

Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

Wolfgang Klink

Weiterentwicklung und Einsatz des Bodenkundlich - Meteorologischen Moduls „BOMET“

Diplomarbeit unter der Leitung von Prof. Dr. Ch. Leibundgut
Freiburg i. Br., im Oktober 2001

Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

Wolfgang Klink

Weiterentwicklung und Einsatz des Bodenkundlich - Meteorologischen Moduls „BOMET“

Referent: Prof. Dr. Ch. Leibundgut

Koreferent: Prof. Dr. S. Demuth

Diplomarbeit unter der Leitung von Prof. Dr. Ch. Leibundgut
Freiburg i. Br., im Oktober 2001

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei den vielen Personen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben bedanken:

An erster Stelle danke ich meinen Eltern Johanna und Winfried Klink, die mich während des Studiums jederzeit unterstützt haben und immer für mich da waren.

Ein riesiges Dankeschön geht an meinem Betreuer Stephen Schrempp, dessen große Geduld und Hilfsbereitschaft viel zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen hat. Danke für die angenehme Arbeitsatmosphäre während der Diplomarbeit!

Jan Kiefer danke ich für die gute Zusammenarbeit, speziell beim Einlernen in Smallworld-GIS, die es ermöglichte, Fragen schnell zu beantworten und durch die gemeinsame Lösungssuche oft die Arbeit erleichtert hat.

Herrn Trenkle von der Finanzverwaltung Freiburg möchte ich für die unkomplizierte Bereitstellung der Bodenschätzdaten danken.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei allen meinen Kommilitonen für die schöne Studienzeit bedanken, vor allem aber bei Thomas, Sven, Jannis und Peter ohne die die Zeit in Freiburg nur halb so schön gewesen wäre.

Diese Arbeit wurde nach der neuen deutschen Rechtschreibung verfasst

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	I
INHALTSVERZEICHNIS	II
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IM TEXT	IV
VERZEICHNIS DER TABELLEN IM TEXT	VI
VERZEICHNIS DER TABELLEN IM ANHANG	VI
LISTE DER ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE	VII
ZUSAMMENFASSUNG	IX
ENGLISH SUMMARY	XII
1 EINLEITUNG	1
2 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	3
3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	5
3.1 Geoinformationssysteme	5
3.2 Das Geoinformationssystem <i>Smallworld GIS</i>	6
3.3 Die Entwicklungsumgebung in <i>Smallworld GIS</i>	7
3.3.1 Die Programmiersprache <i>Magik</i>	7
3.3.2 Das Case-Tool	8
3.4 Die Datenbank von <i>Smallworld GIS</i>	10
3.5 Fazit	14
4 EINFÜHRUNG IN DAS FORSCHUNGSPROJEKT <i>WAQIS</i>	15
4.1 Einleitung	15
4.2 Das Wasserinformationssystem <i>LIWIS</i>	16
4.3 <i>BOMET</i>	17
4.4 Fazit	20

5	ENTWICKLUNG VON GIS-WERKZEUGEN ZUR VORHALTUNG UND AUFBEREITUNG DER REICHSBODENSCHÄTZUNG	21
5.1	Daten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung.....	21
5.2	Die Integration der Reichsbodenschätzung in das bodenkundlich- meteorologische Modul BOMET	22
5.2.1	Allgemeines zur Reichsbodenschätzung	23
5.2.2	Die Übersetzung der Reichsbodenschätzung	26
5.2.3	Der Übersetzungsschlüssel.....	27
5.2.4	Nutzung der Bodenschätzdaten für nichtsteuerliche Zwecke.....	28
5.3	Entwicklung des GIS-Datenmodells und Umsetzung der Übersetzungsverfahren.....	29
5.3.1	Bodenprofile	29
5.3.2	Übersetzung der Bodenschätzung	35
5.3.3	Bodenkennwerte	36
5.3.4	Bodenschätzflächen	39
5.4	Einsatz der neuentwickelten GIS-Funktionalität	41
5.5	Fazit	44
6	DIE ENTWICKLUNG EINES VISUALISIERUNGSWERKZEUGES FÜR BOMET	46
6.1	Einleitung	46
6.2	Zielsetzung und Vorgehensweise bei der Entwicklung der Visualisierungswerkzeuge.....	49
6.3	Der zentrale Darstellungseditor als Ausgangspunkt der Visualisierung im BOMET	50
6.4	Das Style-Tool	52
6.5	Das Legenden-Tool.....	57
6.6	IHF Style-Generator	60
6.7	Fazit	62
7	SCHLUßBETRACHTUNG UND AUSBLICK.....	63
8	LITERATURVERZEICHNIS	66
	ANHANG	1
	Anweisungen zur Erfassung der Reichsbodenschätzung im GIS	1
	EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG	2

Verzeichnis der Abbildungen im Text

Abb. 3.1: Bodenkundliches Datenmodell im CASE-Tool von Smallworld-GIS	9
Abb. 3.2: Tabellenaufbau einer relationalen Datenbank	11
Abb. 3.3: Die <i>Datastore-Dateien</i> einer Smallworld-GIS Anwendung	13
Abb. 4.1: Übersicht über das WAQIS-Projekt	15
Abb. 4.2: Verknüpfung zwischen BOMET und LIWIS	17
Abb. 4.3: Schematischer Aufbau des Bodenkundlich – Meteorologischen Moduls BOMET	18
Abb. 4.4: Das Datenmodell von BOMET	19
Abb. 5.1: Schätzungsbuch für Ackerland	25
Abb. 5.2: Schätzungsbuch für Grünland	25
Abb. 5.3: Ausschnitt der Bodenschätzkarte im GIS-Grafikfenster	26
Abb. 5.4: Teil des Übersetzungsschlüssels für Lössböden (BENNE, 1990)	27
Abb. 5.5: Das Datenmodell der Bodenschätzung im BOMET	30
Abb. 5.6: Editor der Klasse <i>IHF BS Profil (Basisdaten)</i> und Untereditor <i>Titeldaten</i>	31
Abb. 5.7: Editor der Klasse <i>IHF BS Horizont (Basisdaten)</i> und Untereditor <i>Weitere Daten</i>	34
Abb. 5.8: Ein Datensatz der Übersetzungstabelle für Lössböden (<i>IHF BS Uebersetzung Loess</i>)	35
Abb. 5.9: Schematischer Ablauf der Aufbereitung der <i>Reichsbodenschätzung</i>	38
Abb. 5.10: Editor der Klasse <i>IHF BS Schaetzflaeche</i> und die Untereditoren <i>Geometrie-Daten, Kennwerte bis 1m</i> und <i>Kennwerte WE</i>	39
Abb. 5.11: Bodenschätzflächen und Bodenschätzprofile im Trinkwassergewinnungsgebiet Hausen	42
Abb. 5.12: Kf-Wert-Verteilung des selben Gebietsausschnittes ermittelt auf Basis von <i>Bodenschätzflächen</i> und von <i>Hydropedotopen</i> . Weiße Flächen sind Bodenschätzflächen für die kein kf-Wert ermittelt wurde.	43
Abb. 6.1: Ein Beispiel für inkonsistente Daten. Dargestellt ist die Verteilung der jährlichen Anzahl nasser Tage in Baden-Württemberg. Verändert nach KOTLARSKI (2001)	46
Abb. 6.2: Verteilung der Bodenarten in der Staufener Bucht. Dargestellt sind die Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung	47
Abb. 6.3: Schematischer Ablauf der Visualisierung im BOMET	48
Abb. 6.4: Datenmodell für die Visualisierung im BOMET	50
Abb. 6.5: Der zentrale <i>Visualisierungs-Editor</i> und der Untereditor <i>Parameter Informationen</i>	51
Abb. 6.6: Der Style-Editor (Darstellungs-Editor) von Smallworld-GIS	53
Abb. 6.7: Die Editoren der Klassen <i>IHF Style</i> und <i>IHF Substyles</i>	54
Abb. 6.8: Farbpalette zur Auswahl der Substyle-Farbe und Kontrollfeld für die aktuelle Farbe	56
Abb. 6.9: Schema der Funktionsweise einer Legende im BOMET	57

Abb. 6.10: Die Editoren der Klassen <i>IHF Legende</i> , <i>IHF Legende Klasse (Signaturen)</i> und <i>IHF Legende Klasse (Intervalle)</i>	58
Abb. 6.11: Der <i>IHF Style-Generator</i> : Editoren für die Parameterauswahl, für die Auswahl des Farbverlaufs und zur Einteilung des Parameter-Wertebereichs in Klassen.....	61

Verzeichnis der Tabellen im Text

Tab. 5.1: Die Felder der Tabelle <i>IHF BS Profil (Basisdaten)</i>	32
Tab. 5.2: Die Felder der Tabelle <i>IHF BS Horizont (Basisdaten)</i>	33
Tab. 5.3: Erläuterung der Bodenkennwerte im BOMET (verändert nach EBERLE 1999)	37
Tab. 5.4: Die Felder der Tabelle <i>IHF BS Schaetzflaeche</i>	40
Tab. 6.1: Beispiele für Farben im RGB Farbcode	54
Tab. 6.2: Die Felder der Tabelle <i>IHF Style</i>	55
Tab. 6.3: Die Felder der Tabelle <i>IHF Substyles</i>	55
Tab. 6.4: Die Felder der Tabelle <i>IHF Legende</i>	58
Tab. 6.5: Die Felder der Tabelle <i>IHF Legende Klasse (Intervalle)</i>	59
Tab. 6.6: Die Felder der Tabelle <i>IHF Legende Klasse (Signaturen)</i>	59

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Tab. A.1: Einteilung der Klimabereiche nach ECKELMANN ET AL. (1982)	1
Tab. A.2: Zeichen zur Verstärkung oder Abschwächung (BENNE ET AL., 1990)	2
Tab. A.3: Wasserstufen (BENNE ET AL., 1990)	2
Tab. A.4: Entstehung (BENNE ET AL., 1990)	2
Tab. A.5: Beispiele für die Umschlüsselung der Bodenart	3

Liste der Abkürzungen und Symbole

<i>ACE</i>	Anwendungs-Konfigurationsumgebung (Application-configuration-environment)
<i>Al</i>	Alluvium (Schwemmlandboden)
<i>Alg</i>	Gesteinhaltiges Alluvium
<i>ASCII</i>	American Standard Code for Information Interchange
<i>BMBF</i>	Bundesministeriums für Bildung und Forschung
<i>BOMET</i>	Bodenkundlich-meteorologisches Teilinformationssystem
<i>BS</i>	Bodenschätzung
<i>CASE</i>	Computer-Aided Software Engineering
<i>C_{org}</i>	Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff
<i>D</i>	Diluvium
<i>DBMS</i>	Datenbankverwaltungssystem (Database management system)
<i>Dg</i>	Gesteinhaltiges Diluvium
<i>DGK</i>	Deutsche Grundkarte
<i>FEW</i>	Freiburger Energie- und Wasserversorgungs-AG
<i>FK</i>	Feldkapazität (in Vol-% oder mm/Bezugstiefe)
<i>FK_{we}</i>	Feldkapazität des effektiven Wurzelraums
<i>GIS</i>	Geographisches Informationssystem
<i>GPV</i>	Gesamtporenvolumen
<i>GPV_{we}</i>	Gesamtporenvolumen des effektiven Wurzelraums
<i>GUI</i>	graphical user interface
<i>GWNB</i>	Grundwasserneubildung
<i>KAK_{eff}</i>	Effektive Kationenaustauschkapazität
<i>KAK_{pot}</i>	Potentielle Kationenaustauschkapazität
<i>k_f</i>	Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit
<i>LIWIS</i>	Lahmeyer International Wasserinformationssystem
<i>LK</i>	Luftkapazität (in Vol.-% oder mm/Bezugstiefe)
<i>LK_{we}</i>	Luftkapazität des effektiven Wurzelraums (in mm)
<i>Lo</i>	Lößboden
<i>Me</i>	Mergelboden
<i>N</i>	Niederschlag
<i>NIBIS</i>	Niedersächsisches Bodeninformationssystem
<i>nFK</i>	Nutzbare Feldkapazität (in Vol.-% oder mm/Bezugstiefe)
<i>nFK_{we}</i>	Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums
<i>LABO</i>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
<i>NO₃-</i>	Nitrat
<i>OOP</i>	Object-oriented programming
<i>PWP</i>	Permanenter Welkepunkt (in Vol-% oder mm/Bezugstiefe)
<i>PWP_{we}</i>	Permanenter Welkepunkt des effektiven Wurzelraums

<i>RGBI</i>	Reichsgesetzbuch, Band 1
<i>SQL</i>	Structured Query Language, Programmiersprache für Datenbankabfrage
<i>TK</i>	Topographische Karte
<i>TVO</i>	Trinkwasserverordnung
<i>V</i>	Verdunstung
<i>V</i>	Verwitterungsboden
<i>V_g</i>	Gesteinhaltiger Verwitterungsboden
<i>WAQIS</i>	Wasserqualitätsinformationssystem
<i>WE</i>	Effektive Durchwurzelungstiefe

Zusammenfassung

Die stoffliche Belastung des Grundwassers ist für die Trinkwassergewinnung in den letzten Jahrzehnten zunehmend zu einem Problem geworden. Dabei ist die intensive landwirtschaftliche Bodennutzung einer der Hauptverursacher flächenhafter Grundwasserbelastungen. Zusammen mit der Belastung durch Pflanzenschutzmittel ist die Nitratauswaschung aus den landwirtschaftlichen Flächen ins Grundwasser die Hauptproblematik für die Trinkwassergewinnung.

Da Pflanzen zum Wachsen Nährstoffe brauchen ist die Düngung mit Stickstoff, Phosphor und anderen Stoffen die wichtigste Maßnahme für die Sicherung hoher Erträge. Ein Verzicht auf Düngung bedeutet auch gleichzeitig ein Verzicht auf Produktivität. Andererseits werden bei zu hoher Düngung und falschem Düngezeitpunkt die überschüssigen, nicht von Pflanzen aufgenommenen Nährstoffe in der Bodenlösung mit dem Sickerwasserstrom in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser verlagert. Dabei ist es vor allem das leicht lösliche, im Boden kaum zurückgehaltene Nitrat, das in erhöhter Konzentration im Grundwasser auftritt.

Da die für die Trinkwassergewinnung genutzten Gebiete aufgrund der fruchtbaren Böden meist zugleich auch landwirtschaftlich genutzte Gebiete sind, kommt es zu einem Nutzungs- bzw. Interessenkonflikt zwischen dem Trinkwasserversorger, der die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung einhalten muss auf der einen Seite, und den Landwirten, die versuchen möglichst hohe Erträge zu erzielen, auf der anderen Seite.

Um diesen Nutzungskonflikt zu lösen ist es notwendig, dass Hilfsmittel zur Verfügung stehen, die den Bewertungshintergrund für die sachlichen und politischen Entscheidungen bezüglich der Nitratproblematik bereitstellen. Dieser Forderung versucht das Forschungsprojekt **WAQIS** (Wasserqualitätsinformationssystem) gerecht zu werden.

Ziel dieses Projektes ist es, ein Wasserqualitätsinformationssystem für die regionalen Grundwassergewinnungsgebiete *Zartener Becken* und *Staufener Bucht* aufzubauen. Das Projekt entwickelte sich aus einer langjährigen Zusammenarbeit des *Instituts für Hydrologie Freiburg (IHF)* mit der regionalen Wasserversorgung *Freiburger Energie- und Wasserversorgungs-AG (FEW)* bei vielfältigen Fragestellungen des Ressourcenmanagements und der Qualitätssicherung der bewirtschafteten Trinkwasservorkommen im Freiburger Raum.

Da ein Verzicht auf Düngung mit einem empfindlichen Ertragsverlust für die Landwirtschaft verbunden ist, liegt der Ansatz zur Reduzierung der Nitratbelastung in der Düngeoptimierung. Die für die Pflanzenproduktion benötigte Stickstoffmenge muss möglichst genau abgeschätzt werden um die optimale Düngemittelmenge zu bestimmen, bei der noch keine Auswaschung stattfindet.

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen ist eine integrative, raumbezogene und zeitvariante Beschreibungen der im Boden und dem Grundwassersystem ablaufenden Prozesse und ihrer Einflussgrößen notwendig. Das hierzu entwickelte Wasserqualitätsinformationssystem **WAQIS** bietet durch hydrologische Modelle und Methoden die Möglichkeit der qualitativen und quantitativen Beschreibung aller relevanten Wasserhaushaltsgrößen und ihrer Steuerfaktoren in hoher Auflösung.

Wichtigste Randinformation für eine hydrologische Modellierung sind die Eigenschaften der im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Böden. Der Wichtigkeit des Bodens für den Stoffaustausch aus landwirtschaftlichen Flächen wird im WAQIS das Boden-meteorologische Teilinformationssystem **BOMET** gerecht dessen Erweiterung und Vervollständigung Ziel der vorliegenden Arbeit war. Wie das, die Basis des WAQIS bildende Wasserinformationssystems LIWIS der Firma *Lahmeyer International* wurde BOMET als Softwareanwendung für das Geoinformationssystem (GIS) **Smallworld** programmiert.

Neben der Vorhaltung sämtlicher hydrologisch relevanter Daten in einer Geodatenbank bietet BOMET die Möglichkeit aus den erfassten Daten Bodenkennwerte abzuleiten, die den Boden hinsichtlich seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften beschreiben, darüber hinaus implementiert BOMET Auswertungswerkzeuge die diese bodenkundlichen Informationen weiterverarbeiten und dadurch einen Einblick in die, in der Pedosphäre ablaufenden Prozesse liefern. Die Aufgaben der GIS-Anwendung BOMET in Verbindung mit der hydrologischen Modellierung sind sowohl eine automatisierte Parametrisierung der Modellrandbedingungen, als auch die Auswertung, Verwaltung und Visualisierung der Modellergebnisse.

Um der Wichtigkeit des Bodenraums als Schnittstelle zwischen landwirtschaftlicher Nutzung und Trinkwassergewinnung noch besser gerecht zu werden, wurde BOMET im Zuge der vorliegenden Arbeit um eine weitere bodenkundliche Datenbasis erweitert. Neben der standardmäßig für wissenschaftliche Zwecke herangezogenen *Bodenkundlichen Kartierung* kann in Zukunft auch auf die **Reichsbodenschätzung** als zweite Datenquelle zugegriffen werden. BOMET wurde hierzu um ein Datenmodell erweitert, in das die bodenkundlichen Informationen aus dem Feldschätzbuch der Reichsbodenschätzung übertragen werden können.

Der bei der Durchführung der *Bodenschätzung* verwendete Schlüssel zur Beschreibung und Klassifizierung des Bodens stammt aus den Dreißigerjahren und ist deshalb aus bodenkundlicher Sicht veraltet. Zudem basieren die Berechnungsmethoden und Verknüpfungsregeln für die Bestimmung von Bodenkennwerten fast ausnahmslos auf Profilbeschreibungen nach der, von der *Bundesanstalt für Geowissenschaften* und den *geologischen Landesämtern* herausgegebenen *Bodenkundlichen Kartieranleitung*. Neben den Strukturen für die Vorhaltung der Bodenschätzung wurden deshalb Aufbereitungsverfahren in das BOMET integriert, mit dem Ziel, die Bodenschätzdaten für die Bodenkennwertberechnung und somit auch für die Ableitung der Randbedingungen hydrologischer Modelle nutzbar zu machen. Hierbei findet ein, vom *Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung* entwickelter Übersetzungsschlüssel Anwendung, der die Signaturen und Bezeichnungen der Reichsbodenschätzung in die heute gebräuchlichen Bezeichnungen übersetzt. Die Übersetzung in die Bezeichnungen der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* erlaubt es, die bereits in einer früheren Arbeit (EBERLE, 1999) entwickelten Methoden zur Kennwertberechnung auch auf die Bodenschätzdaten anzuwenden.

Nach Fertigstellung der neuen Funktionalität wurden die Aufbereitungsmethoden für Bodenschätzungen in einer praktischen Anwendung getestet. Dabei wurden für einen Teil der *Staufener Bucht*, dem Einzugsgebiet des Wasserwerks in *Hausen a. d. Möhlin*, die Bodenprofile der Reichsbodenschätzung digitalisiert und in den WAQIS-Datenbestand übernommen. Unter Anwendung der Aufbereitungsverfahren im BOMET werden die Profilbeschreibungen in die Signaturen und Bezeichnungen der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* übersetzt und diese dann schließlich zur Berechnung von bodenkundlichen Kennwerten herangezogen.

Im zweiten Teil dieser Diplomarbeit wurden die Visualisierungsmöglichkeiten des BOMET um einige Funktionen erweitert. Die grafische Darstellung von raumbezogenen Daten ist eine der wichtigsten Fähigkeiten eines Geoinformationssystems und soll deshalb auch für die Zwecke des WAQIS optimal ausgenutzt werden. Das Ziel einer Visualisierung ist es, durch eine geeignete visuelle Repräsentation einer gegebenen Datenmenge wie Modellierungsergebnisse oder bodenkundliche Parameter eine effektive Auswertung zu ermöglichen. Die Visualisierung versetzt den Anwender in die Fähigkeit räumliche Zusammenhänge zu erkennen, zu verstehen und zu bewerten. Oft ist es erst durch die grafische Darstellung möglich, die in den Daten verborgenen Zusammenhänge wie beispielsweise räumliche Trends und Verläufe zu erfassen. Zudem ist die Visualisierung ein wichtiges Hilfsmittel zur Auffindung von Inkonsistenzen in den verwendeten Daten.

Mit Hilfe der im BOMET entwickelten Funktionalität ist der Anwender in der Lage räumlich verteilte Parameter mit geringem Aufwand im GIS-Grafikfenster darzustellen, bzw. bestehende Darstellungen an spezielle Anforderungen anzupassen. Zudem können Darstellungen für eine spätere Wiederverwendung im Datenbestand der Geodatenbank von WAQIS gesichert werden und stehen damit für eine Wiederverwendung weiterhin zur Verfügung.

English Summary

In the last decades the material load of the groundwater has increasingly turned into a problem for the drinking water supply. The intensive agricultural ground-utilization participates one of the main-causes of extensive groundwater pollution. Together with pesticides, the wash-out of nitrate from the agricultural surfaces into the groundwater is the main-problem for the drinking water-extraction.

Since plants need nutrients for growing the fertilization with nitrogen, phosphorus and other materials are the most important measures to safe high yields. A renouncement of fertilization means also at the same time a renouncement of productivity. On the other hand at too high fertilization and false fertilization-date the surplus nutrients in the soil solution are shifted into deeper soil layers and into the groundwater. Thereby it is above all the easily soluble, hardly held back nitrate, which occurs in increased concentrations in the groundwater.

As the areas used for drinking water supply are due to the fertile soils usually at the same time agriculturally used areas, it comes to a conflict of interests between the drinking water supplier on one side, who has to keep the limit values of the drinking water regulation and the farmer, who tries to obtain as high yields as possible, on the other side.

To solve this conflict it is necessary, to have technological aid to provide an evaluation background for the factual and political decisions concerning nitrate problems. The research project **WAQIS** (**water quality information system**) tries to satisfy this demand. The aim of this project is it to build up a water quality information system for the regional groundwater winning areas *Zartener Becken* and *Staufener Bucht*.

The project developed from a many years long co-operation of the *Institute For Hydrology Freiburg (IHF)* with the regional water supply *Freiburger Energie und Wasser Versorgungs AG (FEW)* during various questions of resource management and the quality assurance of drinking water occurrences in the region of *Freiburg im Breigau*.

Since a renouncement of fertilization is connected with a loss of yields for the farmers, the approach for the reduction of the nitrate pollution is to be found in the fertilization optimization. The nitrogen quantity needed for the plant production must be measured as exactly as possible to determine the optimal fertilizer quantity where still no leaching takes place.

To anwer this question an integrative, spatial and time-variant description of the processes taking place in the soil and the groundwater system and of the factors influencing these processes are needed. The water quality information system WAQIS which was developed for this task offers the possibility for the qualitative and quantitative description of all relevant terms of water balance and their control factors in high resolution by providing hydrologic models and methods.

The most important information for a hydrologic modelling are the characteristics of the soils dominating the investigation area. The importance of the soil for the nutrient wash-out from agricultural surfaces is the motivation for the development of the geopedological-meteorological information module **BOMET** whose extension and completion are the aim of this work. As the water information system LIWIS of the company *Lahmeyer international*, which is the base of WAQIS,

BOMET was programmed as software application for the geographic information system (GIS) *Smallworld*.

Apart from storing all hydrologically relevant data in a geo-database BOMET offers the possibility to derive soil characteristic parameters from the entered data which describe the soil regarding its chemical and physical properties. Beyond that, BOMET implements analysis tools which process this soil information to gain insight into the pedological processes. The functions of the GIS application BOMET in connection with hydrologic modelling are both, an automated parameterizing of the model boundary conditions, and the analysis, administration and visualization of the model results.

During this diploma thesis BOMET was extended by a further soil oriented database in order to increase the knowledge of the soil as interface between agricultural use and drinking water supply. Beside the *Bodenkundliche Kartierung* which is consulted according to standard for scientific purposes in the future the ***Reichsbodenschätzung*** (soil estimation) can be accessed as a second data source. For this purpose BOMET was extended by a data model into which the pedological information from the *Feldschätzbuch* (field estimate book) of the *Reichsbodenschätzung* can be transferred.

The code for the description and classification of the soil which is used to perform the *Reichsbodenschätzung*, originates from the thirties-years and therefore is outdated from the pedological point of view. In addition to this the calculation methods and linkage rules for the computation of soil characteristic values almost without exception are based on profile descriptions according to the *Bodenkundliche Kartieranleitung* (guidance for pedological mapping) which is published by the *Bundesanstalt für Geowissenschaften* (Federal Institution for geosciences) and the *geologische Landesämter* (geological national offices).

Therefore apart from the structures for administration of the *Reichsbodenschätzung*, preprocessing functions were integrated into BOMET to make the data of the *Reichsbodenschätzung* usable for the calculation of soil characteristic parameters and thus also for the derivation of the boundary conditions of hydrologic models. Here a translation key is used which was developed by the *Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung* (national office for soil research of *Niedersachsen*) which translates the signatures and names of the *Reichsbodenschätzung* into the today common terms.

The translation into the terms of the *Bodenkundliche Kartieranleitung* makes it possible to apply those in an earlier work (EBERLE, 1999) developed methods for the calculation of soil characteristic values also to the data of the *Reichsbodenschätzung*.

After completion of the new functionality the preparation methods for the data of the *Reichsbodenschätzung* were tested in a practical application. For a part of the *Staufener Bucht*, the catchment area of the water company in *Hausen an der Möhlin*, the soil profiles of the *Reichsbodenschätzung* were digitized and transferred to the WAQIS database. With use of the preprocessing methods in BOMET the descriptions of the soil profiles are translated into the signatures and designations of the *Bodenkundliche Kartieranleitung* and then finally consulted for the calculation of soil characteristic values.

In the second part of this diploma thesis the visualization possibilities of BOMET were extended by some functions. The visualization of spatial data is one of the most important abilities of a geographic information system and shall therefore also be used optimally for the purposes of the WAQIS projekt. The purpose of a visualization is it to produce a suitable visual representation of a given quantity of

data such as modelling results or soil characteristic parameters and to enable thus an effective analysis. Visualization gives the user the ability to detect, understand and evaluate spatial correlations. Often it is only possible by visualization to detect the connections hidden in the data as for example spatial trends and processes. Besides, visualization is an important aid to locate inconsistencies in the data. With the help of the functionality developed in BOMET the user is able to visualize a spatial parameter in the GIS graphics window without much effort. In addition to this the visualizations are saved in the WAQIS data base and can be stored for a later re-use.

1 Einleitung

In Deutschland wird Trinkwasser heute zu 7% aus Quellen, zu 64% aus Grundwasser und zu 29% aus Oberflächenwasser (Talsperren, Flüsse, Seen) gewonnen. Somit stellen die Grundwasservorkommen die wichtigste Trinkwasserquelle der Bundesrepublik dar. Dem Schutz der Grundwasservorräte als größtes Trinkwasserreservoir kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu und steht im Mittelpunkt der Qualitätssicherung der Trinkwasserversorger.

Die fruchtbaren Böden der beiden Trinkwassergewinnungsgebiete der *Freiburger Energie- und Wasserversorgungs-Ag (FEW)*, *Staufener Bucht* und *Zartener Becken* eignen sich hervorragend für die landwirtschaftliche Nutzung, wobei jedoch Düngung und Einsatz von Pestiziden die Voraussetzung für hohe Erträge sind. Die Einträge von Nitrat und Pestiziden aus der intensiven Landwirtschaft sind die Hauptquelle der Boden- und Aquiferbelastung in den Freiburger Trinkwassergewinnungsgebieten und erschweren die Einhaltung der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TVO).

Die Lösung des Nutzungskonflikts zwischen Trinkwassergewinnung und intensiver Landwirtschaft ist das Ziel des integrierten Trinkwasserschutzes. Ein Schritt in diese Richtung ist das Forschungsprojekt **WAQIS**, das den Aufbau eines **Wasserqualitätsinformationssystems** ist. WAQIS entwickelte sich aus der langjährigen Zusammenarbeit des *Instituts für Hydrologie Freiburg (IHF)* mit dem regionalen Wasserversorger FEW bei vielfältigen Fragestellungen des Ressourcenmanagements und der Qualitätssicherung der bewirtschafteten Grundwasservorkommen im Freiburger Raum.

