ZEHNER (1999): Computerkartographie und GIS; Westermann Verlag; Braunschweig
- FREDE, G. u. S. DABBERT (Hrsg., 1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft; ecomed Verlag; Landberg
- GEOTEAM GMBH (1995): Grundwasserschutzpotential der Böden im Trinkwasserschutzgebiet Gersbach; unveröffentl. Gutachten im Auftrag der Stadtwerke Ansbach; Bayreuth
- GEOTEAM GMBH (1999): Wasser & Brot - Abschlussbericht zum Informations- und Ideenmarkt der Bauern im Wiesent-Aufseß-Gebiet der fränkischen Schweiz mit der Bayer. Wasserwirtschaftsverwaltung - unveröffentl. Gutachten im Auftrag des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Bayreuth
- HARTMANN, CH. (1996): Die Sanierung der Wasserversorgung Stegaurach – in: Landbewirtschaftung und Trinkwasserschutz; Materialien Nr. 70 des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft; München
- MAPINFO CORPORATION (1999): MapInfo professional 5.5, Hilfe und Benutzerhandbuch; Troy; New York
- MICROSOFT CORPORATION (1997): Microsoft Access 97
- SAUER, H. (1998): Relationale Datenbanken; Addison-Wesley-Longman Verlag; Bonn
- SAURER, H. u. F.-J. BEHR (1997): Geographische Informationssysteme; Wissenschaftliche Buchgesellschaft; Darmstadt
- WAGNER, B. (1995): Untersuchungen zum Wasser- und Stofftransport in der ungesättigten Zone im Hinblick auf ihre Schutzfunktion für das Grundwasser; in: Fachberichte des Bayer. geologischen Landesamtes 13; 81 – 100; München
- WILHELMY, H. (1996): Kartographie in Stichworten; Verlag Ferdinand Hirt; Zug

## 11 Anhang