Forschungsgegenstand dieses Projekts bildet der Wasserhaushalt der regionalen Grundwassergewinnungsgebiete *Zartener Becken* und *Staufener Bucht*, gekoppelt mit der Entwicklung eines raumbezogenen, wasserwirtschaftlichen Informationssystems WAQIS, das zukünftig eine zentrale Plattform der regionalen Wasserwirtschaft und hydrologischen Forschung bilden wird (WAQIS, 2001).

Die Aufgabe des Wasserinformationssystems besteht im zentralen Monitoring aller für den Aquifer- und Bodenschutz relevanter Daten wie z.B. Grundwasserstände, Bodeneigenschaften und Messwerte der Stoffbelastung von Boden- und Grundwasser in einer Geodatenbank. Die Fähigkeiten des zugrunde liegenden Geoinformationssystems ermöglichen sodann die räumliche und zeitliche Verknüpfung der Daten um einen Informationsmehrwert zu erhalten. Hierfür stellt das *WAQIS* eine Reihe von Auswertungswerkzeugen bereit, die die Kenntnisse der im Boden und Aquifer ablaufenden Prozesse erweitern.

Von großem Interesse ist dabei vor allem die Grundwasserneubildung als relevante Größe für die Erneuerung der Grundwasservorkommen und als Haupteinflussfaktor für die Nährstoffverlagerung vom Boden ins Grundwasser. Sie ist als Eingangsgröße auch für die Grundwassermodelle im WAQIS-Projekt von Bedeutung.

Der Einsatz von Modellen zur Simulierung der Stickstoffdynamik liefert darüber hinaus einen hoch aufgelösten Einblick in die Stickstoffverlagerungs- und Auswaschungsvorgänge im Boden. Hierzu wurde ein Agrarökosystemmodell an das BOMET gekoppelt. Die Modellierungsergebnisse finden z.B. Verwendung in der Anbauberatung und für die Düngeoptimierung mit dem Ziel der Reduzierung der Stickstoffbelastung im Grundwasser.

Für die Durchführung einer Stickstoffmodellierung, wie auch für weitere Anwendungen des WAQIS wie die Berechnung der, als Randbedingung für Stofftransportmodellierungen erforderlichen Grundwasserneubildung, sind Informationen über den Boden und damit die Abbildung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Pedosphäre und ihrer Prozesse im Wasserinformationssystems grundlegende Voraussetzung. Der Boden fungiert als Bindeglied zwischen Erdoberfläche und Aquifer und ist dadurch von großer Bedeutung für den Grundwasserschutz. Die Pedosphäre bildet einen natürlichen Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen durch deren Abbau, Festlegung, Verdünnung und Transportverzögerungen im Boden. Um der Wichtigkeit des Bodenraums für die Aufgaben der Sicherung der Trinkwasserqualität gerecht zu werden ist die Kenntnis der Bodenverhältnisse und Bodeneigenschaften deshalb von äußerster Wichtigkeit.

Die Wichtigkeit des Bodenraums für die Aufgaben der Sicherung der Trinkwasserqualität bildete die Motivation für die Entwicklung des **bodenkundlich-meteorologischen Informationsmoduls BOMET** im Rahmen des WAQIS-Projekts. BOMET dient zur Verwaltung bodenkundlicher und meteorologischer Daten und stellt Auswertungsmethoden wie die Berechnung von Bodenkennwerten und der Grundwasserneubildung bereit. BOMET wurde 1999 im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelt und soll in der vorliegenden Arbeit um weitere Funktionen erweitert werden.

Das *Bodenmodul* beinhaltet ein Datenmodell für die Aufnahme von Bodendaten aus Profilbeschreibungen nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung* (AG BODEN, 1996). Der gesamte aktuelle bodenkundliche Datenbestand für die *Staufener Bucht* wurden bereits aufgearbeitet, ins BOMET transferiert und dort ausgewertet.

Auf Grundlage der, im *Meteorologie-Modul* vorgehaltenen Daten ist die automatische Erzeugung meteorologischer Zeitreihen durchführbar, d.h. die Messreihen der Klimastationen werden auf die Katasterfläche übertragen um somit eine räumliche Verteilung der meteorologischen Größen zu erhalten. Die boden- und meteorologischen Daten bilden gemeinsam die Basis für die flächenhafte Erzeugung von Zeitreihen abgeleiteter hydrometeorologischen Größen. Bisher wurden im BOMET die Berechnung der potentiellen Evaporation nach *Haude* implementiert, sowie die Simulation des Bodenwassergehalts nach *Haude-Renger*, die Zeitreihen der aktuellen Evaporation, des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung liefert. Schließlich wurde BOMET an das Agrarökosystemmodell *Expert-N* gekoppelt über die automatische Erzeugung der Eingabedateien des Modells aus dem Datenbestand des WAQIS.

Kern dieser Arbeit ist die Integration der *Reichsbodenschätzung* in die Geodatenbank und die Implementierung von Auswertungsverfahren, die eine Kennwertberechnung auf Basis der Bodenschätzung zum Ziel haben. Dadurch steht in Zukunft mit der Bodenschätzung eine Alternative bzw. Ergänzung für die Daten der *bodenkundlichen Kartierung* zur Verfügung. Es bleibt in Zukunft dem Anwender überlassen, ob er für die Berechnung hydrologischer Parameter wie der Grundwasserneubildung, die aus der ausführlicheren *Bodenkundlichen Kartierung* berechneten Bodenkennwerte oder die aus der höher aufgelösten *Reichsbodenschätzung* abgeleiteten Kennwerte verwendet.

Im zweiten Teil dieser Diplomarbeit wurde BOMET um ein Visualisierungswerkzeug erweitert mit dessen Hilfe mit geringem Aufwand Darstellungen der räumlichen Verteilung beliebiger Parameter erzeugt werden können. Die Visualisierung stellt in BOMET ein wichtiges Hilfsmittel dar um die räumliche Verteilung von Messwerten oder errechneten Parametern zu erfassen und auszuwerten und dadurch entsprechende Maßnahmen abzuleiten.

2 Problemstellung und Zielsetzung

Die Grundwasservorkommen, die in Deutschland die wichtigste Trinkwasserquelle darstellen, werden in den letzten Jahrzehnten zunehmend durch anthropogen verursachte Stoffbelastungen gefährdet. Dabei spielt die Nitrat-Belastung infolge landwirtschaftlicher Nutzung eine besondere Rolle da der zulässige Trinkwassergrenzwert der *Trinkwasserverordnung* (TVO) für NO_3^- von 50 mg/l im geförderten Grundwasser in vielen Wasserwerken erreicht oder auch überschritten wird.

Das für die Trinkwasserversorgung gewonnene Grundwasser wird zu einem großen Teil unter landwirtschaftlich genutzten Flächen gebildet und unterliegt dadurch der Gefährdung durch Nitratreinträge über die Stickstoff-Düngung. Eine Nitratauswaschung findet statt, wenn sich mehr Nitrat in der Bodenlösung befindet als die Pflanzen aufnehmen können und wenn ein entsprechender Sickerwasserstrom vorhanden ist, der das überschüssige Nitrat aus dem Wurzelraum ins Grundwasser transportiert. Die Ursache für hohe Nitratgehalte in der Bodenlösung sind zu starke Düngung und der falsche Düngezeitpunkt.

Der Grenzwert für Nitrat wird in Baden-Württemberg fast an jeder zehnten Grundwassermessstelle überschritten. Um den Nutzungskonflikt zwischen Trinkwassergewinnung und moderner Landwirtschaft zu lösen müssen Strategien zur Verringerung des Nitratsaustrags entwickelt werden. Da ein Verzicht auf Stickstoffdüngung auch einen Verzicht auf Produktivität bedeutet, können Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratbelastung nur in der Vermeidung des Nitrat-Austrags aus landwirtschaftlichen Nutzflächen durch Düngeoptimierung und Anbauberatung liegen.

Die folgenden Faktoren haben Auswirkungen auf den Nitrat-Austrag in das Grundwasser:

- Größe und zeitliche Verteilung der Sickerwassermenge
- Art und Dauer des Bewuchses (landwirtschaftliche Nutzung)
- Bodenart (Humusgehalt und biologische Aktivität)
- Stickstoffdüngung (Art, Menge, Zeitpunkt)

Im WAQIS Projekt kommen Modelle zum Einsatz, die durch die Simulation des Stickstoffhaushalts in Boden und Pflanze einen Einblick in den zeitlichen Verlauf der Stickstoffdynamik liefern und damit eine exakte Quantifizierung der zeitabhängigen Nitratauswaschung erlauben.

Um einen ausreichenden Bewertungshintergrund für die sachlichen und politischen Entscheidungen hinsichtlich der Nitratproblematik bereitzustellen, müssen die Modelle hochaufgelöste, möglichst parzellenscharfe Abschätzungen bzw. Simulationen der Nitratauswaschung liefern. Möglich ist dies nur, wenn als Randinformation für die Modellierung flurstücksgenaue Kenntnisse der Böden und ihrer physikalischen Eigenschaften zur Verfügung stehen. Die einzige flächendeckend vorliegende und gleichzeitig parzellenscharfe bodenkundliche Datenbasis sind die Kartierungen der *Reichsbodenschätzung* die zudem für wissenschaftliche Nutzung zur freien Verfügung steht. Kartierungen nach der *Bodenkundlichen Kartieranleitung*, die die standardisierte Grundlage einer flächenhaften Erfassung und Darstellung der Böden in der Bundesrepublik Deutschland darstellt, liegen in der Regel nur in geringer

Auflösung vor und können den notwendigen bodenkundlichen Informationsbedarf deshalb nur unzureichend decken.

Da die Begriffe und Bezeichnungen der *Reichsbodenschätzung* aus bodenkundlicher Sicht als überholt und veraltet anzusehen sind, ist es allerdings nicht möglich die Reichsbodenschätzung in unaufbereiteter Form für wissenschaftliche Zwecke zu nutzen. Zudem basieren Auswertungsmethoden in der Bodenkunde, z.B. die Berechnung bodenphysikalischer Kennwerte wie der Feldkapazität oder bodenchemischer Parameter wie der Kationenaustauschkapazität, in der Regel auf der Bodenbeschreibung nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung* und können nicht auf die Daten der Reichsbodenschätzung angewandt werden.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es deshalb, die Kartierungen der *Reichsbodenschätzung* für die Zwecke des WAQIS-Projektes nutzbar zu machen. Durch Erweiterung des Datenmodells und des Funktionsumfangs von BOMET sollte die Grundlage geschaffen werden, um die Daten der *Reichsbodenschätzung* im BOMET vorzuhalten und die Profilbeschreibungen durch Aufbereitungsverfahren soweit in den heutigen bodenkundlichen Sprachgebrauch zu übersetzen, dass sie für die Berechnung von bodenphysikalischen und -chemischen Kennwerten herangezogen werden können.

Um die Ergebnisse der in WAQIS eingesetzten Berechnungsverfahren und Modelle zu analysieren und auszuwerten, mit dem Ziel Maßnahmen für die Reduzierung der Nitratauswaschung abzuleiten, stellt vor allem die Visualisierung ein wichtiges Hilfsmittel dar. Sie erlaubt es, einen schnellen Überblick über die räumliche Verteilung von Messwerten oder berechneten Parametern zu gewinnen und ermöglicht dadurch erste, rein visuelle Analysen. Zudem liefert eine grafische Darstellung Anhaltspunkte für Inkonsistenzen in den Daten, die in tabellarischer Form möglicherweise verborgen bleiben.

Eine weitere Zielsetzung dieser Arbeit war daher, die grafischen Fähigkeiten des Geoinformationssystems Smallworld-GIS durch den Ausbau der Visualisierungsmöglichkeiten im BOMET für die Zwecke des WAQIS-Projektes nutzbar zu machen.

3 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel gibt eine allgemeine Einführung zu Geoinformationssystemen und speziell zu dem, bei im WAQIS Projekt verwendeten Smallworld-GIS. Da in dieser Diplomarbeit nicht nur die Standardfunktionalität des Geoinformationssystems Smallworld GIS Anwendung fand, sondern darüber hinaus auch neue GIS-Strukturen entwickelt wurden, schließt dieses Kapitel eine Einführung in die Entwicklungsumgebung von Smallworld GIS ein.

3.1 Geoinformationssysteme

Die traditionelle Darstellung von geographischen Informationen sind Karten die für die unterschiedlichsten Anwendungen benutzt werden. In der traditionellen Form, gedruckt auf Papier, weist sie allerdings eine Reihe von Einschränkungen auf. Aufgrund der Tatsache, dass Karten statisch sind, sind sie erstens schwierig und teuer auf dem aktuellen Stand zu halten, und zweitens sind sie unflexibel. Wenn sich das interessierende Gebiet z.B. über mehrerer Karten erstreckt müssen die Kartenblätter aneinandergesetzt werden um einen Gesamtüberblick zu ermöglichen und speziell an den Kartenrändern kann es zu Ungenauigkeiten kommen.

Zu Beginn der sechziger Jahre wurde begonnen Computer für die Manipulation und Verwaltung von räumlichen Daten einzusetzen. Allerdings war die Nutzung der Computertechnik zu Anfang stark eingeschränkt, da es kaum digitale Daten gab und die entsprechende Hardwareunterstützung fehlte. Erst mit der starken Zunahme der Hardwareleistung in den achtziger Jahren wurde es möglich Workstations, die der Datenfülle und den Grafikanforderungen gewachsen waren, zu entwickeln und Hardware- und Softwarehersteller begannen, sich auf Geoinformationssysteme zu spezialisieren. Damit war die GIS-Technologie geboren und Systeme wie *Intergraph*, *Arc/Info* (*Esri*), *Sicad* (*Siemens*), *Infocam* (*Kern*) und *System 9* (*Wild*) wurden konzipiert und/oder auf die Bedürfnisse eines GIS zugeschnitten (BARTELME, 2000).

Die folgende Definition erklärt den Begriff ‚Geoinformationssystem‘ und fasst die Funktionen und Anwendungen eines GIS zusammen:

Ein Geographisches Informationssystem (kurz auch Geo-Informationssystem, GIS) ist ein Informationssystem, das der Bereitstellung von Fachinformationen unter Berücksichtigung ihres Raumbezuges dient. Es muss daher Funktionen zur Erfassung, Bearbeitung und Darstellung von raumbezogenen Daten anbieten. Es integriert geometrische Primitive (Kreis, Linie, Rechteck, Polygon), graphische und thematische Beschreibungen zu raumbezogenen Objekten. Die Verknüpfung von thematischen Daten mit Informationen zum Lagebezug, die in der Regel kartographisch dargestellt werden, unterscheidet GIS von reinen Kartier- oder CAD-Systemen. Aufgrund des Raumbezuges sind die not-

wendigen Auswertungs- und Darstellungsverfahren besonders aufwendig. Zielsetzung des Einsatzes von GIS ist in vielen Fällen die Erstellung thematischer Karten. Da der Raumbezug ein wesentliches Charakteristikum derartiger Systeme ist, werden sie vereinzelt auch als *Raumbezogene Informationssysteme (RIS)* bezeichnet (INSTITUT FÜR LANDESPLANUNG UND RAUMFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT HANNOVER, 2000).

3.2 Das Geoinformationssystem *Smallworld GIS*

Das GIS Geoinformationssystem der Firma *Smallworld Systems GmbH* besteht aus der Entwicklungsumgebung *Magik*, einer *Smallworld*-eigenen objektorientierten Programmiersprache und einer ebenfalls objektorientierten relationalen Datenbank. Das Datenmodell wird mit einem *CASE-Tool* erstellt.

Im Gegensatz zu den meisten anderen GIS-Systemen arbeitet *Smallworld* nicht layer-orientiert sondern objekt-orientiert. Die graphische Oberfläche besteht zum einen aus dem GIS-Fenster (Grafikfenster), das die geometrischen Daten zeigt. Die Sicht auf die nicht-geometrischen Daten in der Datenbank erfolgt hingegen über *Editoren*. Für jede Tabelle der Datenbank existiert ein zugehöriger Editor, der einen Datensatz der Tabelle (Objektklasse) anzeigt.

Das Navigieren durch die Datensätze einer Tabelle erfolgt durch betätigen entsprechender Buttons in den Editoren. Ebenso können Beziehungen zwischen den Tabellen (1:n, m:n, 1:0) über Buttons von den Editoren aus verfolgt werden. Für komplexe Zugriffe auf die Datenbank kann ein Abfragewerkzeug aufgerufen werden, mit dem z.B. SQL-Abfragen durchführbar sind (SMALLWORLD SYSTEMS, 1994b).

Ein weiterer Punkt in dem sich *Smallworld-GIS* von anderen GIS-Systemen abhebt ist die Möglichkeit für Geometrien beliebige Topologien festzulegen. Sie bestimmen die Interaktion zwischen den Geometrien. Je nach Regel können zum Beispiel zwei sich schneidende Linien einen Schnittpunkt erzeugen, oder sich ungehindert überlagern. Im ersten Fall wären die Linien topologisch miteinander verknüpft, im zweiten Fall wüssten die beiden Linien nichts voneinander. In anderen GIS-Systemen wie *ARC/INFO* (ESRI, 2000) existiert nur jeweils eine topologische Regel für die verschiedenen Geometrietypen Punkt, Linie und Fläche. In *Smallworld* können hingegen explizite Regeln zwischen den Geometriefeldern der Objekte definiert werden. Somit können unterschiedliche topologische Wechselwirkungen zwischen Geometrien des gleichen Typs verwirklicht werden. Dies ermöglicht beispielsweise die Verwaltung eines Leitungsnetzes unabhängig von einem Straßennetz und einem Gewässernetz. Strassen dürfen sich z.B. untereinander schneiden, haben aber keine Verbindungspunkte zu Leitungen (SMALLWORLD SYSTEMS, 1994a).

Eine Anwendung von *Smallworld 3* besteht aus einer *Magik-Basis*, die von *Smallworld* geliefert wird und einem *Basis-Image*, das aus Standard-Modulen für Funktionen wie Datenbank- und Grafikinteraktionen besteht (SMALLWORLD SYSTEMS, 1999).

Ein *Smallworld Magik-Image* enthält alle Objekte, die den aktuellen Zustand einer *Smallworld Magik-Sitzung* repräsentieren. Der aktuelle Zustand, einschließlich aller neu erstellten Objekte, kön-

nen in einer benannten Image-Datei gespeichert werden. Mithilfe dieser Image-Datei kann dann eine neue Sitzung gestartet werden, so dass eine frühere Sitzung an der Stelle wieder aufgenommen werden kann, an der die Image-Datei erstellt wurde.

Anwendungsentwickler fügen dem Basis-Image einschließlich der für die Entwicklung erforderlichen Standard- und benutzerspezifischen Module eine bestimmte Anwendung hinzu, um ein Anwendungs-Image zu erstellen, das angepasstes anwendungsspezifisches Verhalten und Benutzerschnittstellen verbindet.

3.3 Die Entwicklungsumgebung in Smallworld GIS

3.3.1 Die Programmiersprache Magik

Die Anwendungsprozesse in *Smallworld GIS* werden unter Verwendung der Programmierungsumgebung von *Smallworld Magik* festgelegt. *Magik* ist eine völlig **objektorientierte Sprache**. Die klassische Datenverarbeitung bedient sich der sogenannten prozeduralen Programmiersprachen. In ihnen wird zwischen den Daten und den Anweisungsfolgen (Wie ist zu arbeiten?) unterschieden. Dieses hat zur Folge, dass alle global verfügbaren Datenkomponenten in jedem Unterprogramm, der sogenannten Prozedur, verändert werden können.

Objektorientierte Programmiersprachen definieren dagegen sogenannte **Objekte**. Sie bestehen aus internen Objekten, welche im einfachsten Fall nur Daten darstellen, und den zugehörigen Operationen, den Methoden (oft auch Nachrichten genannt). Die internen Objekte sind normalerweise nicht zugänglich und nur für den Autor des Objektes interessant. Anwender des Objektes kennen nur den sichtbaren Teil, die Methoden, und wissen, welche Aktion eine bestimmte Methode ausführt. Nicht bekannt ist dagegen, wie eine Methode ihr Ziel erreicht. Objekte können somit als "Black Box" betrachtet werden, ihre Implementierungen können ausgetauscht werden.

Durch diese „**Datenkapselung**“ wird ein Schutz interner Objekte gegen ungewollte Veränderungen erreicht, denn der Schreibzugriff ist nur über die ausgezeichnete Schnittstelle möglich, die Methode. Ein Methodenaufruf setzt sich zusammen aus der Angabe des Empfängerobjekts, dem Namen der aufzurufenden Methode und eventuell einer Liste der für die Durchführung der Operation zu verwendenden Argumente.

Ein weiteres Merkmal der objektorientierten Programmierung ist es, zu versuchen alle Objekte zu abstrahieren und für sie jeweils eine sogenannte **Objektklasse** zu generieren. Eine Objektklasse ist somit eine allgemeine Beschreibung für real existierende Objekte mit ähnlichen Eigenschaften.

In der objektorientierten Programmierung wird beispielsweise nicht direkt eine Klasse für farbig gefüllte Kreise geschrieben sondern stattdessen z.B. eine Klasse Kreis. Diese Klasse Kreis beinhaltet die Grundeigenschaften aller Kreise wie den Radius und eine Methode zur Berechnung der Kreisfläche. Diese Eigenschaften gelten natürlich auch für gefüllte Kreise. Wenn nun eine Klasse für ein Objekt „gefüllter Kreis“ benötigt wird, so können alle Eigenschaften der Klasse Kreis vererbt und erweitert

werden. Später wird eine Instanz, eine konkrete Ausprägung, dieser Klasse erzeugt, z.B. ein gefüllter Kreis mit der Farbe blau.

Diese Wiederverwendbarkeit der Klassen ist eine Grundeigenschaft der objektorientierten Programmierung. Sie führt dazu, dass Klassen nicht für einen speziellen Anwendungsfall programmiert werden, sondern ein allgemeiner Ansatz erwogen wird, welcher alle denkbaren Eigenschaften und Methoden bereitstellt. Die Folge ist, dass der Programmieraufwand für eine Klasse höher ist und der Quelltext länger wird als in der prozeduralen Entsprechung. Dafür kann eine einmal programmierte Klasse in vielen weiteren Anwendungsfällen übernommen werden, ohne neu gestaltet zu werden. Somit fällt im Laufe der Zeit immer weniger Aufwand für die Programmierung an, indem auf bereits verfügbare Definitionen zurückgegriffen wird.

Die Eigenschaften einer Klasse *Kreis* können für andere Anwendungsfälle weiterverwandelt werden, insbesondere wird das Bilden von neuen Klassen, sogenannten Unterklassen durch einen „**Vererbung**“ genannten Mechanismus unterstützt. Die internen Objekte und Methoden werden an die Unterklasse übergeben und durch neue, zusätzliche Eigenschaften zu einer neuen Klasse ergänzt. Anlehnend an das obige Beispiel wird eine Klasse gefüllter *Kreis* definiert, welche bei der grafischen Ausgabe eine eingefärbte Kreisfläche darstellt. Da die zuvor festgelegte Eigenschaft der Kreisfläche unverändert gilt, kann dieser Teil aus der Klasse *Kreis* übernommen werden. Nur die Methode *zeichne* wird neu definiert, da das Füllen des Kreises zu beachten ist.

Eine einmal erzeugte und überprüfte Implementierung einer Klasse kann also in vielen späteren Anwendungen erneut eingesetzt werden, ohne dass vorhandene Teile erneut kontrolliert oder gar programmiert werden (RRZN, 1998).

3.3.2 Das Case-Tool

Die Struktur und Geometrie der Anwendungsobjekte und ihre Beziehungen zu anderen Objekten - also das Datenmodell - werden in Smallworld GIS unter Verwendung des **CASE-Tools** (Computer-Aided Software Engineering) definiert.

Es handelt sich hierbei um eine interaktive Grafikanwendung, bei der der Entwickler die Objekte mit Hilfe von Beziehungs-Diagrammen erstellt und einige der Verhalten von Objekt-Klassen wie *Trigger* und *Validatoren*, die zur Verwaltung der strukturellen Integrität der Daten erforderlich sind, bestimmt. Das *CASE-Tool* ist eine selbstdokumentierende Umgebung, die es erlaubt Anwendungsdatenmodelle interaktiv zu erstellen und zu testen und die gemeinsam verwendeten Gestaltungselemente wieder zu verwenden. Abbildung 3.1 zeigt das bodenkundliche Datenmodell von BOMET im Grafikfenster des CASE-Tools.

In einer Anwendung von Smallworld GIS ist jedes angezeigte Objekt ein in sich abgeschlossenes Datenbankobjekt mit einem Bezeichner und wahlweise alphanumerischen und räumlichen Attributen (Felder). Darüber hinaus bestimmt das Modell für jede Objektklasse wie Objekte dieser Klasse auf verschiedene Anweisungen reagieren. Jedes einzelne **Objekt** ist eine einzige Instanz einer erstellten Objektklasse, so wie „Bodenprofil“ oder „Bodenschätzfläche“. Eine Objektklasse wird durch Felder für alphanumerische Attribute wie Text (Name, Beschreibung, Bemerkungen), numerische Werte

(Fläche, Länge, Anzahl) und eine interne Darstellung für räumliche Attribute (Geometrie, Position) und Beziehungen zwischen Objekten bestimmt. Über die Attribute ist es möglich Objekte in der Datenbank abzufragen.

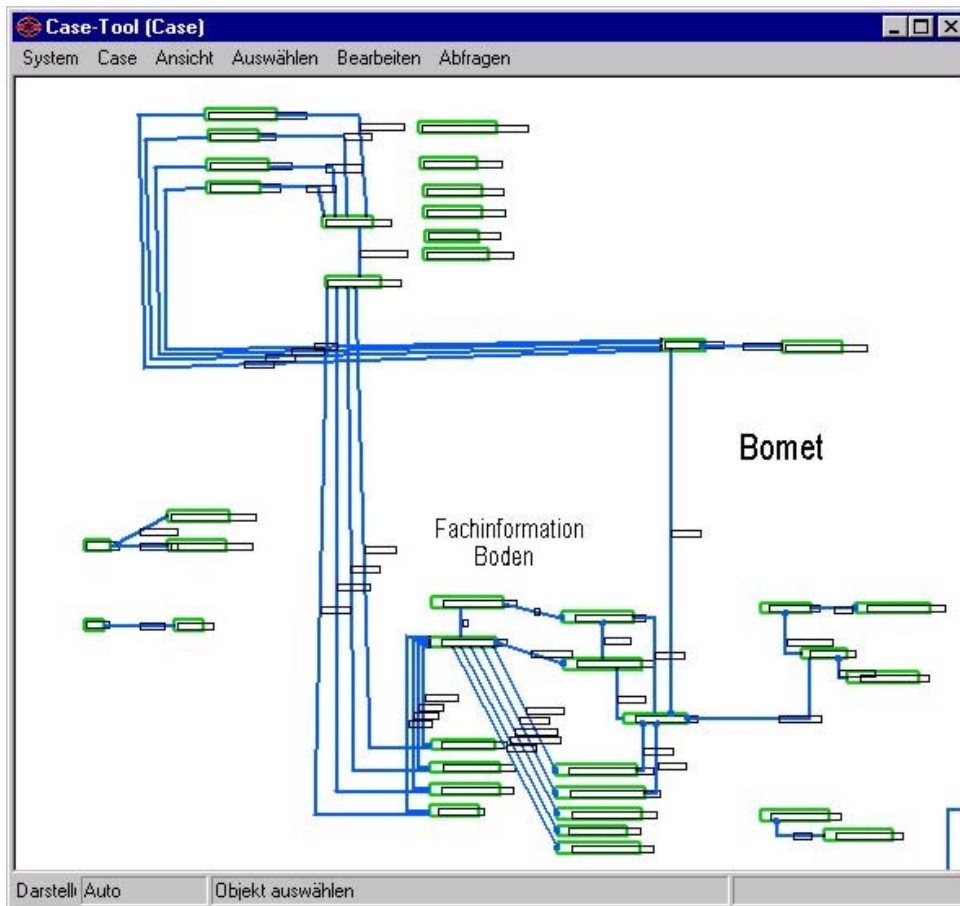


Abb. 3.1: Bodenkundliches Datenmodell im CASE-Tool von Smallworld-GIS

Objektklassen sind die Vorlage für das Erstellen von Objekten, z.B. dient die Objektklasse *IHF BS Schätzfläche* zur Erzeugung von einzelnen Schätzflächen im GIS-Datenbestand. Jede einzelne Schätzfläche ist eine Instanz dieser Objektklasse. Zur manuellen Erstellung von Objekten dient ein Objekt-Editor, mit dem die Werte für die Objektattribute, wie im zugrunde liegenden Datenmodell festgelegt, eingegeben und bearbeitet werden können. Welcher Objekt-Editor eine Objektklasse verwendet wird im Case-Tool festgelegt. Falls die vorgegebenen Standardeditoren nicht den Anforderungen genügen, kann über Magik-Programmierung ein anwendungsspezifischer Editor definiert werden.

3.4 Die Datenbank von Smallworld GIS

Eine Datenbank ist auf den ersten Blick nichts anderes als eine Menge von Tabellen, die durch Datenbankoperationen erweitert, verknüpft oder gelöscht werden können. Die Verwaltung und Auswertung der Datenbestände einer Datenbank geschieht mit Hilfe eines speziellen Programmsystems, dem **Datenbankmanagementsystem (DBMS)**. Erst durch die Funktionalität des Datenbankmanagementsystems wird aus einem oder mehreren Datenbeständen eine richtige Datenbank.

Das DBMS (oder auch Datenbanksystem) vermittelt zwischen Datenbestand und Anwendungsprogramm, schützt den Datenbestand vor unerlaubtem Zugriff und kann aber auch andere Aufgaben wie die Datensicherung (Backup) übernehmen. Ein Anwendungsprogramm greift somit nicht direkt auf die Datenbestände zu, sondern erteilt einen Auftrag an das Datenbankmanagementsystem. Dadurch ist gewährleistet, dass die Daten fehlerfrei erfasst oder verändert werden und den gewünschten Informationsgehalt korrekt wiedergeben (**Integrität** bzw. **Konsistenz**).

Eine weitere Bedingung für das Funktionieren einer Datenbank ist die Vermeidung von **Redundanzen**. Von Redundanz spricht man wenn identische Datensätze mehrfach vorhanden sind. Redundante Daten sind unerwünscht da sie unnötig Speicherplatz belegen und Inkonsistenzen im Datenbestand verursachen wenn nur an einem Datensatz Änderungen vorgenommen werden, diese aber nicht mit dem redundanten Datensatz abgeglichen werden.

Relationale Datenbanken

Eine Smallworld 3-Datenbank ist eine *relationale Datenbank*, in der die eigentlichen Daten in *Tabellen* gespeichert werden, die aus *Datensätzen* bestehen. Unter einer relationalen Datenbank wird die Organisation einer Datenbank oder eines Datenbank-Managementsystem (DBMS) nach dem *Relationalen Modell* verstanden. Danach sind die Informationen in **Tabellen** gespeichert, die auch als **Relation** bezeichnet werden.

Das Konzept der relationalen Datenbanken basiert auf dem *entity-relationship-model* (Entitäten-Beziehungs-Modell). Der Begriff der Entität dient dazu, die Welt in diskrete Elemente (Objekte, Entitäten, „entities“) zu untergliedern zwischen denen gegebenenfalls Beziehungen („relationships“) bestehen. Die Beschreibung von Entitäten erfolgt durch Merkmale bzw. Attribute, deren Wert hinsichtlich einer Entität angegeben wird. Bei der Modellbildung einer Datenbank besteht ein wesentlicher Schritt darin, Entitäten mit gleichen oder ähnlichen Merkmalen, aber unterschiedlichen Werten zu Entitätsmengen (entity sets) zusammenzufassen sowie die Klassen relevanter Beziehungstypen festzulegen.

In einer Tabelle einer relationalen Datenbank stellen die Zeilen einer Tabelle die Entitäten dar. Sie werden auch als **Datensatz** oder **Tupel** bezeichnet und repräsentieren untereinander gleichartige Informationseinheiten. Die Datensätze sind gegliedert in **Felder** (auch Merkmale oder Attribute genannt), die zur Beschreibung bestimmter Eigenschaften einer Entität dienen. Sie haben einen bestimmten Felddatentyp (Text, Zahl, Datum ...) und einen bestimmten Wertebereich. Abbildung 3.2 veranschaulicht den Tabellenaufbau einer relationalen Datenbank.

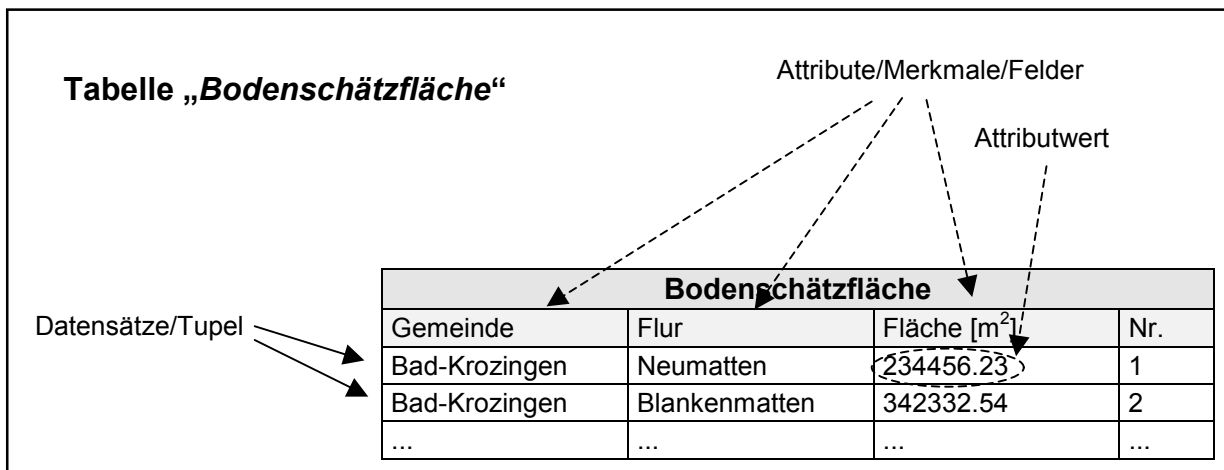


Abb. 3.2: Tabellenaufbau einer relationalen Datenbank

Zusammenfassend können die Tabellen einer relationalen Datenbank als logische Verbindung von einer festen Anzahl von Attributen (Spalten) und einer variablen Anzahl von Tupeln (Reihen, Zeilen) beschrieben werden.

Beziehungen

Neben der Vorhaltung von einzelnen Datengruppen in Tabellen ist die Verknüpfung einzelner Tabellen ein weiteres Merkmal des entity-relationship-Modells. Eine Verknüpfungsbeziehung verbindet einzelne Objekte unterschiedlicher Typen von Klassen miteinander. Verknüpfungen werden z.B. verwendet zur Darstellung von hierarchischen Beziehungen zwischen Objekten der realen Welt. So können z.B. Bundesländer in Landkreise aufgeteilt werden und diese Landkreise wiederum in Gemeinden.

Eine weitere Anwendung von Beziehungen ist es, einzelne Objekte, die Komponenten einer größeren zusammengesetzten Instanz sind, zu verknüpfen. Eine Straße kann z.B. aus verschiedenen Straßenabschnitten bestehen, von denen jeder Attribute wie Geschwindigkeitsbegrenzung und Fahrbahnbreite sowie seine eigene Mittelliniengeometrie hat.

Verknüpfungen vereinfachen auch den Zugriff zwischen verschiedenen Datenbankobjekten. Es könnte beispielsweise notwendig sein, nach Hotels, Restaurants oder Sehenswürdigkeiten zu suchen, die sich an bestimmten Straßen befinden.

Es bestehen drei Möglichkeiten Tabellen bzw. Objektklassen miteinander zu verknüpfen:

- **1:1 Beziehung:** Es existiert für jeden Datensatz einer Tabelle genau ein Datensatz der zweiten Tabelle. Eine Anwendung einer 1:1 Beziehung könnte es sein, die Daten z.B. über einen Mitarbeiter einer Firma in öffentliche und nicht-öffentliche Daten aufzuteilen. Allgemeine Daten wie Name und Tätigkeit könnten in einer zugänglichen Tabelle stehen, während z.B. das Gehalt in einer beschränkt zugänglichen Tabelle enthalten sind.

- **1:n Beziehung:** Ein Datensatz einer Tabelle (**Elternobjekt**) hat eine Beziehung zu mehreren (n) Datensätzen einer anderen Tabelle (**Kindobjekt**). Entsprechend hat ein Datensatz der Kindobjekt-kategorie (n-Seite der Beziehung) eine Beziehung zu nur einem Datensatz der Eltern-Tabelle. Ein Seminar kann z.B. mehrere Teilnehmer haben. Die 1:0 Beziehung ist eine Sonderform der 1:n Beziehung in der ein Elternobjekt kein oder höchstens ein Kindobjekt hat.
- **m:n Beziehung:** Bei einer m:n Beziehung ist ein Datensatz einer Tabelle mit n Datensätzen einer anderen Tabelle verknüpft. In umgekehrter Richtung ist ein Datensatz der zweiten Tabelle mit m Datensätzen der ersten Tabelle verbunden. Z.B. kann ein Geologe mehrere Aufschlüsse kartieren, jeder Aufschluss kann aber auch von mehreren Geologen kartiert werden.

Schlüssel

Um einen Datensatz innerhalb einer Tabelle eindeutig zu identifizieren werden **Schlüssel** verwendet. Sie bestehen aus einem oder mehreren Feldern und garantieren einen eindeutigen Zugriff auf die einzelnen Datensätze. Ein Schlüssel sollte dabei möglichst minimal sein, d.h. kein Feld aus der Kombination kann gestrichen werden ohne dass Eindeutigkeit verloren geht. Oft werden auch künstliche Schlüssel wie z.B. laufende Nummern eingeführt um Datensätze eindeutig identifizieren zu können. Es muss unterschieden werden zwischen *Primary Key* und *Foreign Key* (Fremdschlüssel).

Ein *Primary Key* ist ein Feld einer Tabelle, die einen Datensatz in dieser Tabelle dauerhaft eindeutig kennzeichnet. Eine *Primary Key* ist geeignet als Fremdschlüssel einer anderen Tabelle zu fungieren.

Ein *Foreign Key* ist ein Feld einer Tabelle, das auf einen *Primary Key* einer anderen Tabelle verweist, und so eine n:1 Beziehung zwischen den Datensätzen herstellt.

Die Datenbank von Smallworld-GIS

Die Datenbank einer Smallworld-GIS-Anwendung ist eine heterogene Objekttablette verschiedener Datenkategorien, die in unabhängigen und lose verbundenen **Partitionen** und Datensätzen unterteilt ist, die wiederum jeweils Daten für einen bestimmten Zweck enthalten.

Eine Smallworld Datenbank umfasst obligatorische administrative Partitionen und eine beliebige Anzahl an Benutzerpartitionen die die Benutzerdaten für die Anwendung beinhalten. Die Daten für jede Partition werden in einem separaten Satz von *Datastore-Dateien* gespeichert und unabhängig versionsverwaltet.

Die administrativen Partitionen umfassen:

- Eine **ACE-Partition**: Das ACE (Application Configuration Environment) installiert die Benutzerumgebung für eine bestimmte Anwendung oder Tätigkeit. Ein ACE legt die in der Menüleiste des Hauptgrafikfensters verfügbaren Menü-Überschriften und -Optionen, die mit dem ACE verbundenen Tastenkombinationen, die Systemstandards und den Systemstatus, die Darstellungs- und Style-Maßstäbe für die Partition, die zur Objektwiedergabe auswählbaren Style-Familien und die Objektklassen, auf die ein Benutzer einer bestimmten ACE zugreifen kann, fest. Ferner legt das ACE fest, welche Darstellungsmaßstäbe in der Sitzung verfügbar sind und welche Styles für diese Darstellungsmaßstäbe verwendet werden.

- Eine **Style-Partition**: Das Style-System steuert die Darstellung der Objekte bei der Anzeige auf dem Bildschirm oder einem Plot. In der Datenbank wird die Geometrie jedes geometrischen Objekts in Form von Punkten, Linien und Polygonen gespeichert. Andere Objekte wie Raster und Text haben ebenfalls verschiedene physische Attribute. Das Style-System bestimmt, wie diese Geometrien und Attribute für jede Objektklasse hinsichtlich des Maßstabsbereichs, der Form, der Farbgebung, der Schattierung, Markierung usw. wiedergegeben werden.
- Eine **Autorisierungs-Partition**, die Informationen von Benutzern und Benutzergruppen mit ihren Zugriffsrechten auf Datenbanktabellen und auf bestimmte Datenbankalternativen enthält.

Benutzerdaten wie z.B. Benutzerobjekte werden in *Benutzerdatenbeständen* gespeichert. Eine Datenbank des GIS muss zumindest eine Smallworld-Datenpartition (GIS-Partition) als zentralen Benutzerdatenbestand enthalten die als *GIS-Partition* bezeichnet wird.

Darüber hinaus enthält eine Smallworld Datenbank eine *Case-Partition* die die Datenmodelle des Smallworld-Gis definiert.

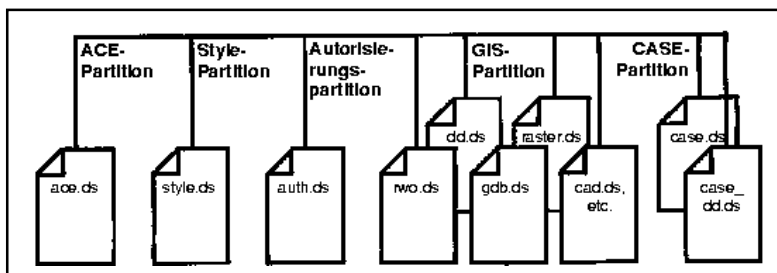


Abb. 3.3: Die *Datastore-Dateien* einer Smallworld-GIS Anwendung

Da auf einer Smallworld Datenbank in der Regel mehrere Nutzer gleichzeitig arbeiten und dabei die Datenbank abfragen und aktualisieren, ist eine Regelung auftretender Zugriffs- und Sicherungsprobleme notwendig. Hierzu dienen die Fähigkeiten eines VMDS (Version Managed Data Store) mit der **Versionsverwaltung**, die jedem Nutzer eine vollständige Ansicht der Datenbank ermöglicht. Alle Datenänderungen werden je Benutzer aufgezeichnet, so dass jedem Benutzer ein unveränderlicher Zustand der Daten angezeigt wird. Ein Anwender kann die Daten seiner Version aktualisieren, während andere weiterhin auf eine unveränderliche Version der Originaldaten zugreifen können. Nach Beendigung des Aktualisierungsvorgangs werden die Änderungen gespeichert, wodurch eine neue Version entsteht. Mit dieser Version können die Änderungen schließlich den anderen Benutzern zur Verfügung gestellt werden. Die Änderungen können hingegen auch verworfen werden, wodurch wieder zum Originalzustand zurückgekehrt wird.

Jede Version stellt einen anderen stabilen Zustand der Benutzerdaten in der Partition dar, der unveränderlich ist. Eine Änderung der Benutzerdaten kann somit nur durch das Erstellen einer neuen Version erfolgen, die jedoch mit Anhaltspunkten versehen werden kann, so dass der aktuelle Zustand der Daten wiederhergestellt werden kann.

Die Versionen werden in eine Hierarchie von **Alternativen** angeordnet, die in unterschiedlichen Alternativen vorgenommenen Änderungen können kombiniert werden. Nach Ändern einer Alternative können die Änderungen gesendet werden, wodurch sie mit ihrer übergeordneten Alternative kombiniert werden, bis die Hauptalternative alle Änderungen enthält, die dann den anderen Nutzern zur Verfügung stehen. Durch die Option *„Änderungen holen“* können schließlich Alternativen aus unterschiedlichen Zweigen der Hierarchie in umgekehrter Richtung von oben nach unten angeglichen werden.

3.5 Fazit

Mit Hilfe *Geographischer Informationssysteme* ist es heute möglich, auf integrative Weise den gesamten Datenvorrat eines Projektes zu verwalten, zu präsentieren und zu bearbeiten.

Entwicklungsplattform für das im Projekt WAQIS entwickelte Wasserqualitätsinformationssystem ist das objektorientierte GIS *Smallworld* der Firma *Smallworld Systems GmbH*. Das GIS *Smallworld* besteht aus der objektorientierten Programmierumgebung *Magik* und einer objektorientierten relationalen Geodatenbank.

Das Erstellen von Anwendungen, die auf eine Vielzahl unterschiedlicher Daten zugreifen und umfangreiche Ergebnisse produzieren wird in *Smallworld-GIS* durch das zentrale Management und durch mächtige Programmierwerkzeuge stark vereinfacht. Die Sprache *Magik* ist eine vollwertige Programmiersprache, deren Fähigkeiten über die der Skriptsprachen anderer GIS-Systeme weit hinausgehen.

Die Struktur und Geometrie der Anwendungsobjekte und ihre Beziehungen zu anderen Objekten - also das Datenmodell - werden in *Smallworld GIS* unter Verwendung des *CASE-Tools* definiert. Es handelt sich dabei um eine interaktive Grafikanwendung, bei der der Entwickler die Objektklassen mit Hilfe von übersichtlichen Beziehungs-Diagrammen erstellt und ihr Verhalten festlegt. Die Verwendung des *CASE-Tools* verringert den Programmieraufwand bei der Entwicklung und hilft dem Entwickler Fehler zu vermeiden.

Neben den gängigen GIS-Funktionen weist *Smallworld-GIS* einige Besonderheiten auf, die es von anderen GIS-Systemen abhebt und besonders geeignet für die, im Projekt WAQIS gestellten Anforderungen macht. Als Beispiel seien die Möglichkeit, explizite topologische Regeln für die Interaktion zwischen Geometrien festzulegen, sowie das Konzept der Versionsverwaltung genannt.

4 Einführung in das Forschungsprojekt WAQIS

In diesem Kapitel wird das Forschungsprojekt WAQIS vorgestellt, in dessen Rahmen die vorliegende Diplomarbeit erstellt wurde und speziell ein Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand des Bodenkundlich – Meteorologischen Moduls BOMET gegeben.

4.1 Einleitung

Das Forschungsprojekt **WAQIS (Wasserqualitätsinformationssystem)** entwickelte sich aus einer langjährigen Zusammenarbeit des Instituts für Hydrologie Freiburg (IHF) mit der regionalen Wasserversorgung *Freiburger Energie- und Wasserversorgungs-AG (FEW)* bei vielfältigen Fragestellungen des Ressourcenmanagements und der Qualitätssicherung der bewirtschafteten Trinkwasservorkommen im Freiburger Raum.

Ziel des Projektes ist es, ein Wasserqualitätsinformationssystem für die regionalen Grundwassergebietes *Zartener Becken* und *Staufener Bucht* aufzubauen. Den Mittelpunkt des WAQIS bildet eine Geodatenbank, in der Daten zu allen für den Trinkwasserschutz relevanten Bereichen wie Grundwasser, Oberflächengewässer, Landwirtschaft, Geologie, Boden, Meteorologie, Kataster, Kanalisation, Wasserwerksinformation, u.a. gespeichert werden.

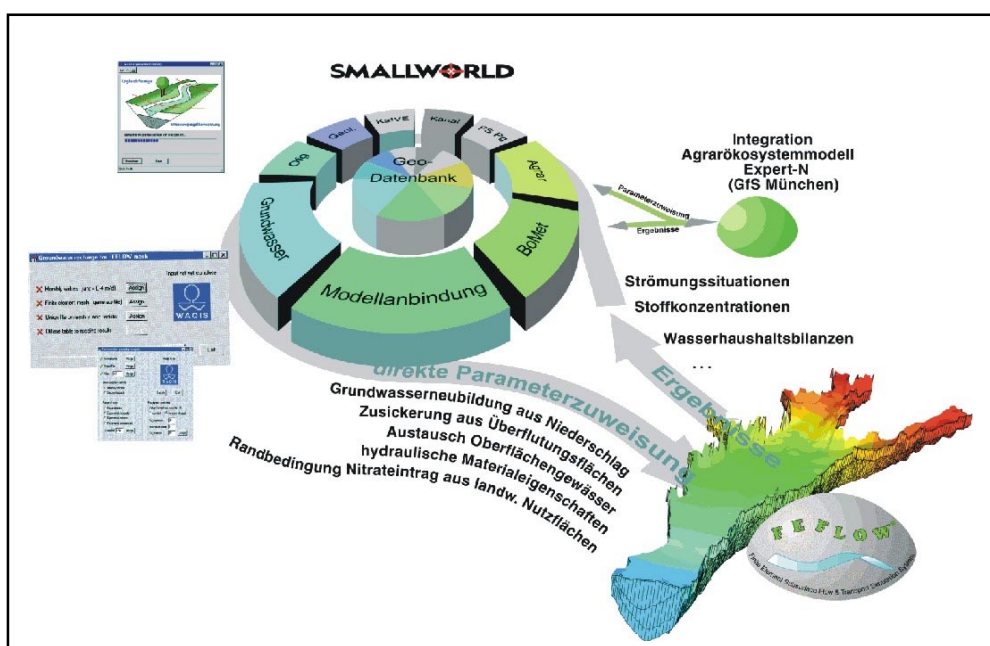


Abb. 4.1: Übersicht über das WAQIS-Projekt

Neben der Vorhaltung hydrologisch relevanter Daten bietet WAQIS durch in die Strukturen der GIS-Anwendung integrierte hydrologische Modelle und Methoden die Möglichkeit der qualitativen und quantitativen Beschreibung aller relevanten Wasserhaushaltsgrößen und ihrer Steuerfaktoren in hoher Auflösung. Die GIS-Anwendung liefert dabei sowohl eine automatisierte Parametrisierung der Modellrandbedingungen, als auch die Auswertung, Verwaltung und Visualisierung der Modellergebnisse.

Neben dem Ausbau der GIS-Strukturen werden zudem langfristige, 3-dimensionale Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodelle, sowie die für ihre Parametrisierung verwendeten Werkzeuge entwickelt. Das GIS hat hierbei die Aufgabe, die verschiedenen hydrologischen Modellsysteme zu verknüpfen bzw. die Kommunikation der Teilsysteme zu koordinieren.

4.2 Das Wasserinformationssystem LIWIS

Entwicklungsplattform für WAQIS ist das wasserwirtschaftliche Informationssystem LIWIS (Fachschale Wasserwerks-Informationssystem) der Firma *ERM-LI GmbH*, sowie die Smallworld-eigenen Fachschalen Kataster und Kanal.

LIWIS besteht aus mehreren Teilmodulen der Wasserwirtschaft, zu denen unter anderem Komponenten für die Themen Grundwasser (mit einem Finite-Elemente-Modul), Oberflächengewässer, landwirtschaftliche Flächen und Isolinien gehören. Eine direkte Verknüpfung besteht von BOMET zum *Agrarmodul* des LIWIS, das für Grund- und Bewirtschaftungsdaten, landwirtschaftliches Monitoring, N_{\min} -Untersuchungen, Bodenuntersuchungen und Anbauberatung entwickelt wurde.

Sämtliche Auswertungsverfahren im BOMET die flächenhafte Ergebnisse liefern erfordern eine räumliche Diskretisierung des Anwendungsgebietes. Die Funktion der absoluten Raumeinheit in WAQIS übernimmt die in der Bundesrepublik geltende administrative Flächengrundeinheit der *Katasterfläche* deren Realisierung bereits im LIWIS vollzogen ist.

Da die entsprechende LIWIS-Objektklasse *AGR Grundfläche* die Voraussetzungen für die BOMET-Auswertungsverfahren nicht vollständig erfüllt, wurde im BOMET eine zusätzliche Objektklasse *IHF Katasterfläche (Auswertung)* implementiert, die ausschließlich die zusätzlich zu den Daten im LIWIS benötigten Parameter beinhaltet. Zwischen den beiden Katasterflächen-Objektklassen im WAQIS besteht eine 1:0-Beziehung mit der Tabelle *AGR Grundfläche* als Elternteil und der Tabelle *IHF Katasterfläche (Auswertung)* als Kind, die gleichzeitig die direkte Schnittstelle zwischen BOMET und LIWIS darstellt (vgl. Abb. 4.2). Die LIWIS-Objektklasse *AGR-Grundfläche* dient zur Verwaltung sämtlicher landwirtschaftlicher Parameter wie Landnutzung, Bodenbearbeitungs- und Düngungsmaßnahmen und hält die Flächengeometrie vor.

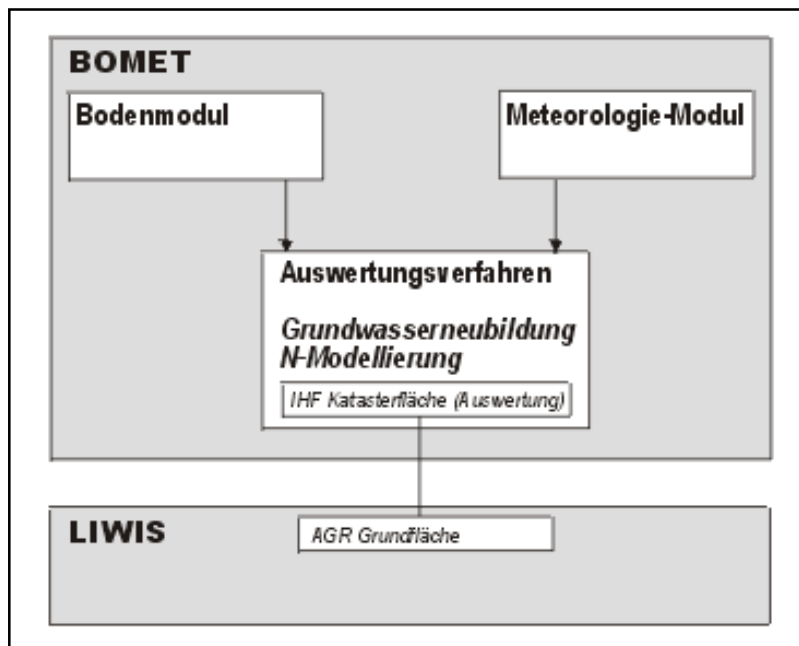


Abb. 4.2: Verknüpfung zwischen BOMET und LIWIS

Die Schlüsselfelder der Klasse *IHF Katasterfläche (Auswertung)* sind der Zähler und Nenner der Flurstücksnummer und die Gemarkung. Zusätzlich enthält sie den Schwerpunkt (Zentroid) der Katasterfläche als Punktgeometrie und die Versiegelungsstufe.

4.3 BOMET

BOMET ist das **bodenkundlich - meteorologische Teilinformationssystem** für das Wasserqualitäts-Informationssystem WAQIS und wurde 1999 in einer Diplomarbeit entwickelt (EBERLE, 1999). Es dient zur Verwaltung sämtlicher für den Trinkwasserschutz relevanter Bodendaten in einer Geodatenbank und stellt Auswertungswerkzeuge bereit, die die erfassten Daten verarbeiten und einen Informationszuwachs für den Wasserversorger gewährleisten.

Im **Bodenmodul** von BOMET ist ein Datenmodell für die Aufnahme von Bodendaten aus Profilbeschreibungen nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung* implementiert. Der gesamte aktuelle bodenkundliche Datenbestand für die *Staufener Bucht* wurden aufgearbeitet, ins BOMET transferiert und dort ausgewertet. In der vorliegenden Arbeit wurde die Datenbank um ein Datenmodell für die Daten der *Reichsbodenschätzung* erweitert.

Im **Meteorologiemodul** werden meteorologische Daten von Klimastationen vorgehalten, die neben den Bodendaten von den Auswertungswerkzeugen benötigt werden.

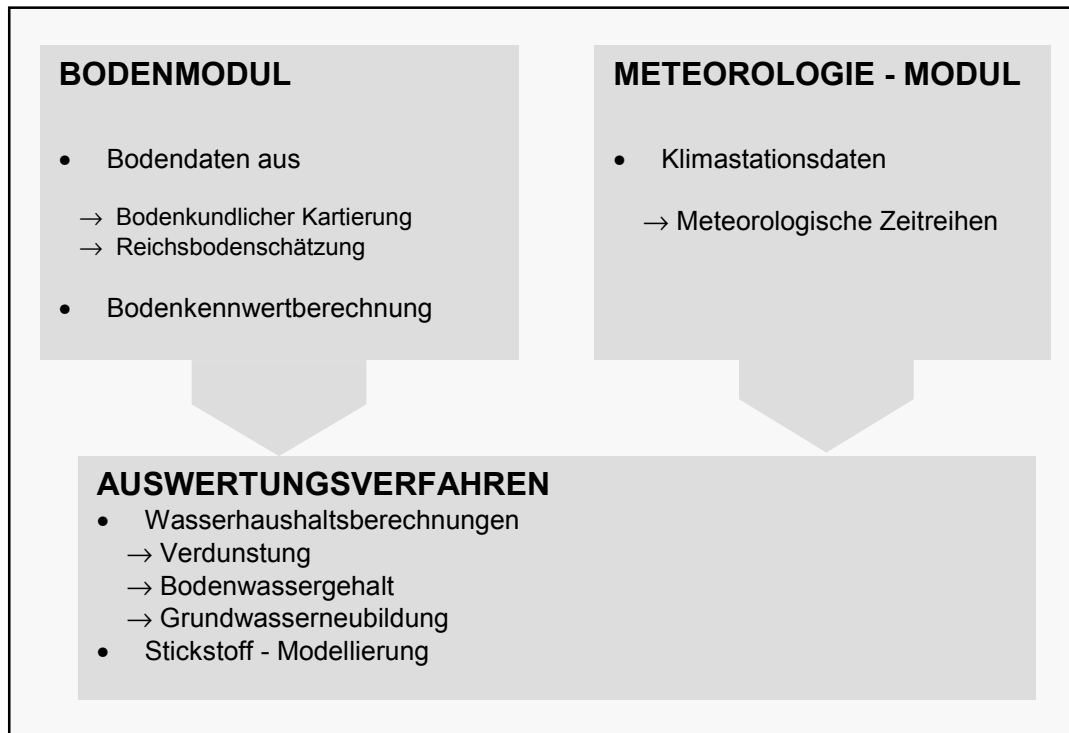


Abb. 4.3: Schematischer Aufbau des Bodenkundlich – Meteorologischen Moduls BOMET

Die folgenden **Auswertungsverfahren** sind im BOMET implementiert:

- Die flächenhafte Erzeugung meteorologischer Zeitreihen, d.h. die Messreihen der Klimastationen werden auf die Katasterfläche übertragen und somit eine räumliche Verteilung der meteorologischen Größen erhalten.
- Die flächenhafte Erzeugung von Zeitreihen abgeleiteter hydrometeorologischen Größen: Bisher wurden im BOMET die Berechnung der potentiellen Evaporation nach *Haude* implementiert, sowie die Simulation des Bodenwassergehalts nach *Haude-Renger*, die Zeitreihen der aktuellen Evaporation, des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung liefert. Von großem Interesse ist dabei vor allem die Grundwasserneubildung als relevante Größe für die Erneuerung der Grundwasservorkommen. Sie ist als Eingangsgröße auch für die Grundwassermodelle im WAQIS-Projekt von Bedeutung.
- Ein weiterer Schritt beim Aufbau von WAQIS war die Einbindung eines Stickstoffmodells. Dazu wurde das Agrarökosystemmodell *Expert-N* verwendet. BOMET wird über die automatische Erzeugung der Eingabedateien aus dem Datenbestand des WAQIS an das Stickstoffmodell gekoppelt. Der Einsatz von *Expert-N* zur Simulation der Stickstoffdynamik liefert einen hoch aufgelösten Einblick in die Stickstoffverlagerungs- und Auswaschungsvorgänge im Boden.

Die Anwendungsgebiete eines Agrarökosystemmodells im WAQIS reichen von der operationellen Anbauberatung zum Zwecke der Reduzierung der Nitratauswaschung über Teststudien an Einzelflächen (z.B. Anbau-, Beregnungs-, Grünlandumbruch- und Nulldüngungsversuche) bis zur Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Nitratauswaschung für Simulationen des Stofftransports

im Grundwasser. BOMET wurde als Softwareanwendung für *Smallworld-GIS* programmiert. Die Basis des WAQIS bildet das Wasserinformationssystem LIWIS der Firma *Lahmeyer International*.

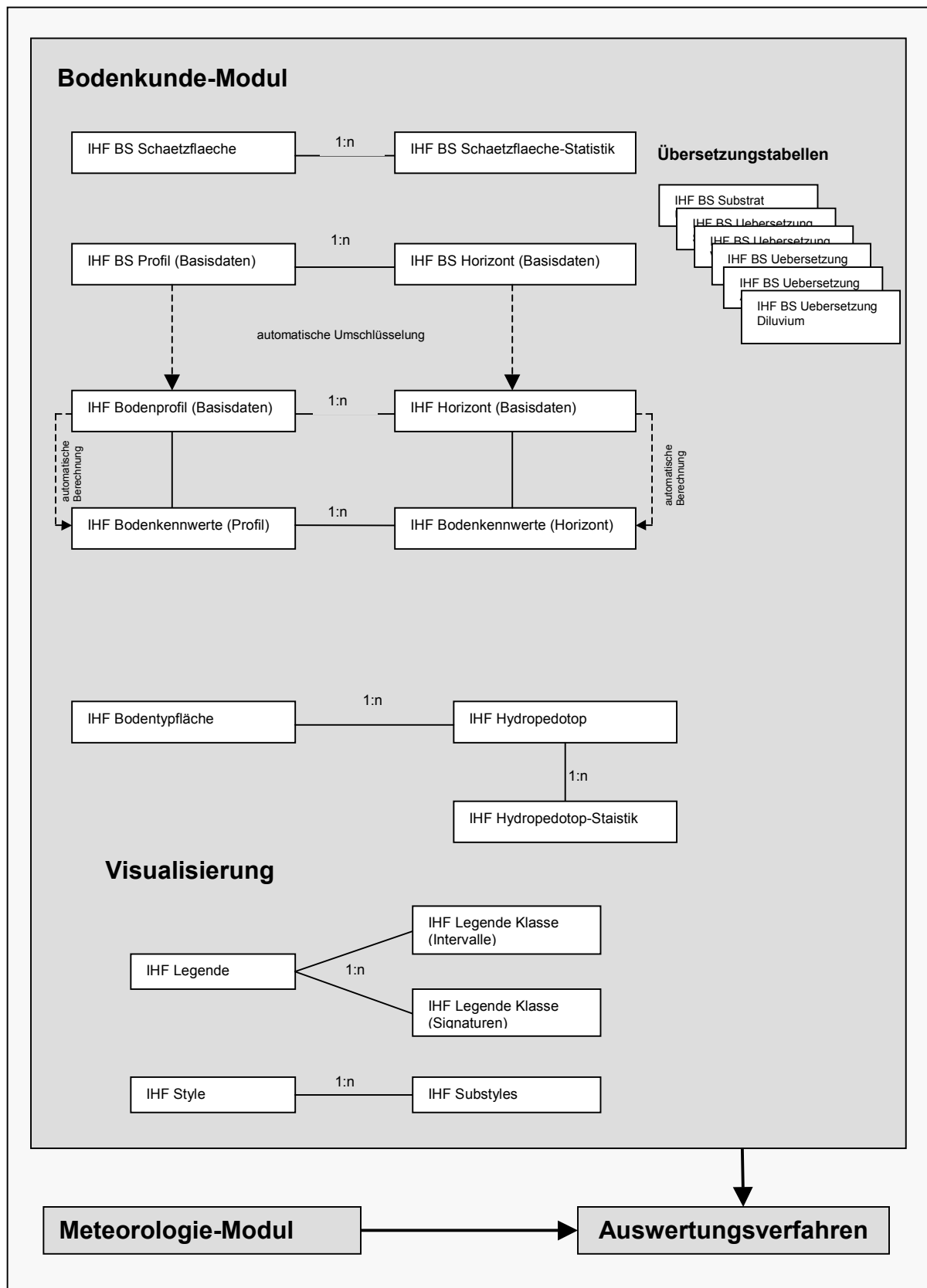


Abb. 4.4: Das Datenmodell von BOMET

4.4 Fazit

Ziel des Forschungsprojekts WAQIS, einem gemeinsamen Projekt *des Instituts für Hydrologie Freiburg* und die *Freiburger Energie- und Wasserversorgungs- AG*, ist die Entwicklung eines Wasserqualitätsinformationssystems für die regionalen Grundwassergewinnungsgebiete *Zartener Becken* und *Staufener Bucht*. Dabei wird versucht durch eine integrative, raumbezogene und zeitvariante Beschreibungen der in der Pedosphäre und den bewirtschafteten Grundwassersystemen ablaufenden Prozesse und ihrer Einflussgrößen Anhaltspunkte und Entscheidungsgrundlagen für die Lösung des Interessenkonflikts zwischen landwirtschaftlicher Nutzung und Trinkwassergewinnung abzuleiten.

WAQIS macht sich die Fähigkeit heutiger Geographischer Informationssysteme zunutze, auf integrative Weise den gesamten Datenbestand eines Projektes zu verwalten, zu präsentieren und zu bearbeiten. Zudem übernimmt die GIS-Software die Aufgabe der Parametrisierung der Modellrandbedingungen durch integrierte Preprocessing-Methoden, sowie der Verzahnung der verschiedenen, hydrologischen Teilsysteme bzw. Modellsysteme

Entwicklungsplattform für WAQIS ist das wasserwirtschaftliche Informationssystem LIWIS der Firma *ERM-LI GmbH* das aus mehreren Teilmodulen der Wasserwirtschaft besteht, zu denen unter anderem Komponenten für die Themen, Oberflächengewässer, landwirtschaftliche Flächen und Isolinien gehören.

Der Bedeutung des Boden für die Sicherung der Grund- bzw. Trinkwasserqualität wird im WAQIS das bodenkundlich- meteorologische Teilmodul BOMET gerecht. Die Aufgabe des BOMET besteht in der Verwaltung sämtlicher für den Trinkwasserschutz relevanter Daten und in der Bereitstellung von Auswertungswerkzeugen, die einen Einblick in die zeitliche und räumliche Variabilität der im Boden ablaufenden Prozesse liefern. Hierbei ist die Koppelung an ein Agrarökosystem zu nennen, dessen Ergebnisse Anwendung in der Anbauberatung und der Düngeroptimierung finden, mit dem Ziel der Reduzierung der Stickstoffbelastung im Grundwasser. Zudem ist die berechnete Grundwasserneubildung Eingangsgröße der im WAQIS entwickelten Stofftransportmodelle.

5 Entwicklung von GIS-Werkzeugen zur Vorhaltung und Aufbereitung der Reichsbodenschätzung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die GIS-Strukturen für die Vorhaltung bodenkundlicher Daten und die Funktionen zur Aufbereitung der Bodendaten, deren Ziel die Berechnung bodenphysikalischer und -chemischer Kennwerte ist. Zunächst wird die BOMET-Funktionalität für Bodenbeschreibungen aus Kartierungen nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung* vorgestellt, danach folgt eine Einführung in das, in dieser Diplomarbeit entwickelte Datenmodell und die Aufbereitungswerkzeuge für Kartierungen nach *Reichsbodenschätzung*. Den Abschluss bildet eine Funktionalitätsprüfung der neuentwickelten GIS-Werkzeuge anhand eines kleinen Testgebietes im Bereich des Freiburger Trinkwassergewinnungsgebietes *Staufener Bucht*.

5.1 Daten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung

Da die *bodenkundliche Kartierung* die grundlegende Datenquelle eines jeden bodenkundlichen Informationssystems darstellt liegt in ihr auch der Ansatzpunkt zur Konzipierung eines bodenkundlichen Datenmodells.

Die aus einer *bodenkundlichen Kartierung* hervorgegangenen Daten werden auch als *Basisdaten* bezeichnet. Sie werden unverändert aus den Aufschrieben der Kartierer in die bodenkundliche Datenbank übernommen und liefern die Grundlage für Auswertungsverfahren, durch die sogenannte Sekundärdaten bzw. abgeleitete Daten wie Bodenkennwerte gewonnen werden. Um die Fortschreibbarkeit der Datenbank zu erleichtern, werden die Basisdaten von den abgeleiteten Daten isoliert vorgehalten und bilden folglich die Basis des bodenkundlichen Datenmodells.

Außer den punktförmigen Beschreibungen der Bodenprofile werden während einer *bodenkundlichen Kartierung* auch Flächeninformationen aufgenommen. Dabei werden Böden verhältnismäßig einheitlicher Böden und Bodengesellschaften als sogenannte *Bodentypflächen* ausgeschieden. Sie werden bei der Geländebegehung unter Berücksichtigung der vorherrschenden geologischen, hydrologischen, morphologischen und topographischen Verhältnisse erfasst und werden ebenfalls zu den bodenkundlichen Basisdaten gezählt (EBERLE, 1999).

Es werden also zwei grundsätzliche Unterscheidungen der bodenkundlichen Daten gemacht:

- Die Einteilung in Basisdaten und abgeleitete Daten
- Die Einteilung in Punkt und Flächendaten

Da ein Bodeninformationssystem nur Daten aufnehmen kann, für die Strukturen programmiertech-nisch umgesetzt wurden, ist für die Entwicklung eines Datenmodells ein einheitliches Erfassungsmuster für die bodenkundlichen Daten unabdingbar. Als Orientierung bei der Datenmodellierung im BOMET diente in der Arbeit von EBERLE (1999) infolgedessen die *Bodenkundliche Kartieranleitung*, die ein Standardwerk zur Erfassung punkt- und flächenhafter Bodeninformationen, wie auch zur Ermittlung zahlreicher Bodenkennwerte eines Bodenprofils darstellt.

Die Daten einer Profilaufnahme nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung* gliedern sich in die Stammdaten eines Profils und die Beschreibung der einzelnen Horizonte. Im BOMET wurde deshalb eine Objektklasse *IHF Bodenprofil (Basisdaten)* für die Vorhaltung der Stammdaten implementiert, welche über eine 1:n Beziehung mit der Klasse *IHF Horizont (Basisdaten)* verbunden ist, in der die einzelnen Horizonte detailliert beschrieben werden.

Die Tabelle *IHF Bodenprofil (Basisdaten)* speichert Informationen, die für das Profil als ganzes Gültigkeit haben, z.B. Angaben zum Boden wie Bodentyp, Profilmächtigkeit, Horizontfolge, Substrat und Geologie, die Lage des Profils, Höhe, Neigung, Exposition und Topographische Karte 1:25000 wie auch Angaben zur Kartierung wie Datum, Kartierer und Projekt.

Die wesentlichen horizontbeschreibenden Parameter in der Tabelle *IHF Horizont (Basisdaten)* sind die Korngrößenverteilung des Feinbodens, der Humusgehalt, der Skelettgehalt und die Lagerungsdichte. Aus Ihnen werden die wichtigsten Bodenkennwerte des Bodenwasserhaushalts und der Bodenchemie abgeleitet, die wesentliche Eingangsinformationen für die weiteren Auswertungsverfahren im BOMET wie die Berechnung der Grundwasserneubildung und die Stickstoffmodellierung sind.

5.2 Die Integration der Reichsbodenschätzung in das bodenkundlich- meteorologische Modul BOMET

Im Bereich der Bodenkunde ist die *Bodenkundliche Kartieranleitung* das Standardwerk für die Erfassung von Bodeninformation in punkt- und flächenhafter Form wie auch für die Ermittlung von Bodenkennwerten. Da bodenkundliche Kartierungen allerdings nicht flächendeckend für Deutschland vorliegen und der Aufwand für eine Neukartierung für wissenschaftliche Projekte in der Regel nicht tragbar ist, müssen andere bereits bestehende Datenpools erschlossen werden.

Als eine hervorragende Alternative für die Daten der *bodenkundlichen Kartierung* bietet sich die Profilbeschreibungen der **Reichsbodenschätzung** an. Die *Bodenschätzung* wurde flächendeckend für die Bundesrepublik durchgeführt, d.h. die gesamte landwirtschaftlich nutzbare Fläche wurde seit Verabschiedung des *Bodenschätzungsgesetzes* mindestens einmal geschätzt. Insbesondere für Forschungszwecke ist die Bodenschätzung von Interesse, da sie für die wissenschaftliche Nutzung zur freien Verfügung steht.

5.2.1 Allgemeines zur Reichsbodenschätzung

Die Reichsbodenschätzung beruht auf Gesetzen aus dem Jahre 1934, die für die Schätzung landwirtschaftlich und gärtnerisch nutzbaren Bodens gelten. Die Rechtsgrundlage bilden

- das *Gesetz über die Schätzung des Kulturbodens* (Bodenschätzungsgesetz) vom 16.10.1936 (RGBl. I. S.1050).
- die *Durchführungsbestimmungen zum Bodenschätzungsgesetz* vom 12.12.1934 (RGBl. I. S.120).

Die Bodenschätzung sollte der gerechten Besteuerung von Ackerland auf Basis der potentiellen Ertragsfähigkeit des Bodens und der Verbesserung der Beleihungsunterlagen dienen (§1 des Bodenschätzungsgesetzes).

Darüber hinaus sollten durch eine allgemeine Bestandsaufnahme der Böden die Unterlagen für eine planvolle Gestaltung der Bodennutzung geschaffen werden, deshalb wurde der eigentlichen steuerlichen Bewertung der Böden eine Grundinventur zur „genaueren Kennzeichnung des Bodens nach seiner Beschaffenheit (Bestandsaufnahme)“ vorangestellt. Die so bereitgestellte Datenbasis ist dadurch für vielfältige Auswertungen nutzbar.

Die Bodenschätzung wurde in Deutschland flächendeckend auf ackerbaulich genutzten Flächen durchgeführt und wird heute, insbesondere nach größeren Eingriffen in die Kulturlandschaft, wie z. B. einer Flurbereinigung, durch Feldbegehungen aktualisiert und dadurch immer auf dem aktuellen Stand gehalten. Wald- und Weinberggebiete werden nicht durch die Bodenschätzung erfasst. Durchgeführt wird die Bodenschätzung von den jeweils zuständigen Finanzämtern.

Bei der Durchführung der Bodenschätzung wird markierungsweise vorgegangen. Bei einer Geländebegehung durch einen amtlichen und zwei ehrenamtliche Schätzer wird das Gelände in einem Raster von max. 50 m x 50 m (bei stark wechselnden Böden bis auf 20 m herab) durch Bohrstockeinschläge mit dem *Pürckhauer-Bohrer* beprobt. Hierbei werden Flächen mit gleichartigen Boden- und Ertragsverhältnissen zusammengefasst, als sogenannte **Klassenflächen** abgegrenzt und durch ein für diese Fläche typisches Grabloch, dem sogenannten „bestimmenden Grabloch“, charakterisiert. Durch das Grabloch wird der Boden dabei bis zu einer Tiefe von 1 m erkundet. Je nach Landnutzung wird dieses Grabloch anschließend an Hand des **Ackerschätzrahmens** oder des **Grünlandschätzrahmens** geschätzt.

Bei der Schätzung einer Ackerfläche werden zunächst die Bodenart, Entstehung (Löss, Diluvium, Alluvium, Verwitterungsboden usw.) und Zustandsstufe ermittelt. Bei der Zustandsstufe handelt es sich um 7 Gütestufen bei Ackerland und 3 Stufen bei Grünland, die die durch langandauernde Einwirkung von Klima, früherem Pflanzenbestand, Geländegestaltung, Wasserverhältnissen sowie Art der Nutzung hervorgerufenen verschiedenen Bodeneigenschaften in einem Gesamtbegriff wiedergeben. Stufe 1 kennzeichnet den günstigsten, Stufe 7 (bzw. III bei Grünland) den ungünstigsten Zustand. Den Zustandstufen liegt die Vorstellung zugrunde, dass aus einem unreifen Boden (6 und 7) ein voll entwickelter, gewissermaßen optimaler (1 bis 3) und daraus ein gealterter, im letzten Stadium fast wertloser Boden entwickelt (6 und 7). Demnach stellen die Zustandsstufen gleichzeitig Entwicklungs- und Alterungsstufen dar.

Nach den Bewertungsmerkmalen Bodenart, Zustandsstufe und Entstehung werden die Böden in Klassen (z.B. sL 2 D) eingeteilt, wobei für jede Klasse eine bestimmte Spanne von Wertzahlen (Bodenzahlen) im Ackerschätzrahmen festgelegt ist. Die Skala des Ackerschätzrahmens reicht von 7 bis

100 wobei der ertragsreichste Boden bei 100 liegt. Die Wertzahlen sind Verhältniszahlen, die die Unterschiede im Reinertrag, die sonst unter gleichen Verhältnissen bei üblicher ordnungsgemäßer Bewirtschaftung allein durch die Bodenbeschaffenheit bedingt sind zum Ausdruck bringen. Da sie nur die Ertragsunterschiede ausdrücken sollen, die auf der verschiedenen Beschaffenheit der Böden beruhen, werden für die anderen Ertragsfaktoren wie Klima, Geländebeschaffenheit und wirtschaftliche Verhältnisse einheitliche Bedingungen vorausgesetzt.

Da die zu schätzenden Flächen hinsichtlich Klima, Geländeform und anderen Ertragsbedingungen von den unterstellten Ertragsfaktoren abweichen, werden die zu erwartenden Ertragsunterschiede durch Zu- und Abschläge zu bzw. von den Bodenzahlen berücksichtigt. Dadurch werden die Ackerzahlen als Reinertragszahl der geschätzten Fläche erhalten.

Bodenart, Zustandstufe und Entstehung ergeben aneinandergereiht die Klassenbezeichnung bzw. das **Klassenzeichen** an das schließlich die Wertzahlen angefügt werden.

Ein Beispiel wäre IS 4 D 37/36

IS → Bodenart lehmiger Sand

4 → Zustandsstufe 4

D → Entstehungsart Diluvium

37 → Bodenzahl

36 → Ackerzahl

Die Schätzung des Grünlandes wird nach dem Grünlandschätzrahmen durchgeführt, dessen Aufbau von dem des Ackerschätzungsrahmen abweicht. In ihm ist das Hauptaugenmerk auf die natürlichen Ertragsbedingungen des Grünlandes Boden, Wasser und Klima gerichtet. Die Skala des Schätzungsrahmens reicht von 7 bis 88.

Zur Kennzeichnung der Klimaverhältnisse sind 3 Klimastufen geschaffen, die durch die durchschnittliche Jahrestemperatur charakterisiert sind.

a) Jahrestemperatur $\geq 8^{\circ}\text{C}$

b) Jahrestemperatur 7.9 bis 7°C

c) Jahrestemperatur $\leq 6.9^{\circ}\text{C}$

Die Wasserverhältnisse, im wesentlichen Ausdruck des Grundwassers, der Staunässe und der Niederschläge, sind gerade bei der Beurteilung des Grünlandes von ausschlaggebender Bedeutung. Die Wertabstufungen bewegen sich zwischen 1 als günstigster und 5 als der ungünstigsten Stufe, wobei die beiden letzten Stufen gleichermaßen durch Nässe oder durch Trockenheit hervorgerufen sein können.

Die sich aus dem Zusammenwirken von Boden, Wasser und Wärme ergebenden Wertzahlen werden als Grünlandgrundzahlen bezeichnet und sollen die Unterschiede im Reinertrag bei normaler Bewirtschaftung zum Ausdruck bringen. Örtliche Besonderheiten wie Hanglage, Versumpfung, Nassstellen, Druckwasser usw., die sich ertrags- oder qualitätsmindernd auswirken können, werden durch Abschläge bei der Grünlandgrundzahl berücksichtigt. Das Klassenzeichen der Grünlandschätzung (z.B. L II b 3) setzt sich aus der Bodenart, Bodenstufe, Klima- und Wasserverhältnissen zusammen.

Innerhalb einer Klassenfläche kann der Boden durchaus unterschiedliche Wertzahlen aufweisen. Sofern es sich um wesentliche Wertunterschiede für größere zusammenhängende Bodenflächen handelt, wird eine Klassenfläche noch in **Klassenabschnitte** zerlegt. Die Klassenabschnitte haben die

gleiche Klassenbezeichnung, jedoch verschiedene Bodenzahlen bzw. Grünlandzahlen sowie eigene bestimmende Grablöcher.

Zur Sicherung der Gleichmäßigkeit der Bodenschätzung sind im ganzen früheren Reichsgebiet vom damaligen Reichsschätzungsbeirat ausgewählte Bodenflächen als **Musterstücke** geschätzt worden. Um die Vergleichbarkeit der Geländedaten sicherzustellen, wurde ein für die Kartierung allgemein verbindliches Verzeichnis der bei der Bodenschätzung zu verwendenden Abkürzungen aufgestellt. Die Ergebnisse der Geländearbeiten werden im **Feldschätzbuch** und in der **Schätzungskarte** (Maßstab 1:1500) festgehalten.

Die in den Schätzbüchern dokumentierten flächentypischen Profilbeschreibungen sind als die eigentliche bodenkundliche Basisinformation anzusehen. Sie enthalten folgende Informationen:

- Kopfdaten (Gemarkung, Flur, Datum, Profilnummer, Tagesabschnitt der Kartierung),
- Genaue horizontbezogene Charakterisierung des bestimmenden Grabloches durch eine Feinklassifizierung der Bodenart nach *Thaer*,
- Klassenzeichen der Bodenschätzung,
- Wertzahlen, und sonstige Bemerkungen.

Schätzungsbuch für Ackerland														Anlage 4 (BodSchätz TechnAnw)	
Gemeinde <u>Hausen a. d. Möhlin</u> Ort <u>Hausen a. d. Möhlin</u> Flur <u>Brennweg</u> Feuchtigkeitzzustand des Bodens <u>feucht</u>														Seiten	
Tagesabschnitt <u>1</u> (ha <u>49</u> , davon Grünland <u>7</u> ha) Besichtigungstag <u>16.4.1949</u>														des Feldschätzungsbuches	
Grablöcher			Feststellungen über Klassenflächen, Klassenabschnitte und Sonderflächen												
Nr.	Bodengefüge	Boden- zahl	Klasse				Besonderheiten						Acker- zahl	Erläuterungen	Bemerkungen
			Boden- art	Zu- stands- stufe	Ent- stehung	Boden- zahl	des Bodens		des Klimas		Ab- ge- mei- nes Klima ± v.H.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(Vst)	L. b. l. LS 45 L. l. LS 45 br. l. S. 1 br. S. Kuro L. 2 2 1 5	43	LS	4	Al	43							18	45	
(33)	L. 2 2 2 L. 2 2 2 L. 2 2 2	48	SL	4	D	46							10	51	1978 überwiesen von v. Frau Feldkirch Gen. Grenz von Grün

Abb. 5.1: Schätzungsbuch für Ackerland

Schätzungsbuch für Grünland														Anlage 5 (BodSchätz GrünAnw)	
Gemeinde <u>Hausen a. d. M.</u> Ort <u>Hausen a. d. M.</u> Flur <u>Kümmel</u> Feuchtigkeitzzustand des Bodens <u>feucht</u>														Seiten	
Tagesabschnitt <u>III</u> (ha <u>32</u> , davon Grünland <u>5</u> ha) Besichtigungstag <u>19.4.1949</u>														des Feldschätzungsbuches	
Grablöcher			Feststellungen über Klassenflächen, Klassenabschnitte und Sonderflächen												
Nr.	Bodengefüge	Grün- land- zahl	Klasse				Besonderheiten						Grün- land- zahl	Erläuterungen	Bemerkungen
			Boden	Klima	Wasser	Grünland- zahl	des Bodens		des Klimas		Ab- ge- mei- nes Klima ± v.H.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(1)	L. 2 2 2 L. 2 2 2 L. 2 2 2	65	LT	a	2	65							65		
(2)	L. 2 2 2 L. 2 2 2 L. 2 2 2	64	LT	a	2	63							63		

Abb. 5.2: Schätzungsbuch für Grünland

Die Abbildungen 5.1 und 5.2 zeigen Ausschnitte aus dem Schätzungsbuch für Grünland und für Ackerland.

Die von der Bodenschätzung vorgenommenen Abgrenzungen und Klassifikationen der Böden sind vollständig im Liegenschaftskataster nachgewiesen. Die Schätzungsbücher lagern bei der Finanzverwaltung und sind jedoch nicht im Liegenschaftskataster nachgewiesen.

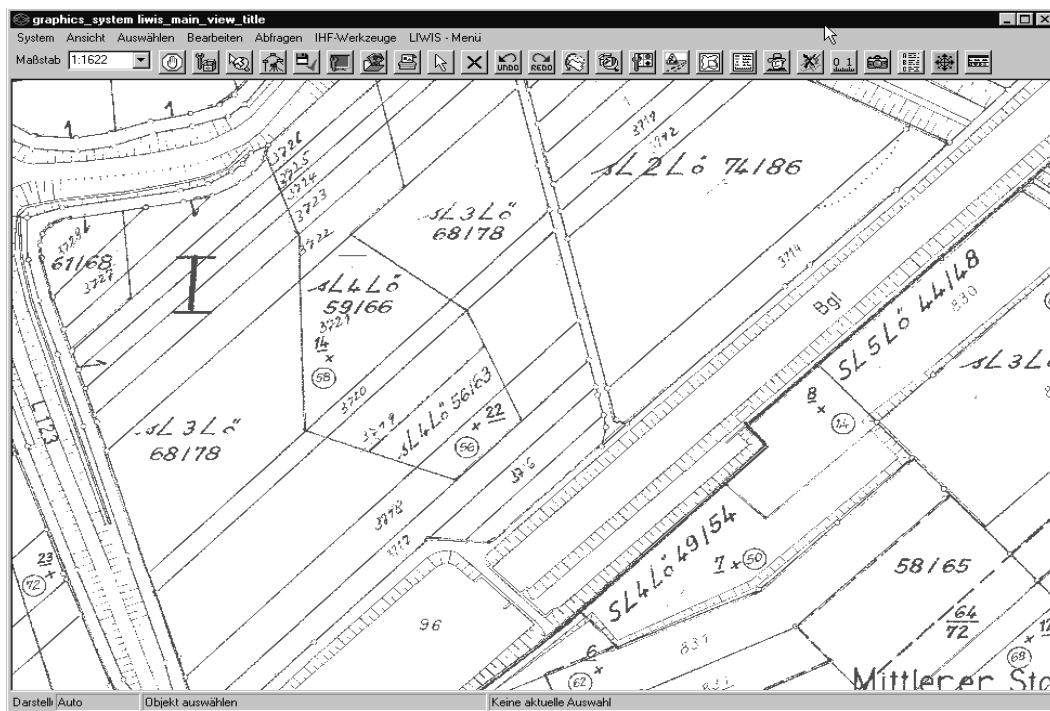


Abb. 5.3: Ausschnitt der Bodenschätzkarte im GIS-Grafikfenster

In den alten Bundesländern liegen etwa **7 Millionen Grabloch-Beschriebe** der Bodenschätzung vor (LABO, 1993). Damit ist die Bodenschätzung die größte verfügbare einheitlich strukturierte punkt- und flächenbezogene Datenbasis über Boden und die einzige bodenkundliche Informationsgrundlage, die flächendeckend in hoher räumlicher Auflösung für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche vorliegt.

5.2.2 Die Übersetzung der Reichsbodenschätzung

Die im Schätzungsbuch festgehaltene Bodenansprache nach *Thaer* beinhaltet zwar sehr detaillierte horizontbezogene Informationen der Korngrößen, diese sind jedoch aus bodenkundlicher Sicht als überholt anzusehen und bedürfen daher der Übersetzung in die Termini der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* (BMBF 1997). Während die *Bodenkundliche Kartieranleitung* z.B. zwischen den drei

Korngrößenfraktionen Ton, Schluff und Sand unterscheidet, gibt es im Schlüssel von *Thaer* nur zwei Fraktionen (ebenfalls Ton und Sand genannt), deren Grenzwert bei einer Korngröße von 10 µm und damit im Mittelschluffbereich der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* liegt.

Da die Berechnungsmethoden für Bodenkennwerte durchweg von Bodenbeschreibung *nach Bodenkundlicher Kartieranleitung* ausgehen können sie nicht direkt auf Bodenschätzdaten angewendet werden. Dies ist der Grund, dass die Bodenschätzung selten für wissenschaftliche Zwecke verwendet wird und im Grunde einen riesigen für nichtsteuerliche Zwecke ungenutzten Datenpool darstellt. Um die Bodenschätzung zur Berechnung von Bodenkennwerten verwenden zu können ist also eine Übersetzung in Bezeichnungen der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* erforderlich.

5.2.3 Der Übersetzungsschlüssel

In der Literatur sind verschiedene Ansätze für die Übersetzung der Bodenarten der *Bodenschätzung* zu finden (FLEISCHMANN ET AL., 1979; REICHE, 1991), ein sehr ausführlicher Übersetzungsschlüssel wurde vom *Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung* im Rahmen des *Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS* (BENNE ET AL., 1990) ausgearbeitet.

Ausgehend von dem Übersetzungsvorschlag von FLEISCHMANN ET AL. (1979) wurde ein umfassender Übersetzungsschlüssel erarbeitet, der das Ergebnis langjähriger Geländevergleiche und analytischer Untersuchungen der Musterstücke der Bodenschätzung ist. Die Untersuchungen wurden vom *Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung* (Hannover) im Rahmen der Herstellung der Bodenkarte auf der Grundlage der Bodenschätzung im Maßstab 1:5000 (DGK5B) durchgeführt.

für die Übersetzung benutzte Merkmale der Bodenschätzungsprofile								sich daraus ergebende bodenkundliche Merkmale		
Horizont- kennzeichnende Merkmale	Ent- stehung	Auftreten in Schicht	bei Tongehalt in Gew.-%	auch bei Bodenart	nicht bei Bodenart	andere Merkmale	Zustandsstufe/ Bodenstufe	Boden- horizont ohne Berücksichtigung des Klimabereichs	Boden- horizont in den Klima- bereichen 1-3	Boden- horizont in den Klima- bereichen 4-10
h 3-5	Lo	≥2		Ut 2- Ut 4 Tu 4		ei 1 gb 1 fl 2	1, 2		Ah	Sw - Ah
h 3-5	Lo	≥2			Ut 2- Ut 4 Tu 4	ei 1 gb 1 fl 2	1, 2		M	Sw - M
h 3-5	Lo	≥2				ei 1 gb 1 fl 2	3-7 I-III		M	Sw - M
h 3-5	Lo	≥2		Ut 2- Ut 4 Tu 4		ei 2 gb 2 fl 3	1, 2		Sw - Ah	Ah - Sw
h 3-5	Lo	≥2			Ut 2- Ut 4 Tu 4	ei 2 gb 2 fl 3	1, 2		Sw - M	M - Sw
h 3-5	Lo	≥2				ei 2 gb 2 fl 3	3-7 I-III		Sw - M	M - Sw
h 3-5	Lo	≥2		Ut 2- Ut 4 Tu 4		ei 3-5 gb 3-5 fl 4, 5	1, 2	Ah - Sw		

Abb. 5.4: Teil des Übersetzungsschlüssels für Lössböden (BENNE, 1990)

Der Übersetzungsschlüssel für die Profilbeschreibungen teilt sich in die folgenden Teilschlüssel:

- Übersetzung der Bodensubstrate die die heutigen Bodensubstratbezeichnungen liefert.
- Der Übersetzungsschlüssel der horizontkennzeichnenden Merkmale liefert auf Basis von Merkmalen wie Humusgehalt, Eisengehalt oder Farbe die heute gebräuchliche Horizontbezeichnung wie Ah, Bhs oder Cv.
- Mit dem Übersetzungsschlüssel für sonstige Einzelmerkmale werden die heute gebräuchlichen Bezeichnungen für Eigenschaften wie Farbe, Eisen- und Kalkgehalt ermittelt.

5.2.4 Nutzung der Bodenschätzdaten für nichtsteuerliche Zwecke

Die Ergebnisse der Bodenschätzung bilden für landwirtschaftliche Nutzflächen die einzige verfügbare **flächendeckende** und **parzellenscharfe** bodenkundliche Datenbasis, und stellen damit eine einmalige bodenkundliche Wissensbasis dar. Um die Verwendbarkeit der Reichsbodenschätzung für wissenschaftliche Fragestellungen zu ergründen liegt es nahe auf die Ergebnisse anderer Projekte, in denen die Bodenschätzung als Datengrundlage verwendet wurde, zurückzugreifen.

Schon in den Anfangsjahren der Bodenschätzung wurde die Bedeutung dieser Datengrundlage für zahlreiche praktische, wirtschaftliche, politische und wissenschaftliche Zwecke erkannt (ROTHKEGEL, 1947). In den fünfziger Jahren wurden Bodenschätzungsdaten z.B. in Nordrhein-Westfalen bereits systematisch ausgewertet, um auch nichtlandwirtschaftliche Fragestellungen zu bearbeiten (ARENS, 1960). In der ehemaligen DDR wurden die Originalkarten der Bodenschätzung ohne Übernahme der Wertzahlen zum großen Teil in den Maßstab 1:10000 umgezeichnet und dienten dann als Grundlage für die Karten der *Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung* (ALTERMANN, 1992).

Seit den siebziger Jahren bemüht sich besonders Niedersachsen um die digitale Aufbereitung und Interpretation der Bodenschätzung (BENNE ET AL. 1990). In jüngerer Zeit wird die Bedeutung dieser Datenquelle beim Fehlen großmaßstäbiger bodenkundlicher Grundlagendaten zum Aufbau moderner Bodeninformationssysteme betont (LABO, 1997).

Ein Beispiel für den erfolgreichen Einsatz der Bodenschätzung als Datengrundlage für hydrologische Fragestellungen liefert das sogenannte *Weiherbachprojekt*, ein Verbundprojekt von Instituten der Universitäten Karlsruhe, Heidelberg, Cottbus, Bayreuth und der staatlichen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) Augustenberg in Karlsruhe.

Hauptziel des Weiherbachprojekts war es, ein numerisches Prozess- bzw. Simulationsmodell zur Prognose des Transportes von Wasser und dessen Inhaltsstoffen in und aus kleinen, hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten zu erstellen. Anwendungsmöglichkeiten des Modells werden vor allem in der Simulation der Auswirkungen veränderter Landnutzungen und flächenhafter Stoffeinträge, aber auch in der Wirkungsprognose punktförmiger Einträge durch Unfälle und Störfälle, gesehen.

Ein Bestreben des Projektes bestand darin, bereits bestehende Datenpools intensiv zu nutzen, um den Aufwand für eine neuerliche Datenerhebung zu minimieren, wofür sich die *Bodenschätzung* der Finanzverwaltungen auf besondere Weise eignet. Infolgedessen wurde aus einer Vielzahl Vergleichs-

paaren von Bodenarten der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* und Bodenarten der *Bodenschätzung* ein regionalspezifischer Übersetzungsschlüssel ermittelt. Auf Basis der Bodenschätzung wurde schließlich eine Bodenkarte im System der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* für das Untersuchungsgebiet ermittelt. In Geländebegehungen wurde festgestellt, dass die abgeleiteten Bodenartenkarten die im Gelände angetroffenen räumlichen Verhältnisse der Bodenartenvorkommen in zufriedenstellender Weise bestätigen.

Bis auf kleinere Wald- und Weinberggebiete, die nicht bei der Bodenschätzung aufgenommen werden, erfasste die aus der Bodenschätzung abgeleitete Bodenkarte nahezu das gesamte Untersuchungsgebiet. Eine Gegenüberstellung der Übersetzungsergebnisse nach dem Übersetzungsschlüssel des NIBIS und nach dem regionalspezifischen Übersetzungsschlüssel des Weiherbachprojekts zeigte, dass die übersetzten Bodenarten in nur einem Fall nicht zumindest in benachbarten Bodenartengruppen im Texturdreieck der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* lagen.

Der Einschätzung von REICHE (1991), dass ein derartiger Übersetzungsschlüssel in jedem Gebiet neu geeicht werden muss um sehr genaue Übersetzungen der Bodenart zu erzielen ist sicherlich beizupflichten. Da die Erstellung eines Übersetzungsschlüssels für die Wassergewinnungsgebiete der Freiburger Energie und Wasserversorgung jedoch den Rahmen einer Diplomarbeit gesprengt hätte wurde in dieser Arbeit der Übersetzungsschlüssel des NIBIS verwendet.

Falls ein Übersetzungsschlüssel für die FEW-Gebiete erstellt würde, wäre es kein großer programmiertechnischer Aufwand den Schlüssel des NIBIS durch einen neuen Schlüssel zu ersetzen. Da die Daten der Bodenschätzung in den Gebieten *Zartener Becken* und *Staufener Bucht* hauptsächlich als zusätzliche Datenquelle zu den Informationen der bodenkundlichen Kartierung genutzt werden und nicht die Hauptdatenbasis darstellen, ist die nach den Ergebnissen des Weiherbachprojekts zu erwartende Genauigkeit der Übersetzung sicherlich ausreichend.

5.3 Entwicklung des GIS-Datenmodells und Umsetzung der Übersetzungsverfahren

5.3.1 Bodenprofile

Die Implementierung der Reichsbodenschätzung ins bodenkundlich - meteorologische Teilmodul BOMET gliedert sich in zwei Teilbereiche:

- Die Abbildung der im Feldschätzbuch vermerkten Bodenschätzdaten durch ein entsprechendes Datenmodell im GIS um die Informationen der Bodenschätzung zu verwalten.
- Die Auswertungsmethoden um die Bodenschätzdaten für die Bodenkennwertberechnung nutzbar zu machen. Hierzu gehört ein Datenmodell für die Speicherung der Übersetzungstabellen und entsprechende Methoden, die die Umschlüsselung der Bodenbeschreibungen vornehmen.

definiert wurden sind die Klimastufe, die Wasserverhältnisse sowie die Bodenart und die Entstehungsart des Profils. Die bereits im Datenmodell der *Bodenkundlichen Kartierung* enthaltenen Kataloge für die Bodenart, den Humusgehalt, die Lagerungsdichte und den Skelettgehalt können für die Bodenschätzprofile wiederverwendet werden.

Ein Bestreben bei der Entwicklung eines Datenmodells ist es, wenn möglich **Redundanzen**, also das Vorkommen der gleichen Merkmale in verschiedenen Objektklassen, zu vermeiden. Demgemäss werden - entsprechend dem Datenmodell für *Bodenkundliche Kartierungen* - die für das gesamte Profil relevanten Informationen getrennt von den Beschreibungen der einzelnen Horizonte in unterschiedlichen Objektklassen abgelegt.

Die Klasse *IHF BS Profil (Basisdaten)*, die die Stammdaten des jeweiligen Profils enthält, ist über eine 1:n Verknüpfung mit der Klasse *IHF BS Horizont (Basisdaten)* verknüpft, in der die Horizontbeschreibungen vorgehalten werden. Mittels der 1:n Verknüpfung zwischen den Klassen ist es möglich, zu jedem Profil eine beliebige Anzahl Horizonte zu definieren, die in direkter Verbindung mit der Profil-Objektklasse stehen.

The figure consists of two side-by-side screenshots of a GIS application window titled '[Gis] IHF BS Profil (Basisdaten)'. The left screenshot shows the 'Hauptseite' (Main page) tab, which contains a form for entering profile data. The right screenshot shows the 'Titeldaten' (Title data) sub-editor, which contains a form for entering administrative and location data.

Hauptseite (Left Screenshot):

- * Profil-Nummer: 4000010
- Anzahl der Profile: 126
- Lage: [Map icon] [Setzen] [Säubern]
- Feuchtigk.zustand bei Aufnahme: feucht
- Landnutzung: [?] : Ackerland
- Horizonte: [v] : 3 [Säubern]
- Bodenart: [?] : sL
- Zustands-/Bodenstufe: [?] : 4
- Entstehungsart: [?] : D
- Klimastufe: [?] : 6
- Wasserverhaeltnisse: [?] : keine Angabe
- Boden-/Gruenlandgrundzahl: 55
- Acker-/Gruenlandzahl: 63
- Zu/Abschlaege Boden: []
- Zu/Abschlaege Klima: 14
- Bemerkung: [x] Nachschaetzung
- Horizontfolge Bodenschaeztung: h2 * Ls3 25 | r2 * Ls4 25 | r2 * Ls4 50 |
- Uebersetzte Horizontfolge: Ah h2 25 | Sd * 25 | Sd * 50 |

Titeldaten (Right Screenshot):

- * Profil-Nummer: 4000010
- Gemeinde: Bad-Krotzingen
- Ort: Schlatt
- Flur: Neumatten/Blankenmatten
- Tagesabschnitt: 2
- Besichtigungstag: 01.10.76
- Grablochnummer: 10

Abb. 5.6: Editor der Klasse *IHF BS Profil (Basisdaten)* und Untereditor *Titeldaten*

Die wesentlichen Informationen, die in der Klasse *IHF BS Profil (Basisdaten)* gespeichert werden sind:

- Die Profilnummer als Schlüsselfeld zur eindeutigen Identifizierung des Profils
- Die Lage des Profils im GIS

- Angaben zu den Bodenverhältnissen: Bodenart, Zustands-/Bodenstufe, Entstehungsart, Wasserverhältnisse, Feuchtigkeitszustand
- Wertzahlen: Boden-/Grünlandgrundzahl, Acker-/Grünlandzahl, Zu-/Abschläge für Boden und Klima
- Angaben zur Kartierung wie Gemeinde, Ort, Flur, Besichtigungstag, Tagesabschnitt und Grablochnummer

Die Horizontfolge der Bodenschätzung und die übersetzte Horizontfolge nach Bodenkundlicher Kartierung werden nach Festlegung der Horizonte bzw. Durchführung der Übersetzung automatisch an der entsprechenden Stelle eingefügt.

Das Feld *Horizonte* im Profileditor zeigt die Anzahl der Horizonte des aktuell dargestellten Profils an. Über den Button ▼ öffnet sich ein Zwischeneditor, der alle zu diesem Profil gehörigen Horizonte auflistet. Durch Auswahl aus dieser Liste öffnet sich der Editor der Klasse *IHF BS Horizont (Basisdaten)* mit den Daten des ausgewählten Horizonts. Die Verknüpfung der Objektklassen erleichtert somit die Navigation zwischen den Daten eines Profils und den zugehörigen Horizonten.

Tab. 5.1: Die Felder der Tabelle *IHF BS Profil (Basisdaten)*

<i>Parameter</i>	<i>Erklärung</i>
Profil-Nummer	Nummer des Profils
Anzahl der Profile	Anzahl aller abgespeicherter Profile
Lage	Ort des Profils
Feuchtigk.zustand bei Aufnahme	Feuchtigkeitszustand des Bodens bei der Aufnahme des Profils
Landnutzung	“Grünland” oder “Ackerland”
Horizonte	Verknüpfung zu den zugehörigen Profilen
Bodenart	Gesamtbodenart des Profils
Zustands-/Bodenstufe	Stufen: Bei Grünland: I-III, bei Ackerland 1-7
Entstehungsart	D, Dg, Lo, Al, Alg, V, Vg, Me, X
Klimastufe	Stufen: 1-10
Wasserverhältnisse	Stufen: 1, 2, 3, 4, 4-, 5, 5-
Boden-/Grünlandgrundzahl	Boden-/Grünlandgrundzahl des Profils
Acker-/Grünlandzahl	Acker-/Grünlandzahl des Profils
Zu-/Abschläge Boden	Zu-/Abschläge für die Bodenbedingungen
Zu-/Abschläge Klima	Zu-/Abschläge für den Klimaeinfluss
Bemerkungen	Textfeld für Bemerkungen
Horizontfolge Bodenschätzung	Horizontfolge nach Bodenschätzung (automatisch ermittelt)
Übersetzte Horizontfolge	Übersetzte Horizontfolge (automatisch ermittelt)
Gemeinde	Gemeinde (z.B. Bad Krozingen)
Ort	Ort (z.B. Schlatt)
Flur	Flur (z.B. Neumatten)
Tagesabschnitt	Tagesabschnitt der Schätzung
Besichtigungstag	Datum der Profilaufnahme
Grablochnummer	Nummer des Profils im Feldschätzbuch

Ein Eintrag in der Objektklasse *IHF Horizont (Basisdaten)* wird durch die Profil- und Horizontnummer als Schlüsselfelder eindeutig identifiziert. Die wichtigsten horizontbezogenen Parameter sind:

- Bodenkennzeichnende Merkmale und Substrat
- Die übersetzten Bodeneigenschaften: Übersetzte Bodenart, Horizontbezeichnung, evtl. Humus-, Kalkgehalt, Farbe
- Tongehalt, Skelettgehalt, Humusgehalt und Lagerungsdichte bzw. Substanzvolumen

Aus der eingegebenen Horizontmächtigkeit wird beim Einfügen automatisch die Ober- und Untergrenze des Horizonts berechnet. Der erste bzw. oberste Horizont wird durch die Erdoberfläche begrenzt und hat demnach die Obergrenze 0 cm. Die Untergrenze der weiteren Horizonte werden aus der Untergrenze des darüber liegenden Horizonts und der Horizontmächtigkeit berechnet. Die Horizonte müssen deshalb der Reihe nach von der Oberfläche nach unten eingegeben werden um sicherzustellen, dass die Obergrenze bekannt ist.

Die Mächtigkeit des untersten Horizonts des Profils wird im Feldschätzbuch der Bodenschätzung nicht vermerkt. Da die Schätzer bei der Profilaufnahme den Boden bis zu einer Tiefe von 1 m untersuchen, wird bei fehlender Mächtigkeitsangabe unter der Annahme, dass es sich um den untersten Horizont handelt eine Untergrenze von 1 m festgelegt. Die Mächtigkeit ergibt sich sodann aus der Differenz zum darüber liegenden Horizont.

Tab. 5.2. Die Felder der Tabelle *IHF BS Horizont (Basisdaten)*

<i>Parameter</i>	<i>Erklärung</i>
Profilnummer	Nummer des zugehörigen Profils
Horizontnummer	Nummer des Horizonts
Horizontkennz. Merkmale	Merkmale wie Humusgehalt, Farbe, Eisengehalt, Kalkgehalt
Weitere Merkmale	Weitere horizontkennzeichnenden Merkmale (s.o.)
Bodensubstrat	Substrat nach Bodenschätzung
Weitere Substratspezifizierung	Weitere Spezifizierung des Bodensubstrats
Mächtigkeit [cm]	Horizontmächtigkeit in cm
Horizont Obergrenze	Abstand der Horizontobergrenze zur Erdoberfläche in cm
Horizont Untergrenze	Abstand der Horizontuntergrenze zur Erdoberfläche in cm
Übersetzung Substrat	Übersetzung des Bodensubstrats
Übersetzung Horizont	Aus den horizontkennz. Merkmalen abgeleitete Horizontbezeichnung
Übersetzung Humusgehalt	Humusgehalt nach <i>Bodenkundlicher Kartieranleitung</i>
Übersetzung Farbe	Farbe nach <i>Bodenkundlicher Kartieranleitung</i>
Übersetzung Eisengehalt	Eisengehalt <i>Bodenkundlicher Kartieranleitung</i>
Übersetzung Kalkgehalt	Kalkgehalt <i>Bodenkundlicher Kartieranleitung</i>
Tongehalt	Tongehalt <i>Bodenkundlicher Kartieranleitung</i>
Tongehalt ermittelt aus:	Angabe wie der Tongehalt bestimmt wurde (Eingabe, aus Substrat...)
Lagerungsdichte/Substanzvolumen	Lagerungsdichte/Substanzvolumen des Horizonts: Stufen 1-5
LD/SV ermittelt aus:	Herkunft der Lagerungsdichte
Skelettgehalt	Skelettgehalt des Horizonts: Stufen 0-7
Skelettgehalt ermittelt aus:	Herkunft des Skelettgehalts
Humusgehalt	Humusgehalt in Stufen: 0-9
Humusgehalt ermittelt aus:	Herkunft des Humusgehalts

Bei der Übernahme der Bodenschätzdaten aus dem Feldschätzbuch ins GIS wird die horizontbezogene Charakterisierung des Profils, die im Schätzbuch aneinanderhängend in einer Zeile aufgezeichnet ist, in ihre Einzelteile aufgespaltet. Die bei der Bodenschätzung nach dem Klassifizierungsschlüssel von *Thaer* durchgeführte Horizontbeschreibung setzt sich zusammen aus, in der Regel nicht mehr als zwei horizontkennzeichnenden Merkmalen (z.B. Humusgehalt, Farbe oder Eisengehalt), der Bodenart und der Horizontmächtigkeit. Dementsprechend werden diese Informationen auf die Felder *Horizontkennzeichnende Merkmale*, *Weitere Merkmale*, *Substrat*, *Weitere Substratspezifizierung* und *Mächtigkeit* verteilt.

Wesentliche Parameter für die Berechnung der bodenkundlichen Kennwerte sind die Bodenart, der Humusgehalt, der Skelettgehalt, und die Lagerungsdichte bzw. das Substanzvolumen. Für die Ermittlung der Horizontbezeichnung ist zudem in manchen Fällen der Tongehalt von Bedeutung.

Da bei der Bodenschätzung nicht durchgängig sämtliche Bodeneigenschaften, sondern nur die signifikanten bodenprägenden Parameter aufgezeichnet werden, können für die Kennwertberechnung und Übersetzung erforderliche Parameter im Feldschätzbuch unbestimmt sein und müssen folglich abgeschätzt oder anderweitig bestimmt werden. Diese Fehlwerte werden in BOMET automatisch ermittelt, wobei nach folgendem Ablaufschema vorgegangen wird:

- Wenn Werte vorhanden sind wird keine Abschätzung durchgeführt.
- Der Tongehalt wird dem Bodenartenkatalog von BOMET entnommen, der für jede Bodenart die Anteile der Fraktionen Ton, Schluff und Sand vorhält. Die übersetzte Bodenart muss demnach vor der Abschätzung ermittelt worden sein.
- Mittels einer Verknüpfungsregel aus der Methodenbank des NIBIS (MÜLLER, 1997) werden Lagerungsdichte bzw. Substanzvolumen abgeschätzt. Sie ergeben sich aus der Horizontbezeichnung.
- Humus- und Skelettgehalt können wahlweise durch Mittelung aus allen im selben *Hydropedotop* liegenden Profilen oder durch Übernahme vom nächstliegenden Profil im selben *Hydropedotop* bestimmt werden.
- Falls die oben genannten Methoden zu keinem Ergebnis führen wird schließlich ein Defaultwert (Humusgehalt = 0, mittlerer Skelettgehalt) eingefügt, damit auf jeden Fall eine Kennwertberechnung möglich ist.

The image displays two screenshots of the 'IHF BS Horizont (Basisdaten)' software interface. The left screenshot shows the 'Hauptseite' (Main page) with various input fields for profile data. The right screenshot shows the 'Weitere Daten' (Additional data) tab, which contains fields for soil properties like clay content, bulk density, humus content, and skeleton content, with dropdown menus for their source of determination.

Parameter	Value	Source / Note
Tongehalt in [Gew. %]	21	
Tongehalt ermittelt aus:	Aus Bodenartenkatalog	
Lagerungsdichte/Substanzvolumen	3	
Ld/Sv ermittelt aus:	Aus naechstliegendem Profil	
Skelettgehalt	0	
Skelettgeh. ermittelt aus:	Aus naechstliegendem Profil	
Humusgehalt	2	
Humusgehalt ermittelt aus:	Eingabe	

Abb. 5.7: Editor der Klasse *IHF BS Horizont (Basisdaten)* und Untereditor *Weitere Daten*

Um zu dokumentieren wie die Parameter Ton-, Humus-, Skelettgehalt und Lagerungsdichte/Substanzvolumen ermittelt wurden, hält für jeden Parameter ein zusätzliches Feld die Herkunft fest. Die möglichen Einträge sind: „Aus Bodenartenkatalog“, „Aus nächstliegendem Profil“, „Defaultwert“, „Eingabe“, „Mittelung aus Profilen im selben Hydropedotop“ oder „Verknüpfungsregel“.

5.3.2 Übersetzung der Bodenschätzung

Die Übersetzung bzw. Umschlüsselung der Begriffe der *Reichsbodenschätzung* in den heute gebräuchlichen Sprachgebrauch der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* wird im BOMET automatisch ausgeführt. Die folgenden Operationen werden dabei vorgenommen:

- Übersetzung des Bodensubstrats.
- Ableitung der Horizontbezeichnung nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung* aus den horizontkennzeichnenden Merkmalen der *Bodenschätzung*.
- Umschlüsselung der Einzelmerkmale wie Humusgehalt, Kalkgehalt, Farbe und Eisengehalt.

Der Übersetzungsschlüssel des *Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS* gliedert sich in einzelne Tabellen, die im BOMET durch entsprechende Objektklassen abgebildet sind.

Im einzelnen sind dies die

- Tabelle für die Übersetzung des Bodensubstrats.
- Tabellen zur Bestimmung der Horizontbezeichnung, unterteilt nach den Entstehungsarten Löss, Alluvium, Diluvium und Verwitterung.
- Tabelle für die Umschlüsselung der sonstigen Merkmale.

Kriterium	Wert
* Horiz.kennz. Merkmal von	h1
* Horiz.kennz. Merkmal bis	h2
* Entstehung	Lo
* Horizont-Nr. grösser oder gleich	2
* Horizont-Nr. kleiner oder gleich	2
* Tongehalt grösser als [Gew. %]	0
* Tongehalt kleiner als [Gew. %]	100
* Auch bei Bodenart	Lsu,U14
* Nicht bei Bodenart	egal
* Weitere Merkmale von	r3
* Weitere Merkmale bis	r5
* Zustands/Bodenstufe von	4
* Zustands/Bodenstufe bis	7
* Klimabereich	4-10
* Sonstiges	egal
* Horizont Übersetzung	Sw

Ok 9 Datensätze gefunden

Abb. 5.8: Ein Datensatz der Übersetzungstabelle für Lössböden (*IHF BS Uebersetzung Loess*)

Den Kopf einer jeden Übersetzungs-Tabelle bildet das, für die Übersetzung benutzte Merkmal der Bodenschätzprofile. Darunter folgen die Bedingungen für die Übersetzung, z.B. das Auftreten in einer bestimmten Schicht, Merkmale wie Eisengehalt und Farbe, oder eine Zustands-/Bodenstufe. Das sich daraus ergebende bodenkundliche Merkmale bildet schließlich den Fuß der Tabelle. Abbildung 5.8 zeigt einen Eintrag der Tabelle *IHF BS Uebersetzung Loess* im zugehörigen Objekteditor. Es handelt sich hierbei also um eine Spalte der in Abb.5.4 dargestellten Übersetzungstabelle des NIBIS.

Bei Ausführung der Übersetzung werden sämtliche Einträge der entsprechenden Übersetzungstabelle mit der Horizontbeschreibung der *Bodenschätzung* verglichen, mit der Absicht einen vollständig mit den Schätzbucheinträgen übereinstimmenden Datensatz zu ermitteln, der die gewünscht Übersetzung liefert.

Die Unterteilung der zur Ermittlung der Horizontbezeichnung verwendeten Tabellen nach der Entstehungsart, ermöglicht eine Vorauswahl bei der Durchführung der Übersetzung. Der Umfang der, nach einer möglichen Übersetzung abzusuchenden Tabelle ist infolgedessen kleiner und der zeitliche Aufwand wird verringert. Die Übersetzungstabelle für Lössböden enthält allein bereits 614 Datensätze. Der Zeitaufwand spielt bei der Übersetzung eines einzelnen Bodenhorizonts keine Rolle, bei der Aufbereitung eines ganzen Datensatzes von Bodenschätzprofilen kommt ihm dagegen größere Bedeutung zu.

War die Übersetzung bzw. Umschlüsselung erfolgreich, dann werden die ermittelten bodenkundlichen Merkmale in die Feldern „*Uebersetzung Substrat*“, „*Uebersetzung Horizont*“, „*Uebersetzung Humusgehalt*“, „*Uebersetzung Farbe*“, „*Uebersetzung Eisengehalt*“ und „*Uebersetzung Kalkgehalt*“ der Klasse *IHF BS Horizont (Basisdaten)* eingefügt.

Die in die Begriffe der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* übersetzten Horizontbeschreibungen der *Reichsbodenschätzung* sind die Grundlage für die Berechnung der Bodenkennwerte.

5.3.3 Bodenkennwerte

Die im BOMET berechneten Bodenkennwerte sind im wesentlichen Parameter des Bodenwasserhaushalts und der Bodenchemie. Aus hydrologischer Sicht sind sie die wichtigsten ableitbaren bodenkundlichen Parameter und werden von den Auswertungsverfahren im BOMET benötigt. Die mit den Bodenkennwerten gewonnen Kenntnisse über die Bodeneigenschaften sind die Basisinformation für die Berechnung der Grundwasserneubildung und für die Stickstoffmodellierung.

Die im BOMET berechneten Bodenkennwerte sind in Tabelle 5.3 erläutert.

Zur Vermeidung der Mehrfachimplementierung der gleichen Verfahren werden die selben Kennwertberechnungsmethoden für die Profile der *Reichsbodenschätzung* und der *Bodenkundlichen Kartierung* eingesetzt. Um die Kennwertberechnung durchzuführen, ist es erforderlich mit Hilfe der Übersetzung für jedes Bodenschätzprofil einen Eintrag in der Datenbanktabelle der Bodenkundlichen Profile *IHF Bodenprofil (Basisdaten)* zu erzeugen, dem bei der Kennwertberechnung die erforderlichen Informationen entnommen werden.

Tab. 5.3: Erläuterung der Bodenkennwerte im BOMET (verändert nach EBERLE 1999)

Bodenkennwert	Einheit	Erläuterung
Permanenter Welkepunkt (PWP)	mm	Bodenwassergehalt, bei dem landwirtschaftliche Nutzpflanzen i.d.R. irreversibel zu welken beginnen (Saugspannung von pF 4,2) Anteil der Feinporen ($\varnothing < 0,2 \mu\text{m}$) am Gesamtporenvolumen
Feldkapazität (FK)	mm	Wassermenge, die ein Boden maximal gegen die Schwerkraft zurückhalten kann (Saugspannung von pF 1,8)
Nutzbare Feldkapazität (nFK)	mm	Pflanzenverfügbare Anteil der Feldkapazität: FK – PWP Anteil der Mittel- und engen Grobporen ($\varnothing = 0,2 - 50 \mu\text{m}$) am Gesamtporenvolumen
Luftkapazität (LK)	mm	Bei Feldkapazität luftgefüllter Porenraum: GPV – FK Anteil der weiten Grobporen ($\varnothing > 50 \mu\text{m}$) am Gesamtporenvolumen
Gesamtporenvolumen (GPV)	Vol.-% (= mm/dm)	FK + LK
Gesättigte Wasserdurchlässigkeit (k_f)	cm/d	Spezifischer Durchfluß bei einem Gefälle von 1
Potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot})	cmolc/ kg Boden (= mval/100 g Boden)	Maximale Menge der an der Bodenmatrix austauschbar gebundenen Kationen (bei pH 8,2)
Effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff})	cmolc/ kg Boden	tatsächliche KAK bei gegebenem pH
K-Faktor	–	Bodenspezifische Erodierbarkeit für die Allgemeine Bodenabtragsgleichung
Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff (C_{org})	kg C / ha	
Ziel-pH	–	Anzustrebender pH-Wert im Oberboden
Effektive Durchwurzelungstiefe (W_e)	dm	Potentielle Ausschöpfungstiefe von pflanzenverfügbarem Wasser, das durch die Wurzeln in Trockenjahren dem Boden maximal entzogen werden kann.
Bodenkennwerte des effektiven Wurzelraums PWP $_{W_e}$, FK $_{W_e}$, nFK $_{W_e}$, LK $_{W_e}$, GPV $_{W_e}$	mm	Auf die effektive Durchwurzelungstiefe W_e bezogene Kennwerte PWP, FK, nFK, LK, GPV

Die Erzeugung des Datensatzes in der Tabelle *IHF Bodenprofil (Basisdaten)* kann entweder für jeden Horizont einzeln über den Menüeintrag *„Horizont nach bodenkundl. Kartieranl.“* im Horizonteditor oder für das gesamte Profil über die Menüoption *„Profil nach bodenkundl. Kartieranl.“* im Editor der Profiltabelle vorgenommen werden. Bei diesem Vorgang werden die Stammdaten der Bodenschätzung, die eine Entsprechung in der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* haben, die übersetzten und abgeschätzten Bodeneigenschaften sowie Mächtigkeit, Ober- und Untergrenze der Horizonte übertragen.

Um die Zusammengehörigkeit hervorzuheben hat der Datensatz der Tabelle *IHF Bodenprofil (Basisdaten)* die gleiche Profilnummer wie das ursprüngliche Bodenschätzprofil. Die Herkunft der Datensätze in der Tabelle *IHF Bodenprofil (Basisdaten)* wird im Auswahlfeld *Art der Profilaufnahme* mit den Optionen „Bodenkundliche Kartierung“ und „Bodenschätzung“ festgehalten.

Nach der Aufbereitung der Bodenschätzdaten hält die bodenkundliche Datenbank des BOMET schließlich für jedes Bodenschätzprofil zwei Datensätze vor: Einen Datensatz der dem Feldschätzbucheintrag entspricht und die unveränderte Bodenbeschreibung enthält, und einen aus der Übersetzung hervorgegangenen Datensatz, der einer *bodenkundlichen Kartierung* des selben Profils entspricht.

Wenn die Aufbereitung abgeschlossen ist, kann sodann die Bodenkennwertberechnung aus dem Editor der Klasse *IHF Horizont (Basisdaten)* gestartet werden. Die Schrittweise Aufbereitung der Reichsbodenschätzdaten von der, in analoger Form als Feldschätzbuch vorliegenden *Bodenschätzung*

bis zur Ausführung der Bodenkennwertberechnung ist in Abbildung 5.9 nochmals schematisiert zusammengefasst.

Die Bodenkennwerte liegen im BOMET wie die Basisdaten sowohl für die einzelnen Horizonte wie auch für das gesamte Profil vor. Die Objektklassen *IHF Bodenkennwerte (Profil)* und *IHF Bodenkennwerte (Horizont)* sind dementsprechend ebenfalls durch eine 1:n Verknüpfung miteinander verbunden.

Zunächst werden die Bodenkennwerte für die einzelnen Horizonte berechnet und in die Tabelle *IHF Bodenkennwerte (Horizont)* geschrieben. Die Profilkennwerte ergeben sich durch Aufsummieren der Bodenkennwerte der das Profil aufbauenden Horizonte, wobei per Konvention eine Profilmächtigkeit von 1m zugrundegelegt wird um den räumlichen Vergleich der Kennwerte zu gestatten. Die Profilkennwerte werden in der Tabelle *IHF Bodenkennwerte (Profil)* vorgehalten.

Um das, den Pflanzen zur Verfügung stehende Bodenwasser genauer zu berücksichtigen, werden die Bodenkennwerte zusätzlich für den *effektiven Wurzelraum* (We) bzw. *die effektive Durchwurzelungstiefe* berechnet. Dabei handelt es sich um die potentielle Ausschöpfungstiefe von pflanzenverfügbarem Bodenwasser, das durch die Wurzeln in Trockenjahren dem Boden entzogen werden kann.

Für weitere Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Kennwertberechnung sei auf die Arbeit von EBERLE (1999) verwiesen.

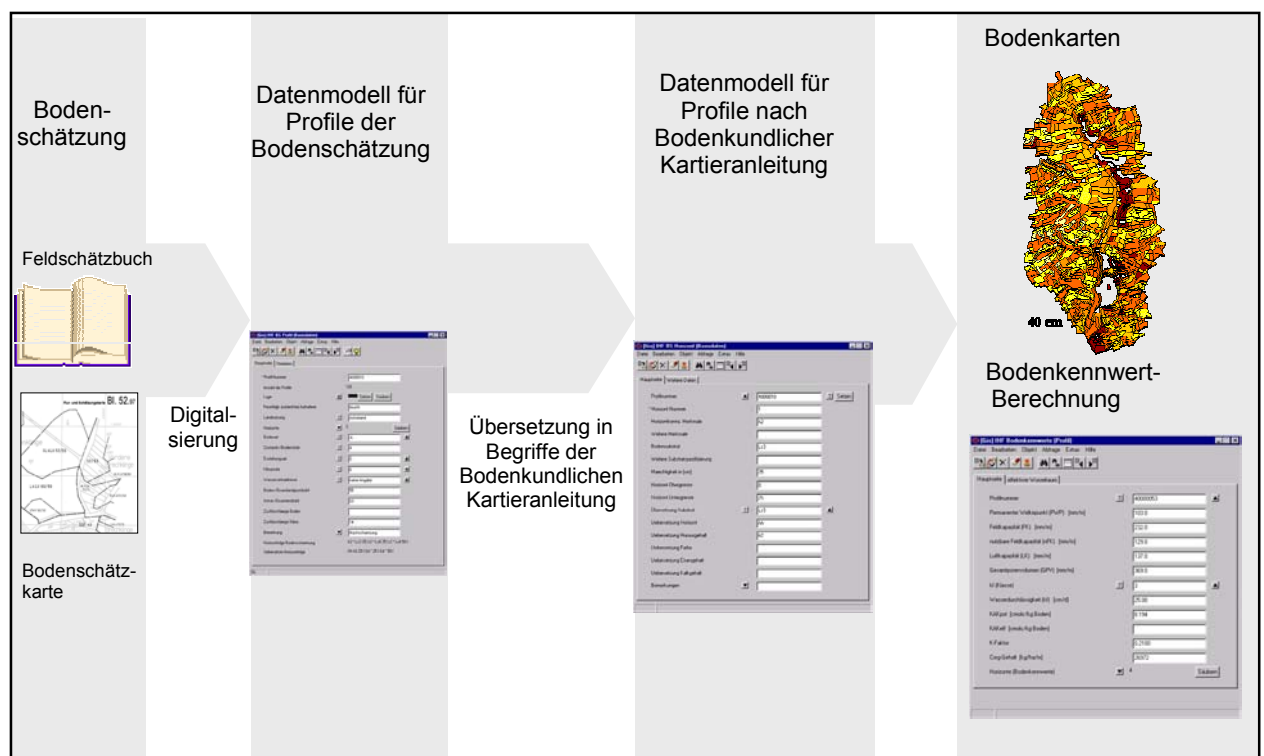


Abb. 5.9: Schematischer Ablauf der Aufbereitung der *Reichsbodenschätzung*

5.3.4 Bodenschätzflächen

Bei der Durchführung der Bodenschätzung wird der Bodenaufbau der landwirtschaftlichen Fläche durch Bohrungen im Abstand von 50 x 50 m bis zu einer Tiefe von 1 m erforscht, das Bohrprofil im Feldschätzbuch niedergelegt und Bereiche gleichen Aufbaus in Schätzungskarten festgehalten. Die hierbei ausgeschiedenen, zusammenhängenden Bodenflächen mit annähernd gleichen Merkmalen werden als **Klassenflächen** bezeichnet. Die Klassenflächen werden im BOMET in der Klasse *IHF BS Schaeztflaeche* mit den folgenden Informationen vorgehalten:

Die Hauptseite des Editors enthält

- Die Nummer der Schätzfläche als Schlüsselfeld der Klasse.
- Die Landnutzung der landwirtschaftlichen Fläche.
- Die Informationen des Klassenzeichens: Zustands-/Bodenstufe, Acker-/Grünlandgrundzahl, Acker-/Grünlandzahl, Entstehungsart, Bodenart und Klimastufe.

Der Untereditor *Geometrie-Daten* zeigt die automatisch ermittelten Geometrie-Parameter Umfang und Flächeninhalt. Zwei weitere Untereditoren enthalten schließlich die für die Schätzfläche berechneten Bodenkennwerte.

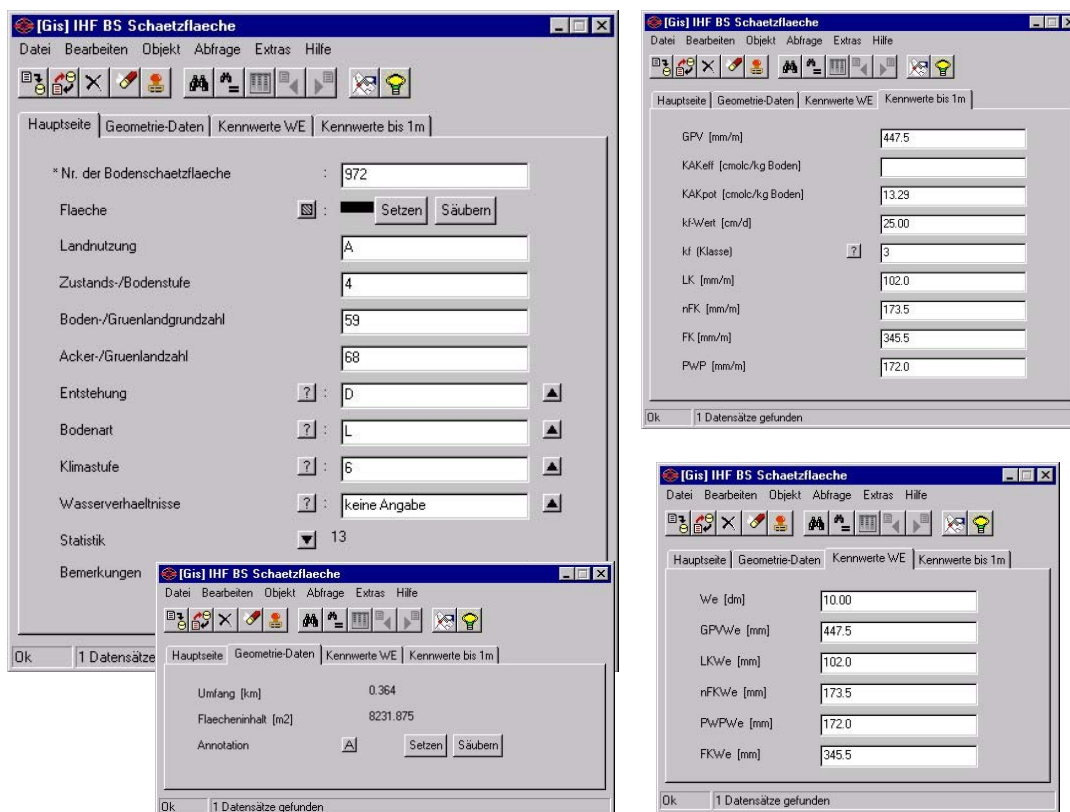


Abb. 5.10: Editor der Klasse *IHF BS Schaeztflaeche* und die Untereditoren *Geometrie-Daten*, *Kennwerte bis 1m* und *Kennwerte WE*

Eine Klassenfläche der *Reichsbodenschätzung* kann noch weiter unterteilt sein in Klassenabschnitte die zusammenhängende Bodenflächen mit abweichender Wertzahl darstellen und eigene bestimmende Grablöcher aufweisen. Deshalb kann eine Klassenfläche auch mehr als ein Profil enthalten das zur Kennwertberechnung herangezogen wird.

Die Kennwerte der Schätzflächen werden durch arithmetische Mittelung der Kennwerte aller innerhalb der Klassenfläche liegenden Bodenschätzprofile ermittelt. Daraus folgt, dass die Berechnung der flächenhaften Kennwerte erst nach Durchführung der Umschlüsselung der Bodenschätzprofile und anschließenden Berechnung der Profilkennwerte möglich ist. Analog zur Profil-Kennwertberechnung werden die Kennwerte für die Bodenschätzflächen jeweils für eine Profilmächtigkeit von 1 m und für den *effektiven Wurzelraum* bestimmt. Die folgenden Kennwerte werden für jede Bodenschätzfläche ermittelt:

- PWP, FK, nFK, LK, GPV, kf, KAK_{pot}, KAK_{eff}, We. Diese Kennwerte werden im Untereditor *Kennwerte bis 1m* vorgehalten.
- PWP_{We}, FK_{We}, nFK_{We}, LK_{We}, GPV_{We}. Die Kennwerte des effektiven Wurzelraums werden im Untereditor *Kennwerte WE* abgelegt.

Tab. 5.4: Die Felder der Tabelle *IHF BS Schaetzflaeche*

<i>Parameter</i>	<i>Erklärung</i>
Nr. der Bodenschaetzflaeche	Nummer der Bodenschätzfläche
Zustands-/Bodenstufe	Zustands-/Bodenstufe des repräsentativen Profils
Boden-/Gruenlandgrundzahl	Boden-/Grünlandgrundzahl des repräsentativen Profils
Acker-/Gruenlandzahl	Acker-/Grünlandzahl des repräsentativen Profils
Entstehung	Entstehungsart: Lo, V, Al, Lo, Alg, Vg, Me, D, X
Bodenart	Bodenart des repräsentativen Profils
Klimastufe	Klima in Stufen 1-10
Wasserverhaeltnisse	Wasserverhältnisse in Stufen: 1,2,3,4,4-,5,5-
Umfang	Umfang der Schätzfläche
Flaecheninhalt	Flächeninhalt der Schätzfläche
We [dm]	Effektive Durchwurzelungstiefe
GPV _{We} [mm]	Gesamtporenvolumen des <i>effektiven Wurzelraums</i>
LK _{We} [mm]	Luftkapazität des <i>effektiven Wurzelraums</i>
nFK _{We} [mm]	Nutzbare Feldkapazität des <i>effektiven Wurzelraums</i>
PWP _{We} [mm]	Permanenter Welkepunkt des <i>effektiven Wurzelraums</i>
FK _{We} [mm]	Feldkapazität des <i>effektiven Wurzelraums</i>
GPV [mm/m]	Gesamtporenvolumen
KAK _{eff} [cmolc/kg Boden]	Effektive Kationenaustauschkapazität
KAK _{pot} [cmolc/kg Boden]	Potentielle Kationenaustauschkapazität
kf-Wert [cm/d]	Gesättigte Wasserdurchlässigkeit
kf (Klasse)	Gesättigte Wasserdurchlässigkeit, Klassen 1-6
LK [mm/m]	Luftkapazität
nFK [mm/m]	Nutzbare Feldkapazität
FK [mm/m]	Feldkapazität
PWP [mm/m]	Permanenter Welkepunkt

Damit die räumliche Variabilität der Bodenkennwerte innerhalb der Bodenschätzflächen durch die Mittelung nicht verloren geht, werden für die Kennwerte der Schätzfläche noch zusätzliche statistische Parameter ermittelt, die in der Tabelle *IHF BS Schaetzflaeche Statistik* gespeichert werden. Sie ist als Kind einer 1:n Verknüpfung mit der Klasse *IHF BS Schaetzflaeche* verbunden und hält für jeden Bodenkennwert die folgenden statistischen Parameter vor:

- Die Anzahl der in der Fläche liegenden und der zur Kennwertberechnung verwendeten Profile .
- Maximum und Minimum des Kennwerts.
- Standardabweichung und Variationskoeffizient.

Der methodische Hintergrund bei der Berechnung der Bodenkennwerte und der statistischen Parameter stimmt mit den von EBERLE (1999A&B) für *Hydropedotope* implementierten Verfahren überein und wird in dieser Arbeit deshalb nicht weiter ausgeführt.

5.4 Einsatz der neuentwickelten GIS-Funktionalität

Zum Test des neu entwickelten Datenmodells für die Bodenschätzdaten sowie der implementierten Aufbereitungsverfahren wurde eine größere Anzahl an Bodenschätzprofilen digitalisiert, die Übersetzung bzw. Umschlüsselung der Profilbeschreibungen vorgenommen und anschließend die Bodenkennwertberechnung auf Grundlage der Bodenschätzflächen durchgeführt.

Um die Position der Bodenprofile zu digitalisieren wurde ein Teil der Bodenschätzkarten des in der *Staufener Bucht* liegenden Trinkwassergewinnungsgebietes der FEW gescannt. Die Karten wurden anschließend in den GIS-Datenbestand geladen und georeferenziert. Die z.T. relativ alten Karten der Bodenschätzung sind im früher üblichen *Soldner-Koordinatensystem* erfasst, wobei es heute üblich ist, die geografische Lage in *Gauss-Krüger-Koordinaten* anzugeben. Die Georeferenzierung ist vor allem dann von Bedeutung, wenn verschiedene thematische Ebenen in derselben Darstellung überlagert werden. Wenn bei einer Visualisierung der Bodenschätzflächen im GIS-Grafikfenster z.B. die Topografische Karte 1:5000 hinterlegt werden soll, um einen Bezug zu den umliegenden Städten herzustellen, ist es notwendig, dass die Koordinaten beider Kartenwerke übereinstimmen. Da die geografische Lage sämtlicher im WAQIS-Datenbestand vorgehaltener topografischer Karten in *Gauss-Krüger-Koordinaten* erfasst wurde, ist es sinnvoll die Bodenschätzkarten ebenfalls auf das *Gauss-Krüger-System* zu übertragen.

Anhand der Bodenschätzkarten konnte die genaue geografische Position der Profile am GIS-Grafikfenster erfasst, und die zugehörigen Feldschätzbucheinträge durch Eingabe in den entsprechenden Objekteditoren ins GIS übertragen werden. Die Flächengeometrie der Bodenschätzflächen stand bereits aus einer früheren Arbeit als *ARC-Shape-File* zur Verfügung und wurde vor Übernahme in den WAQIS-Datenbestand in ARC/INFO entzerrt und ebenfalls georeferenziert. Über die *ARC-Shape-Schnittstelle* von Smallworld-GIS wurden die Flächen als Objekte der Klasse *IHF BS Schaetzflaeche* in den GIS-Datenbestand importiert.

Abb. 5.11 gibt einen Überblick über die importierten Bodenschätzflächen sowie die Verteilung der digitalisierten Bodenschätzprofile. Die Profile liegen im Gebiet der *Staufener Bucht*, etwa in der Mitte zwischen *Bad Krozingen*, *Hartheim* und *Hausen an der Möhlin*. Da die Hauptfließrichtung des Grundwassers im Gebiet der *Staufener Bucht* Norden ist, liegen die Bodenschätzflächen im Einzugsgebiet des zur *Freiburger Energie- und Wasserversorgungs- AG (FEW)* gehörigen Wasserwerks in Hausen a. d. Möhlin.

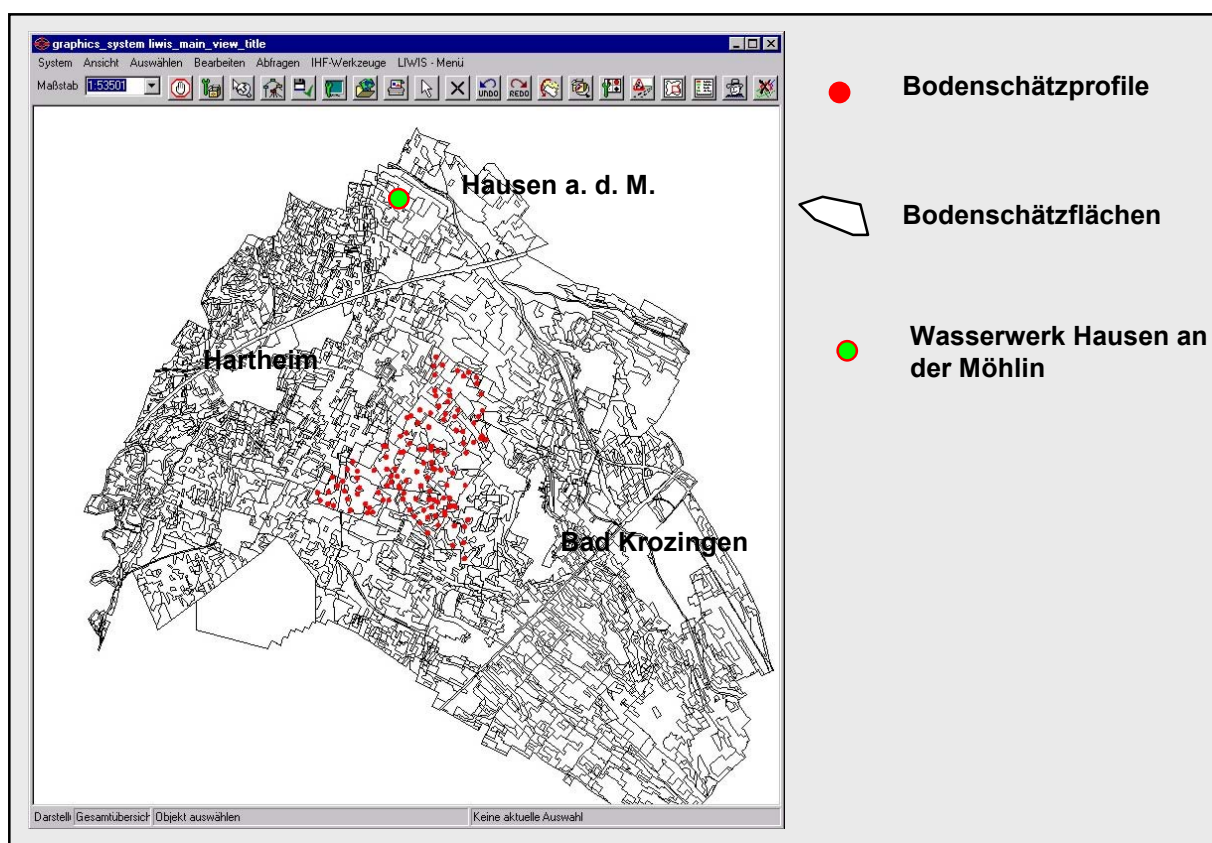


Abb. 5.11: Bodenschätzflächen und Bodenschätzprofile im Trinkwassergewinnungsgebiet Hausen

Nach abgeschlossener Digitalisierung der Bodenschätzprofile konnte die Übersetzung bzw. Umschlüsselung in die Bezeichnungen der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* durchgeführt werden. Dabei wurde die Bezeichnung des Bodensubstrats und die Horizontbezeichnung jedes Horizonts im System der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* bestimmt und bei Vorhandensein die Farbe, Humusgehalt und Kalkgehalt übersetzt.

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass der vom *Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung* entwickelte Übersetzungsschlüssel praktisch für jede im Feldschätzbuch auftretende Kombination an Bodenmerkmalen eine entsprechende Horizontbezeichnung nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung* liefert. Genauso konnte für die Bodenarten aller Bodenschätzhorizonte eine Entsprechung im Bodentartenschlüssel der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* gefunden werden.

Auf Basis des durch die Übersetzung entstehenden Satzes an Profilbeschreibungen in den heute üblichen bodenkundlichen Bezeichnungen können die, für hydrologische Modellierungen und Auswertungen notwendigen Kennwerte des Bodenwasserhaushalts und der Bodenchemie berechnet werden. Abbildung 5.12 zeigt einen Vergleich zwischen den gesättigten Wasserdurchlässigkeiten (kf-Wert) die einerseits auf Basis der *Bodenschätzflächen* (linker Ausschnitt) und zudem auf Grundlage von *Hydropedotopen* (rechts) ermittelt wurden.

Als *Hydropedotope* werden Flächen bezeichnet, in denen die Bodenkennwerte weitgehend einheitlich ausgeprägt sind. Sie stellen, ausgehend von den bei der *bodenkundlichen Kartierung* ausgeschiedenen *Bodentypflächen* eine Verfeinerung der Flächen hinsichtlich der räumlichen

Variabilität der Bodenkennwerte dar. Sie repräsentieren also die sich aus den Profilen der *bodenkundlichen Kartierung* ergebende Verteilung der Bodenkennwerte.

Der dargestellte Gebietsausschnitt aus dem Gebiet der *Staufener Bucht* stimmt in beiden abgebildeten Grafiken überein. Die weißen Flächen sind Bodenschätzflächen die nicht in die Kennwertberechnung mit einbezogen wurden.

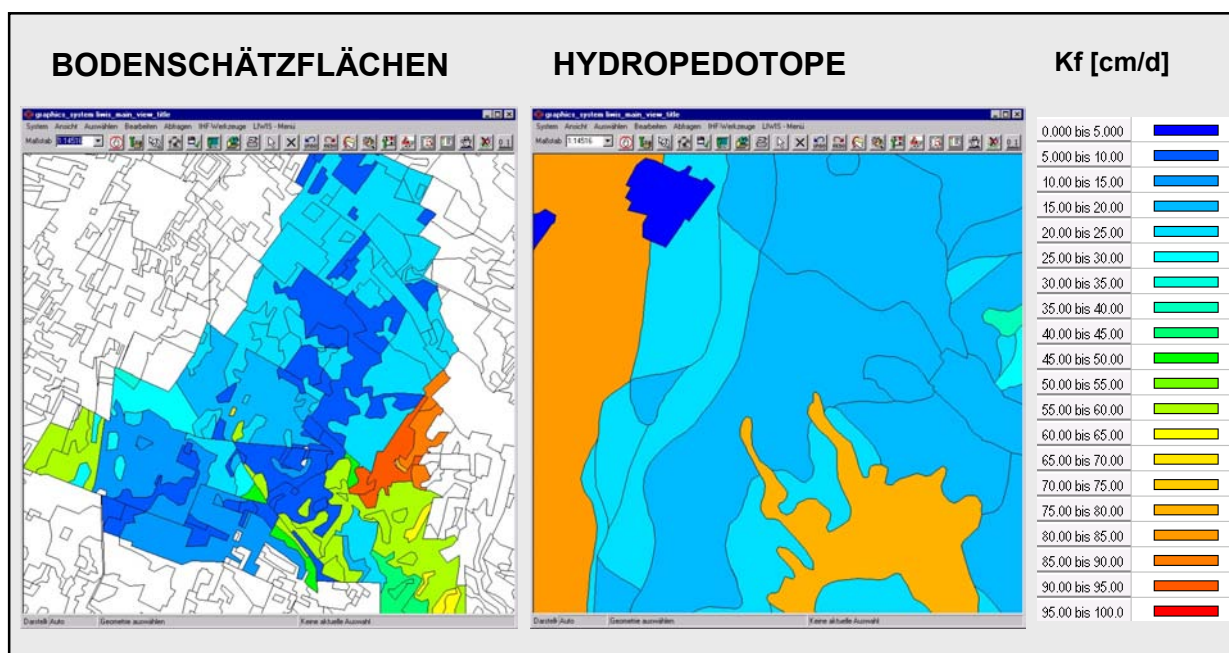


Abb. 5.12: Kf-Wert-Verteilung des selben Gebietsausschnittes ermittelt auf Basis von *Bodenschätzflächen* und von *Hydropedotopen*. Weiße Flächen sind Bodenschätzflächen für die kein Kf-Wert ermittelt wurde.

Auf den ersten Blick fällt die äußerst hohe Auflösung der *Bodenschätzflächen* im Vergleich zu den *Hydropedotopen* auf. Aus der extrem engen Verteilung der Bodenschätzprofile leiten sich Flächen gleicher Bodenverhältnisse ab, die oft nicht länger als 50 m sind, während sich aus dem relativ grobmaschigen Netz der *bodenkundlichen Kartierungen* *Hydropedotope* von nicht selten mehreren Kilometern Länge ergeben. Der Vergleich der berechneten Wasserdurchlässigkeiten erweist sich aufgrund des Größenunterschieds zwischen den zwei Basis-Flächeneinheiten als relativ schwierig. Bei beiden Darstellungen ist zumindest eine erhöhte Leitfähigkeit im Westen und im Südosten erkennbar. Auf eine Untersuchung bzw. Erklärung der räumlichen Verteilung der Wasserdurchlässigkeit wird hier verzichtet, da das eigentliche Ziel nicht die geowissenschaftliche Erforschung des Gebietes war, sondern ausschließlich die Tauglichkeit der entwickelten GIS-Funktionalität geprüft werden sollte.

Als Ergebnis der Funktionalitätsprüfung sei festgestellt, dass die *Reichsbodenschätzung* unter Zuhilfenahme der Aufbereitungsverfahren des bodenkundlich - meteorologischen Moduls BOMET durchaus als Datengrundlage für die Berechnung von Bodenkennwerten und damit für die Zwecke des WAQIS-Projektes geeignet ist. Das integrierte Übersetzungsverfahren konnte für alle im Versuchsgebiet liegenden Bodenschätzprofile eine Übersetzung der Bodenbeschreibung in die Begriffe der *bodenkundlichen Kartieranleitung* ermitteln. Demzufolge war es auch möglich für das Testgebiet auf

Basis der *Bodenschätzung* eine flächendeckende Verteilung der Bodenkennwerte zu berechnen, womit das eigentliche Ziel erreicht ist.

5.5 Fazit

Durch die Integration der *Reichsbodenschätzung* ins BOMET wurden in dieser Arbeit die Voraussetzungen geschaffen, um die *Bodenschätzung* in Zukunft als zweite bodenkundliche Datenquellen vorzuhalten. Dadurch steht dem GIS-Nutzer nun mit der *Bodenschätzung* eine Alternative bzw. Ergänzung für die Daten der *bodenkundlichen Kartierung* zur Verfügung. Da die Durchführung einer Neukartierung sehr aufwendig ist und den finanziellen Rahmen der meisten Forschungsprojekte sprengen würde, bietet es sich an, bei fehlender *bodenkundlicher Kartierung* auf andere bereits bestehende Datenquellen zurückzugreifen. Zu diesem Zweck ist die *Reichsbodenschätzung* hervorragend geeignet, da sie für wissenschaftliche Nutzung frei zur Verfügung steht und darüber hinaus flächendeckend für die Bundesrepublik vorliegt. Zudem ist die Verteilung der Bodenschätzprofile weit höher aufgelöst als die Verteilung der Profile aus Kartierungen nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung*.

Die ursprünglichen Bezeichnungen und Signaturen der Bodenschätzung, deren eigentlicher Verwendungszweck die gerechte Besteuerung von landwirtschaftlicher Grundfläche ist, sind aus bodenkundlicher Sicht veraltet und deshalb in unaufbereiteter Form nicht für wissenschaftliche Zwecke zu gebrauchen. Erst durch die, während dieser Diplomarbeit ins BOMET integrierten Aufbereitungsverfahren kann die *Reichsbodenschätzung* nun auch für die Berechnung von Bodenkennwerten eingesetzt werden.

Die direkt aus dem Feldschätzbuch der Bodenschätzung übertragenen Profilbeschreibungen werden im BOMET automatisch in die heute gängigen Bezeichnungen der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* übersetzt. Die Umschlüsselung wird nach dem, vom *Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung* herausgegebenen Übersetzungsschlüssel durchgeführt. Der umfangreiche Übersetzungsschlüssel, der im *Niedersächsischen Bodeninformationssystem NIBIS* Anwendung findet, wurde hierzu komplett in den GIS-Datenbestand übernommen. Das Ergebnis der Umschlüsselung ist die Bodenart und die Horizontbezeichnung nach der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* sowie die Übersetzung weiterer Horizontmerkmale. Bei der Entwicklung von BOMET wurde versucht Redundanz, d.h. die Mehrfachimplementierung der gleichen Strukturen, zu vermeiden. Die übersetzte *Reichsbodenschätzung* wird daher nicht in einer eigenen Objektklasse vorgehalten sondern wird in das Datenmodell der *Bodenkundlichen Kartierung* übertragen. Demzufolge können die bereits implementierten Kennwertberechnungsmethoden auch für die Bodenschätzdaten angewandt werden.

Das Teilziel dieser Arbeit, die durch die *Reichsbodenschätzung* zu steuerlichen Zwecken ermittelten bodenkundlichen Informationen für die Zwecke des WAQIS-Projekts nutzbar zu machen, wurde somit erreicht. Es bleibt in Zukunft dem Anwender überlassen, ob er für die Berechnung hydrologischer Parameter wie der Grundwasserneubildung, die aus der ausführlicheren *bodenkundlichen Kartierung* berechneten Bodenkennwerte oder die aus der höher aufgelösten *Reichsbodenschätzung* abgeleiteten Kennwerte verwendet. Vor allem aber bei Fehlen der *bodenkundlichen Kartierung* stellt die *Boden-*

schätzung eine umfangreiche und kostengünstige Alternativdatenquelle dar.

Es bleibt festzuhalten dass die Genauigkeit der Übersetzung der *Bodenschätzung* durch die Anwendung eines regionalspezifischen Übersetzungsschlüssels noch verbessert werden könnte. Wie auch andere Projekte gezeigt haben, übersteigt der hierfür notwendige Aufwand jedoch den Rahmen dieser Arbeit. Die Erstellung eines Übersetzungsschlüssels für die Trinkwassergewinnungsgebiete der FEW ist ein denkbare Thema für eine nachfolgende (Diplom-) Arbeit.

6 Die Entwicklung eines Visualisierungswerkzeuges für BOMET

6.1 Einleitung

Die grafische Darstellung von raumbezogenen Daten, wie z.B. die in Abbildung 6.2 dargestellte Verteilung der Bodenarten eines Teilgebiets der *Staufener Bucht*, ist eine der Hauptfunktionen eines Geoinformationssystems. Das Ziel einer Visualisierung ist es, durch eine geeignete visuelle Repräsentation einer gegebenen Datenmenge eine effektive Auswertung zu ermöglichen. Die Visualisierung soll den Anwender in die Fähigkeit versetzen räumliche Zusammenhänge zu erkennen, zu verstehen und zu bewerten.

Die flächenhafte Darstellung von Parametern wie Messwerten oder Modellierungsergebnissen ermöglicht es dem GIS Nutzer einen schnellen Überblick über die räumliche Verteilung der Werte zu gewinnen. Oft ist es erst durch die grafische Darstellung möglich, die in den Daten verborgenen Zusammenhänge wie beispielsweise räumliche Trends und Verläufe zu erfassen.

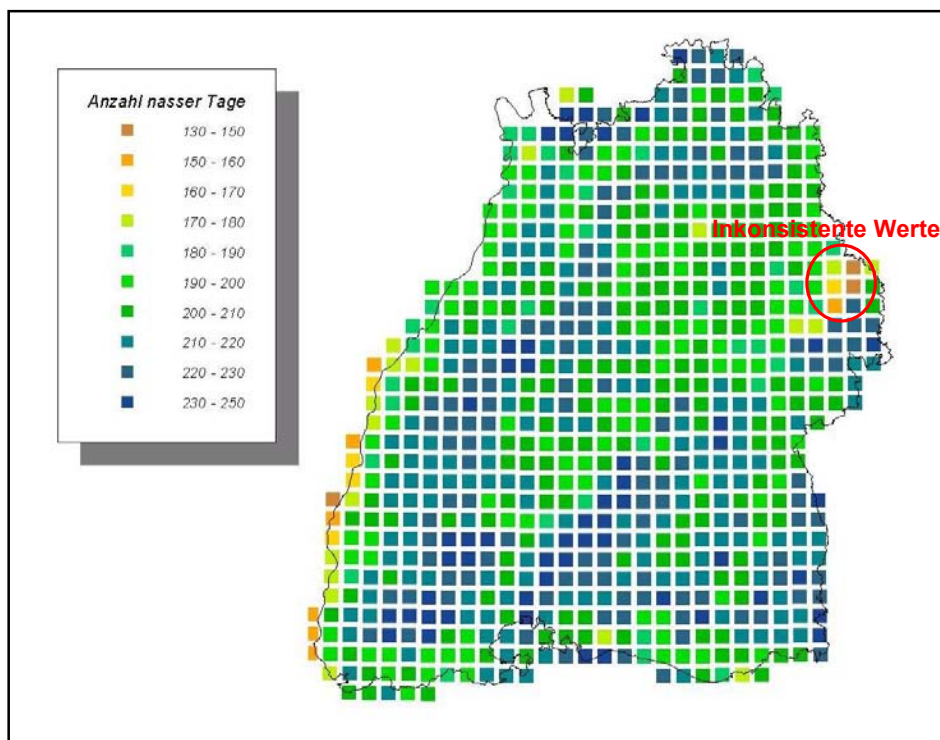


Abb. 6.1: Ein Beispiel für inkonsistente Daten. Dargestellt ist die Verteilung der jährlichen Anzahl nasser Tage in Baden-Württemberg. Verändert nach KOTLARSKI (2001).

Die Visualisierung ist zudem ein wichtiges Hilfsmittel zur Auffindung von Inkonsistenzen in den verwendeten Daten, die möglicherweise zu Fehlentscheidungen führen können.

Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 6.1 das Beispiel einer inkonsistenten Verteilung von Niederschlagshäufigkeiten dargestellt. Die Abbildung zeigt die flächenhafte Verteilung der jährlichen Anzahl ‚nasser‘ Tage in Baden-Württemberg mit einer Pixelauflösung von 7 auf 7 km.

Den Daten zufolge treten in dem rot umrandeten Gebiet in benachbarten Pixeln Unterschiede der jährlichen Anzahl nasser Tage von 100 Tagen auf. Ein Vergleich mit den topografischen Begebenheiten in diesem Gebiet erbrachte allerdings keine Erklärung für die Unterschiede. Bei ausgiebiger Überprüfung der Daten wurde festgestellt, dass bei der Regionalisierung der Niederschlagsdaten Fehler aufgetreten sind. Bei tabellarisch vorliegenden Messwerten wäre es unwahrscheinlich diese fehlerhaften Werte zu identifizieren. Die Korrektheit der Daten ist in der Regel allein aus der Interpretation der Zahlenkolonnen nicht ableitbar. Erst wenn durch die grafische Darstellung die Messwerte im räumlichen Zusammenhang gesehen werden können ist es möglich widersprüchliche Werte auszuscheiden, da diese im Gesamtbild der Parameterverteilung auffallen.

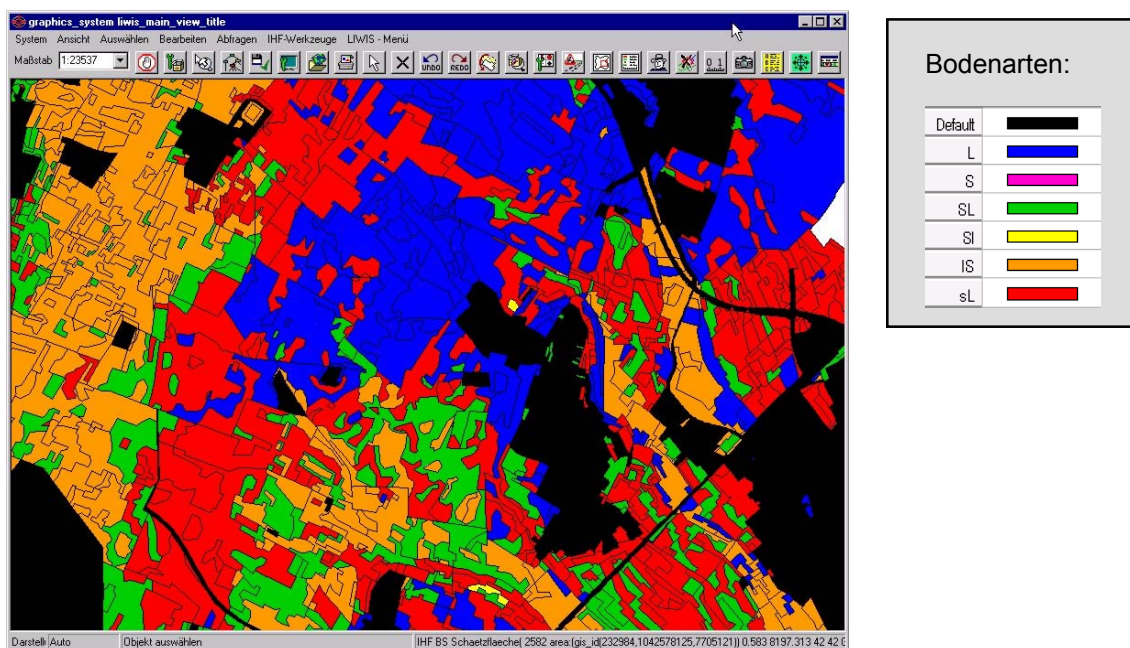


Abb. 6.2: Verteilung der Bodenarten in der Staufener Bucht. Dargestellt sind die Bodenarten aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung

Eine weitere Zielsetzung des Einsatzes der Visualisierungsmöglichkeiten von Geoinformationssystemen ist die Erstellung thematischer Karten, die die Verteilung eines Parameters über einen bestimmten Raum wiedergeben. Abbildung 6.2 zeigt eine, mit den in dieser Arbeit für BOMET entwickelten Visualisierungswerkzeugen erstellte Visualisierung der Verteilung der Bodenarten in einem Teilgebiet der *Staufener Bucht*. Als weiteres Beispiel seien z.B. die digitalen Karten des *Hydrologischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland* genannt, die die Verteilung hydrologisch relevanter Parameter wie Gewässernetzdichte, Bodenart, Niederschlag und Verdunstung für den Großraum Deutschland zum Thema haben.

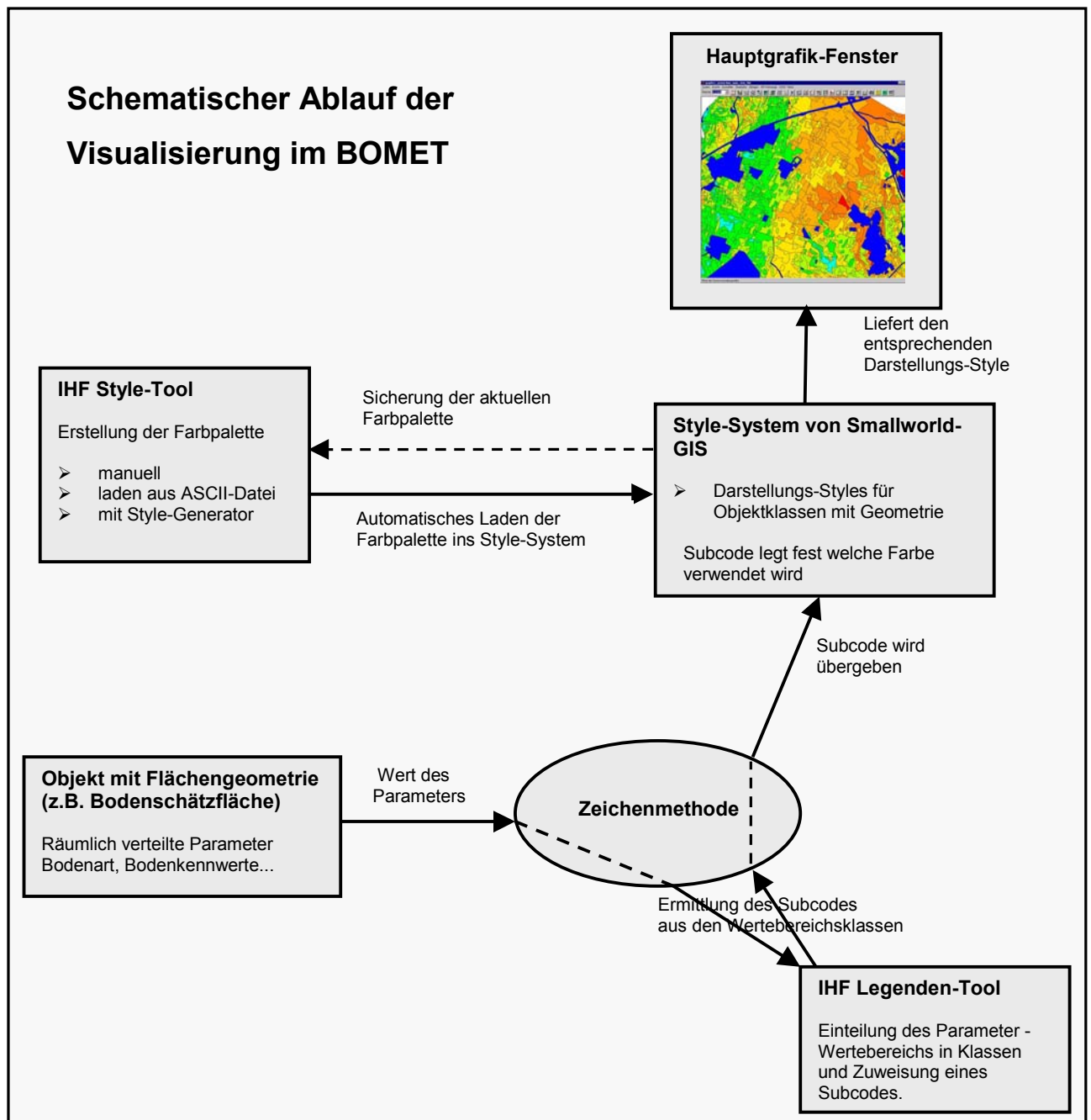


Abb. 6.3: Schematischer Ablauf der Visualisierung im BOMET

6.2 Zielsetzung und Vorgehensweise bei der Entwicklung der Visualisierungswerkzeuge

Mit der Entwicklung der Visualisierungswerkzeuge für das bodenkundlich – meteorologische Modul BOMET sollten die folgenden Zielsetzungen erreicht bzw. Vorgaben erfüllt werden:

- Die entwickelte Funktionalität soll allgemein verwendbar sein: Die Werkzeuge sollen nicht nur für die grafische Darstellung von Attributen einer Objektklasse zur Verfügung stehen, sondern auf beliebige Klassen anwendbar sein. Es soll möglich sein, jegliche Art von räumlich verteilten Parametern grafisch darzustellen. Damit eingeschlossen ist ein zentrales Steuerungselement als Ausgangspunkt der Visualisierung in BOMET, das Zugriff auf alle Werkzeuge ermöglicht und den Anwender mit den notwendigen Informationen versorgt.
- Für die grafische Darstellung im GIS ist eine Zeichenmethode notwendig, die die Verbindung zwischen dem Style-System, den Legenden und dem Wert des darzustellenden Parameters herstellt. Standardmäßig hat jede Objektklasse ihre eigene Zeichenmethode. Die bei der Visualisierung im BOMET verwendete Zeichenmethode soll dagegen für beliebige Objektklassen Verwendung finden.
- Die Werkzeuge sollen bei der Erstellung von Farbpaletten für die grafische Darstellung behilflich sein.
- Der Anwender soll bei der Erstellung der notwendigen Darstellungslegenden unterstützt werden.
- Es soll möglich sein, die erstellten Farbpaletten und Darstellungslegenden zu sichern und für die Wiederverwendung vorzuhalten. Dadurch wird es möglich, für die Darstellung des selben Parameters einer Objektklasse verschiedene Visualisierungsvarianten vorzuhalten, auf die bei Bedarf zugegriffen wird. Die Standardwerkzeuge von Smallworld GIS sehen für die Darstellung eines Parameters nur die Vorhaltung einer Variante vor.

Die Abbildung 6.3 gibt einen schematischen Überblick über die Darstellungswerkzeuge in BOMET und den Ablauf der Visualisierung. Um die Wiederverwendbarkeit der Visualisierungs-Werkzeuge zu gewährleisten sind die im BOMET für die Visualisierung entwickelten Hilfsmittel und Werkzeuge gekapselt. Das heißt, anstatt die Methoden aufbauend auf einer speziellen Objektklasse wie z.B. *IHF Hydropedotop* oder *IHF BS Schaetzflaeche* zu implementieren wurden unabhängige Style- und Legenden-Objektklassen erzeugt und die Zeichenmethoden in sogenannte *Mixins* geschrieben. *Mixins* sind Klassen, die zur Definition allgemein verwendbarer Methoden dienen. Falls die Methoden eines *Mixins* für eine Objektklasse von Interesse sind werden die Funktionen des *Mixins* an die Klasse vererbt und stehen ihr damit zur Verfügung, ohne dass sie neu zu programmieren sind.

Durch die Kapselung ist es prinzipiell möglich die Funktionen der BOMET-Visualisierungswerkzeuge jeder Objektklasse, die eine Flächengeometrie aufweist zur Verfügung zu stellen. Im BOMET sind dies zunächst die Objektklassen der bodenkundlichen Flächeneinheiten *Hydropedotop*, *Bodentypfläche* und *Bodenschätzfläche*

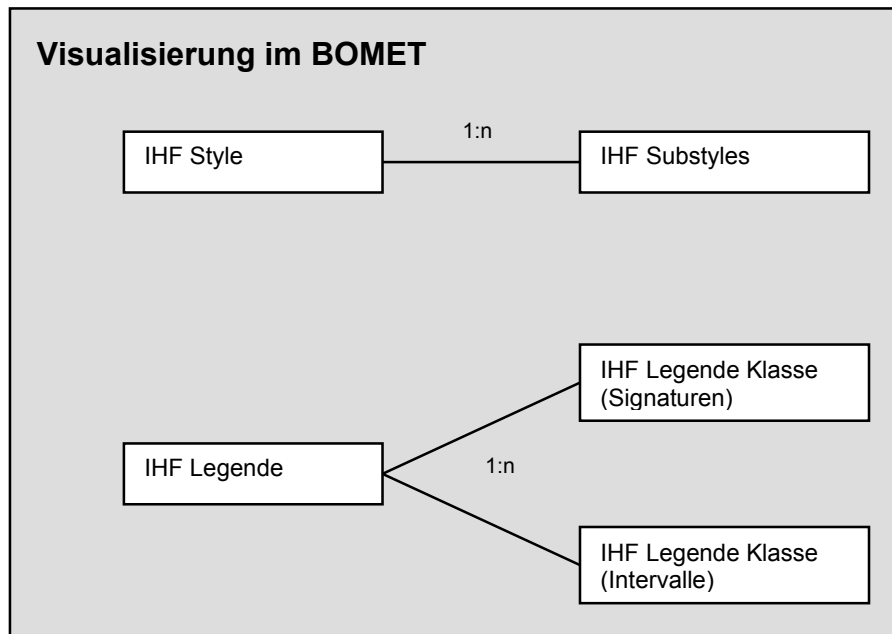


Abb. 6.4: Datenmodell für die Visualisierung im BOMET

6.3 Der zentrale Darstellungsektor als Ausgangspunkt der Visualisierung im BOMET

Den Ausgangspunkt der Visualisierung im BOMET bildet ein zentraler Editor, der verschiedene Auswahlmöglichkeiten bietet, Informationen für die grafische Darstellung zur Verfügung stellt und Zugriff auf alle im Zusammenhang mit der Visualisierung stehenden Funktionen und Hilfsmitteln gewährt. Er steht allen Flächenobjekten im BOMET zur Verfügung und kann durch den Button *„Grafische Darstellung“* im Menü *„Extras“* initialisiert werden.

Den Kopf des Visualisierungs-Editors bilden Auswahlfelder zur Selektion des darzustellenden Parameters und der Darstellungsweise.

Ausgewählt werden können:

- Die den Parameter enthaltende Objektklasse (z.B. *IHF BS Schaetzflaeche*).
- Das Flächengeometriefeld dieser Objektklasse, das die räumliche Auflösung liefert (z.B. *Flaeche*).
- Die für die Ausgabe verwendete Zeichenanwendung (z.B. *Plot-Schwarz/weiß* um zu Drucken oder die Standard-Zeichenanwendung *Default* für die Bildschirmausgabe).
- Der Parameter dessen räumliche Verteilung für den Anwender von Interesse ist (z.B. gesättigte Wasserdurchlässigkeit kf).

Nach Auswahl dieser Parameter erhält der Benutzer Informationen zum Vorhandensein bzw. zur Anzahl der vorhandenen Farbpaletten und Legenden, den Namen der derzeit aktivierten Legende und die Anzahl der Wertebereichsklassen dieser Legende.

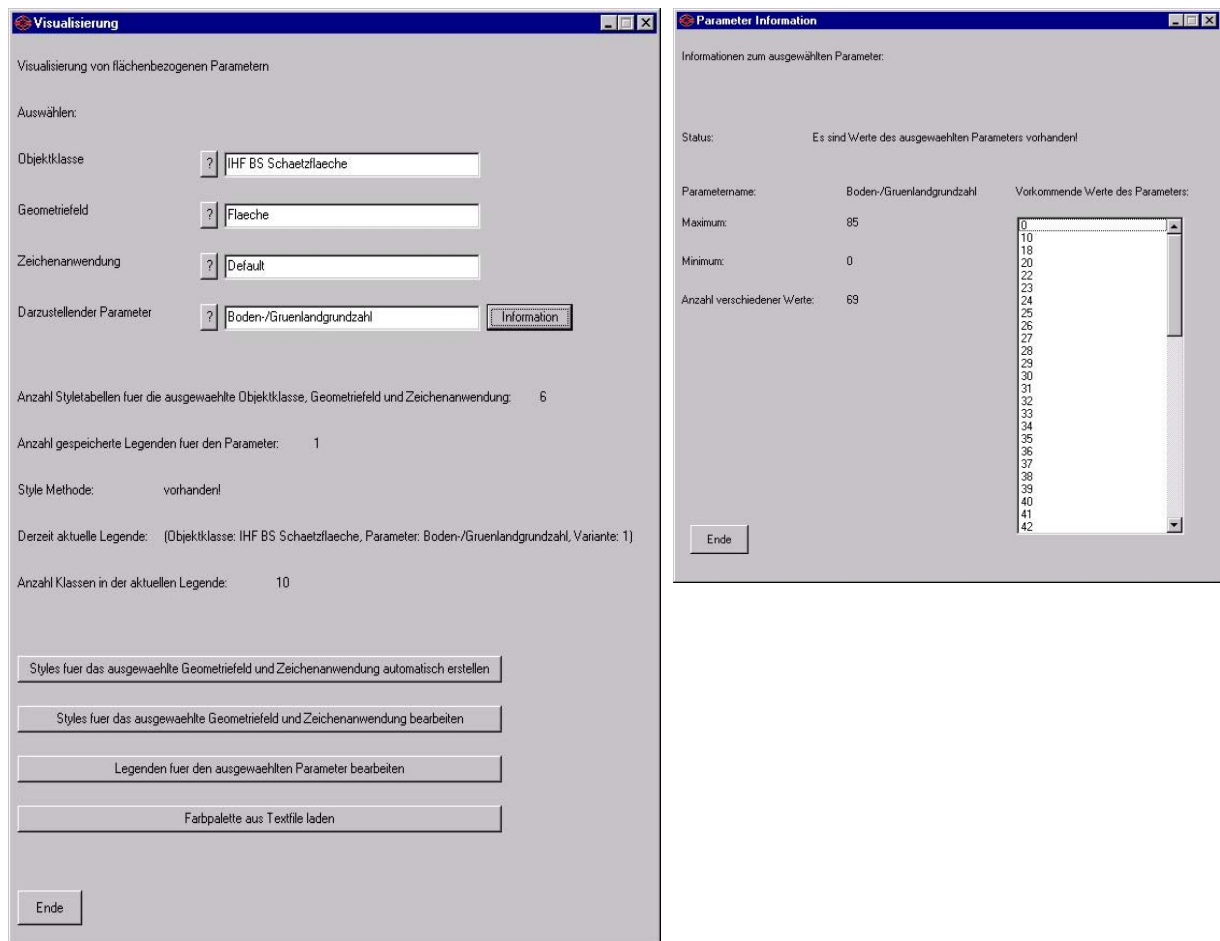


Abb. 6.5: Der zentrale *Visualisierungs-Editor* und der Untereditor *Parameter Informationen*

Um den Wertebereich des ausgewählten Parameters bei der Legendenerstellung (vgl. Kap. 5.2) in Wertebereichsklassen einzuteilen, denen bei der grafischen Darstellung jeweils eine bestimmte Farbe zukommt, sind statistische Informationen hilfreich. Ein Untereditor des Visualisierungs-Editors gibt dem Anwender hierzu Auskunft, indem er alle vorkommenden Parameterwerte in eine Liste ausgibt, die Anzahl verschiedener Werte bestimmt, und falls es sich um einen numerischen Kennwert handelt, Maximum und Minimum ermittelt. Diese Information erleichtert es, den von der Legende abzudeckenden Wertebereich abzugrenzen und die optimale Klassenverteilung zu bestimmen.

Durch Betätigung von vier Buttons können von der Hauptseite des Visualisierungs-Editors verschiedene Werkzeuge und Hilfsmittel aktiviert werden:

Der Button *„Styles für das ausgewählte Geometriefeld und Zeichenanwendung automatisch erstellen“* startet den *IHF Style-Generator* dessen Funktionen in Kapitel 5.3 erläutert sind.

Die Buttons *„Styles für das ausgewählte Geometriefeld und Zeichenanwendung bearbeiten“* und *„Legenden fuer den ausgewählten Parameter bearbeiten“* erlauben den Zugriff auf die Teilmodule *Style-Tool* und *Legenden-Tool*. Falls bisher keine Farbpaletten für die Zeichenanwendung oder Legenden für den ausgewählten Parameter angelegt wurden besteht die Möglichkeit jeweils einen neuen Daten-

bank-Eintrag erstellen zu lassen oder den entsprechenden Objekteditor leer zu öffnen. Ansonsten wird der Style bzw. Legenden-Editor mit einem bestehenden Eintrag geöffnet.

Schließlich kann über einen weiteren Button die *Farbpaletten-Schnittstelle* aufgerufen werden. Mit der *Farbpaletten-Schnittstelle* können Styles bzw. Farbpaletten für Flächengeometrien mit und ohne Schraffur aus ASCII-Dateien direkt in die Style-Datenbankpartition eingelesen werden. Das verwendete Farbmodell ist analog zur Farbpalettenerstellung im Style-Tool das *RGB-Modell* (Rot, Grün, Blau), die Farbstufen werden in Form von Zahlen von 0-255 oder prozentual von 0-100 angegeben. Weitere Informationen zu den notwendigen Eingaben, zur Handhabung der Schnittstelle und zum Format der Importdatei können der Arbeit von EBERLE (1999B) entnommen werden.

6.4 Das Style-Tool

Die Darstellung der gesamten Geometrie im Smallworld GIS, sei es bei der Darstellung auf dem Bildschirm oder bei einem Plot, wird durch das **Style-System** gesteuert. Das Style-System bestimmt, wie die Geometrien und Attribute für jede Objektklasse hinsichtlich des Maßstab-Bereichs, der Form, der Farbgebung, der Schattierung, usw. wiedergegeben werden.

Die Style-Datenbankpartition ist ebenso wie die GIS-Datenbankpartition alternativen-/ versionsverwaltet. Dadurch kann ein Benutzer Änderungen an Style-Daten vornehmen, während andere Benutzer Zugang zu der ursprünglichen Version der Daten erhalten können.

Das Style-System verfügt über fünf Geometrie-Style-Typen:

→ Linie, Fläche, Text, Punkt und Raster.

Alle Styles gehören zu diesen fünf Typen, je nach Geometrie-Art des Attributs, für das sie erzeugt werden. Jede Style-Definition besteht aus einer gewissen Anzahl an **Substyles**, denen jeweils ein sogenannter **Subcode** zugeordnet ist. Der Subcode dient zur eindeutigen Identifizierung des Substyles beim Zeichenvorgang.

Da in die Auswertungsverfahren im BOMET die räumliche Verteilung der Bodenkennwerte eingeht, sind vor allem die Styles für Flächengeometrien von Interesse. Die im BOMET vorgehaltenen bodenkundlichen Flächen *Hydropedotop*, *Bodenschätzfläche* und *Bodentypfläche* sind vom Typ *area*, das heißt sie besitzen eine Flächengeometrie, die durch ein umschließendes Polygon festgelegt wird.

Um die räumliche Verteilung eines Bodenkennwertes im Hauptgrafikfenster des GIS darzustellen ist es notwendig, im Style-System eine ausreichende Anzahl an **Substyles** festzulegen, die durch eine Legende mit einem Wertebereich eines Bodenkennwerts verknüpft werden. Ein einfaches Beispiel wäre z.B. einer gesättigten Wasserdurchlässigkeit von 0 bis 50 cm/d die Farbe Blau, einer Durchlässigkeit von 50 bis 100 cm/d die Farbe Grün usw. zuzuordnen oder zur Darstellung der Bodenartenverteilung an jede auftretende Bodenart einen anderen Farbton zu vergeben.

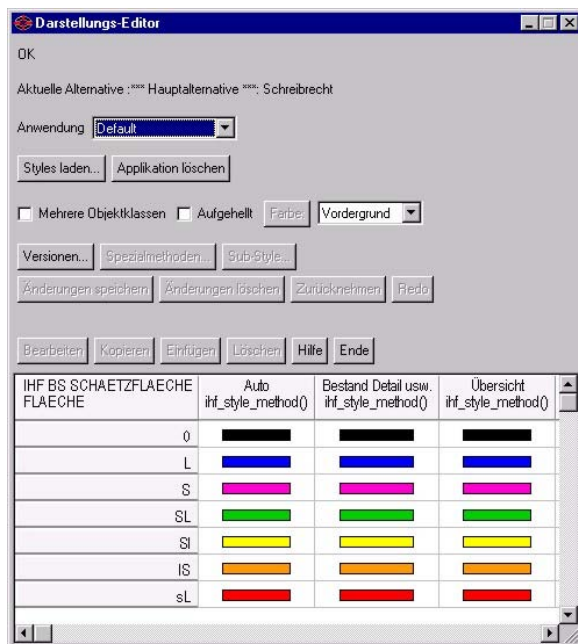


Abb. 6.6: Der Style-Editor (Darstellungs-Editor) von Smallworld-GIS

Zum Erzeugen, Editieren und Löschen von Styles verfügt das Style-System von Smallworld-GIS über einen *Style-Editor* (in der deutschen Version *Darstellungs-Editor*), der in einer tabellarischen Übersicht die Styles für die jeweils ausgewählte Objektklasse anzeigt und verschiedene Funktionen zur Bearbeitung anbietet. Er wird z.B. direkt eingesetzt, um die Farbe oder Liniendicke zu ändern, mit der ein Fluss oder eine Straße dargestellt wird. Abbildung 6.6 zeigt einen Ausschnitt aus dem Darstellungs-Editor von Smallworld-GIS mit der Liste der Styles, die für die grafische Darstellung der Bodenartenverteilung in Abbildung 6.2 verwendet wurden.

Um die Farbpalette häufig zu wechseln und neue Paletten zu definieren ist der Darstellungs-Editor relativ unhandlich zu verwenden. Es können beispielsweise in derselben Alternative nicht mehrere Farbpaletten für dasselbe Geometriefeld einer Objektklasse vorgehalten werden, zwischen denen je nach Bedarf gewechselt wird. Eine mögliche Lösung ist es jeweils eine neue Alternative in der Style-Datenbank zu erstellen was aber unpraktisch und unübersichtlich ist. Aus diesem Grund bietet BOMET das **Style-Tool** als Werkzeug für die Erstellung, und Speicherung von Darstellungs-Styles an.

Das Datenmodell für die Vorhaltung von Darstellungs-Styles gliedert sich in die Klassen *IHF Style* und *IHF Substyles*, die durch eine 1:n Verknüpfung miteinander verbunden sind. Die Klasse *IHF Substyles* ist die Kindobjektklasse dieser Verknüpfung (vgl. Abb. 6.4).

Die Rahmeninformation der Farbpaletten wird in der Klasse *IHF Style* gespeichert:

Die Felder *Objektname* und *Geometrie* legen die Objektklasse und die Flächengeometrie fest, für die die hier definierten Styles später in das Style-System geladen werden. Die Zeichenanwendung bestimmt den ‚Verwendungszweck‘ der Styles (z.B. *Plot-Default* und *Plot-Schwarz/weiß* als spezielle Zeichenanwendungen zum Drucken oder die Standard-Zeichenanwendung *Default* die zur Darstellung der Geometrien in allen Grafiksystemen und bei der Plotausgabe benutzt wird). Ein weiteres Schlüs-

selfeld der Tabelle *IHF Style* ist das Feld *Variante*, in dem die Farbpalette mit einer Nummer oder einem Namen versehen wird. Dadurch ist es möglich verschiedene Farbpaletten-Varianten für das selbe Geometriefeld zu verwalten, die bei Bedarf geladen werden.

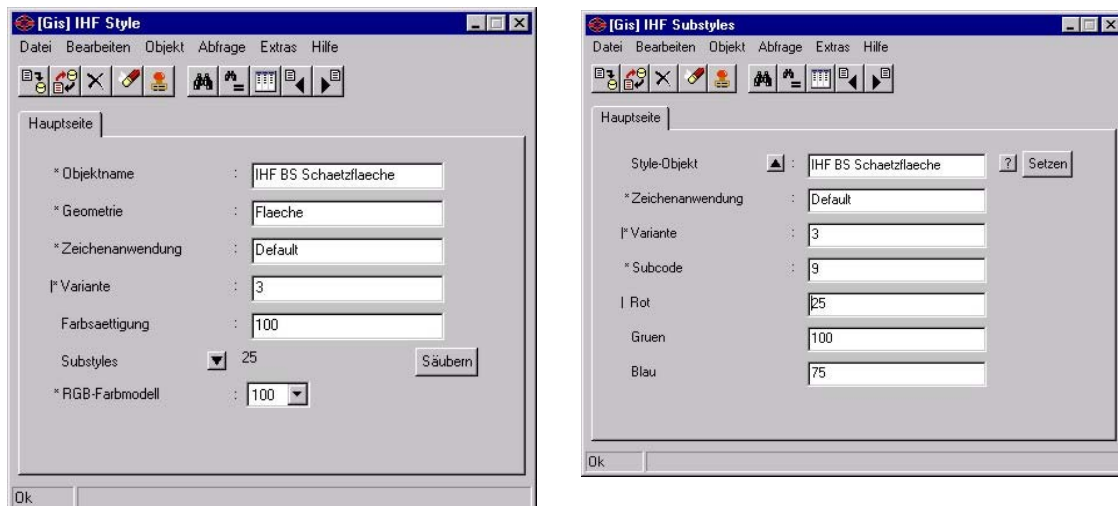


Abb. 6.7: Die Editoren der Klassen *IHF Style* und *IHF Substyles*

Das Feld *RGB-Farbmodell* bestimmt das, für die Definition der Farbwerte verwendete Farbmodell. Es stehen zwei Farbmodelle zur Auswahl: *RGB 100* und *RGB 255*. Beim RGB Farbmodell ergibt sich eine Farbe durch das Mischungsverhältnis der Grundfarben Rot, Grün und Blau. Der Anteil der Farben wird je nach Farbmodell prozentual (RGB 100) oder durch einen Wert von 0 bis 255 (RGB 255) angegeben, wobei 100 bzw. 255 den Vollton der Farbe bedeuten und bei 0 die Farbe nicht verwendet wird. Werden z.B. gleiche Teile von Rot, Grün und Blau addiert, ergibt sich Weiß mit dem RGB 100-Farbcode (100, 100, 100) bzw. dem RGB 255-Farbcode (255, 255, 255). Weitere Beispiele gibt Tabelle 6.1.

Tab. 6.1: Beispiele für Farben im RGB Farbcode

Farbe	RGB 100 – Code	RGB 255 - Code
Weiß	100 100 100	255 255 255
Schwarz	0 0 0	0 0 0
Rot	100 0 0	255 0 0
Gruen	0 100 0	0 255 0
Blau	0 0 100	0 0 255

Im Feld *Farbsaettigung* kann zusätzlich Einfluss auf die prozentuale Sättigung der Farben der Farbpalette durch eine Zahl zwischen 0 und 100 (volle Sättigung) genommen werden.

Tab. 6.2: Die Felder der Tabelle *IHF Style*

<i>Parameter</i>	<i>Erklärung</i>
Objektname	Name des Objekts für das die Styles definiert werden
Geometrie	Name des darzustellenden Geometriefelds
Zeichenanwendung	Name der Zeichenanwendung (z.B. Default, Auto ...)
Variante	Variantenname unter dem die Styles gespeichert werden
Farbsaettigung	Wert der Farbsättigung (1-100)
RGB-Farbmodell	Auswahl des RGB-Farbmodells (100 oder 255)

Die 1:n Verknüpfung zwischen den Klassen *IHF Style* und *IHF Substyle* erlaubt es, zu jeder Farbpaletten-Variante eine beliebige Anzahl zugehöriger Farben zu definieren. Durch Betätigung des Buttons ▼ im Editor der Klasse *IHF Style* wird ein Zwischeneditor mit einer Liste aller zu der Farbpalette gehörigen Farbdefinitionen aktiviert, aus der eine Farbe zur Bearbeitung ausgewählt werden kann bzw. von dem aus ein leerer Substyle-Editor für die Auswahl eines neuen Farbcodes geöffnet wird.

Die Farbcodes (Substyles) werden, je nach dem im Editor der Klasse *IHF Style* ausgewählten Farbmodell, in Form von Zahlen zwischen 0 und 255 oder prozentual von 0 – 100 in den Feldern *Rot*, *Gruen* und *Blau* bestimmt. Zu jedem auf diese Weise definierten Substyle gehört ein **Subcode**. Es handelt sich dabei um eine positive Integer-Zahl über die der Substyle im Style-System angesprochen werden kann. Der Subcode 0 wird für die Bestimmung einer Default-Farbe verwendet, in der eine Flächengeometrie dargestellt wird falls das darzustellende Feld keinen Wert hat.

Tab. 6.3: Die Felder der Tabelle *IHF Substyles*

<i>Parameter</i>	<i>Erklärung</i>
Style-Objekt	Eintrag im Feld <i>Objektname</i> des zugehörigen <i>IHF Style</i> Objekts
Zeichenanwendung	Name der Zeichenanwendung (z.B. Default, Auto ...)
Variante	Variantenname unter dem die Substyles gespeichert werden
Subcode	Nummer des Subcodes
Rot	Rotanteil (0-100 bzw. 0-255)
Gruen	Grünanteil (0-100 bzw. 0-255)
Blau	Blauanteil (0-100 bzw. 0-255)

Es gibt in BOMET mehrere Möglichkeiten eine Farbpalette zu erstellen:

Die manuelle Eingabe des RGB-Codes, die Selektion einzelner Farben aus einer vorgegebenen Farbpalette oder die automatische Erzeugung einer kompletten Farbpalette mit Hilfe des *IHF Style-Generators*.

Prinzipiell können die Farbcodes direkt eingegeben werden falls die RGB-Codes bereits im voraus bekannt sind oder der GIS-Anwender sich die Rot, Grün und Blauanteile herleiten kann.

Einfacher ist es, die Subcodes aus einer vorgegebenen Farbpalette zu selektieren. Der Button ‚*Farbpalette*‘ im Menü *Extras* des Substyle-Editors öffnet eine Farbpalette mit 128 Farben (vgl. Abb. 6.8), aus der einzelne Farben ausgewählt werden können. Der RGB-Code der selektierten Farbe wird beim Anklicken automatisch in die Felder *Rot*, *Gruen* und *Blau* der Tabelle *IHF Substyles* eingefügt. Der Button ‚*Bestimme die Farbe...*‘ auf der Menüleiste unterhalb der Farbpalette öffnet einen weiteren Editor, in dem bei Bedarf zusätzliche Feinabstimmungen der Rot-, Grün- und Blauanteile der Farbe vorgenommen werden.



Abb. 6.8: Farbpalette zur Auswahl der Substyle-Farbe und Kontrollfeld für die aktuelle Farbe

Zur Kontrolle kann jederzeit die Farbe des im aktuell geöffneten Substyle-Editor angezeigten Farbcodes in einem Farbfeld (vgl. Abb. 6.8) dargestellt werden (Button ‚*Aktuelle Farbe*‘ im Menü *Extras*).

Die gerade vorgestellte Vorgehensweise zur Erstellung einer Farbpalette ist für eine kleine Menge an Substyles empfehlenswert, da dabei jeder Farbcode exakt bestimmt wird. Wenn es sich jedoch um eine größere Anzahl von 40 oder mehr Substyles handelt, ist es allerdings verhältnismäßig aufwendig jeden Substyle einzeln zu definieren. Zudem ist es nach Augenmaß kaum möglich einen „fließenden“ Farbverlauf von 40 Farben zu bestimmen.

Gesamte Farbpaletten von beliebig vielen Farben können im BOMET mit *dem IHF Style-Generator* erstellt werden. Neben der Farbpalette erstellt der *IHF Style-Generator* gleichzeitig eine Legende für die Visualisierung eines vom Anwender festgelegten Parameters. Da die resultierende Legende jeder Wertebereichsklasse einen eigenen Substyle zuordnet stimmt die Anzahl an Klassen der erzeugten Legende mit der Zahl an Substyles überein.

Die Funktionsweise des *IHF Style-Generators* wird in Kapitel 5.3 ausführlich dargestellt.

Damit die im Style-Tool erstellte Farbpalette bei der Visualisierung im GIS-Grafikfenster zur Anwendung kommt muss sie schließlich noch in die Style-Datenbank von Smallworld-Gis geladen werden. Dies geschieht mit dem Button ‚*Styles laden*‘ im Menü *Extras* des Objekteditors der Klasse *IHF-Style*.

Beim Laden einer neuen oder veränderten Farbpalette in die Style-Datenbank des Smallworld-GIS wird die bisher für die Darstellung der Flächengeometrie verwendete Farbpalette überschrieben. Wenn es sich dabei um eine Farbpalette handelt, die zuvor mit Hilfe des GIS-eigenen Style-Editors definiert wurde oder die im Style-Tool erstellt und nach dem Laden in die Style-Datenbank aus dem Datenbestand des Style-Tools gelöscht wurde, so kann nach dem Laden der neuen Substyles der alte Zustand nicht wieder hergestellt werden.. Um zu vermeiden, dass die bisherige Farbpalette verloren geht, können die aktuellen Substyles bevor sie überschrieben werden im Datenbestand des Style-Tools gesichert werden (Button ‚*Aktuelle Styles holen*‘).

6.5 Das Legenden-Tool

Die in der Tabelle *IHF Legende* vorgehaltenen Legenden haben die Aufgabe den Wertebereich des darzustellenden Parameters in Klassen einzuteilen. Jeder dieser Klassen wird durch die Legende eine Codenummer (Subcode) zugewiesen, die im Style-System die Farbe festlegt, in der die Fläche im Grafikfenster dargestellt wird (vgl. Abb. 6.9).

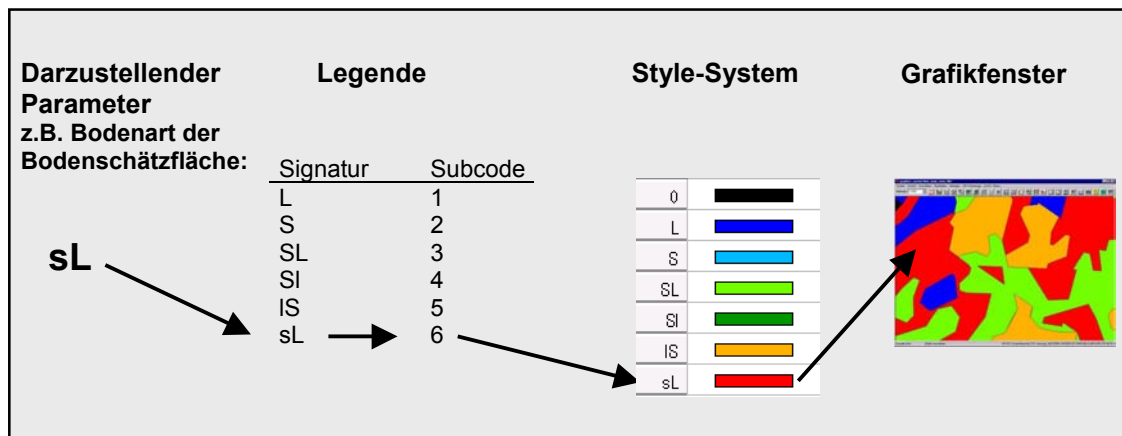


Abb. 6.9: Schema der Funktionsweise einer Legende im BOMET

Daraus, dass bodenkundliche Parameter einerseits numerische Werte, andererseits aber auch Signaturen sein können, leitet sich ab, dass im BOMET zwei Arten von Legenden vorgehalten werden: Einerseits Legenden die den Wertebereich eines numerischen Parameters wie z.B. die gesättigte Wasserdurchlässigkeit (kf) in Intervallklassen unterteilen und andererseits Legenden für nicht-numerische Parameter wie z.B. die Bodenart, die für jede vorkommende Bodenarten-Signatur eine Klasse enthalten.

Die Tabelle *IHF Legende* enthält die Titeldaten der Legende wie den Namen der Objektklasse, den darzustellenden Parameter und den Variantennamen der Legende. Dadurch dass der Variantennamen ein Schlüsselfeld ist, können mehrere Legenden für den gleichen Parameter einer Objektklasse vorgehalten werden, die je nach Bedarf für die Visualisierung verwendet werden.

Das Optionsfeld *Aktuelle Legende?* mit den Werten „Ja“ oder „Nein“ legt fest, welche Legende schließlich bei der Visualisierung verwendet wird. Da nur eine Legende verwendet werden kann, darf das Feld *Aktuelle Legende?* nur einer Legende auf „Ja“ stehen, bei sämtlichen anderen Legenden muss das Feld den Wert „Nein“ haben. Um dies sicherzustellen wird beim Aktivieren einer Legende der Wert des *Aktuelle Legende?* Feldes von „Nein“ auf „Ja“ gewechselt, der Wert der entsprechenden Felder aller anderen Legenden wird auf „Nein“ geändert. Zur Aktivierung einer Legende dient der Button *Legende aktuell machen* im Menü *Extras* des Legendeneditors.

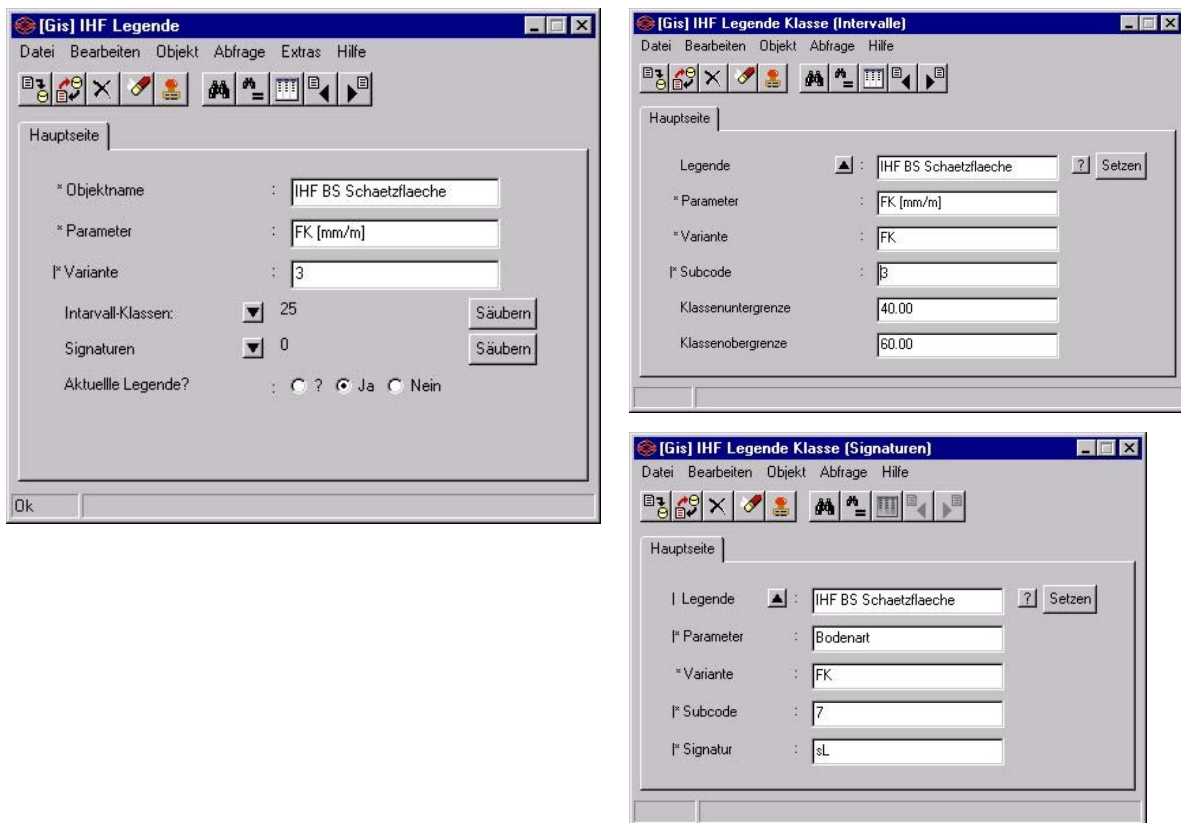


Abb. 6.10: Die Editoren der Klassen *IHF Legende*, *IHF Legende Klasse (Signaturen)* und *IHF Legende Klasse (Intervalle)*

Die Tabelle *IHF Legende* ist jeweils durch eine 1:n Verknüpfung mit den Tabellen *IHF Legende Klasse (Signaturen)* und *IHF Legende Klasse (Intervalle)* verbunden. Jeder Eintrag dieser Tabellen definiert eine Wertebereichsklasse, wobei die Tabelle *IHF Legende Klasse (Signaturen)* die Einteilung der nicht-numerischen Parameter (z.B. Bodenart, Landnutzung oder Entstehungsart) vornimmt und die Tabelle *IHF Legende Klasse (Intervalle)* den Wertebereich numerischer Parameter (z.B. effektive Durchwurzelungstiefe oder Feldkapazität) in Intervalle einer beliebigen Schrittweite einteilt.

Daraus leitet sich auch der Aufbau der Tabellen ab:

Den Kopf beider Tabellen bilden die aus der Tabelle *IHF Legende* geerbten Angaben der Objektklasse, des zu zeichnenden Parameters, und des Variantennamens. Der Code, der im Style-System die Farbe festlegt, in der die Flächengeometrie im Grafikenster dargestellt werden soll enthält das Feld *Subcode*.

Tab. 6.4: Die Felder der Tabelle *IHF Legende*

Parameter	Erklärung
Objektname	Name des Objekts für das die Legende definiert wird
Parameter	Name des gezeichneten Parameters
Variante	Variantenname unter dem die Legende gespeichert wird
Aktuelle Legende?	Boolean Feld, gibt an ob die Legende aktuell verwendet wird

Die Tabellen *IHF Legende Klasse (Intervalle)* und *IHF Legende Klasse (Signaturen)* unterscheiden sich lediglich in der Einteilung der Klassen. Die Wertebereichsklassen der numerischen Parameter werden in der Tabelle *IHF Legende Klasse (Intervalle)* durch die Felder *Klassenuntergrenze* und *Klassenobergrenze* definiert, wobei in jede Klasse die angegebene Obergrenze mit eingeschlossen ist, die Untergrenze aber außerhalb der Klasse liegt.

Die Klassen der nicht-numerischen Parameter in der Tabelle *IHF Legende Klasse (Signaturen)* werden im Feld *Signatur* festgelegt. Die hier eingetragenen Abkürzungen und Signaturen können sich beliebig aus Zahlen und Zeichen zusammensetzen. Jeder einzelnen Signatur entspricht ein Subcode für die grafische Darstellung.

Beim Bildaufbau des GIS-Grafikfensters übernimmt die **Zeichenmethode** *ihf_style_method()* die Kommunikation zwischen dem Style-System, das letztlich den Bildaufbau durchführt und der aktuellen Legende, die festlegt, welcher Parameter gezeichnet wird und welcher Substyle für die Darstellung des jeweiligen Wertes verwendet wird. Dabei ermittelt die Zeichenmethode z.B. beim Zeichnen einer Bodenschätzfläche aus sämtlichen Legenden die gerade aktivierte (Wert des Felds *aktuell?* ist „Ja“), und entnimmt ihr, welcher Parameter dargestellt werden soll. Aus den einzelnen Klassen dieser Legende ermittelt die Zeichenmethode sodann diejenige Klasse, deren Wertebereich den Parameter einschließt, bzw. bei nicht-numerischen Parametern die Klasse, die die entsprechende Signatur enthält. Dieser Legendenklasse wird dann der Subcode entnommen und an das Style-System weitergegeben. Dem Subcode entspricht in der Farbpalette des Style-Systems eine Farbe, in der die Bodenschätzfläche letztlich im Grafikfenster dargestellt wird.

Tab. 6.5: Die Felder der Tabelle *IHF Legende Klasse (Intervalle)*

<i>Parameter</i>	<i>Erklärung</i>
Legende	Eintrag im Feld <i>Objektname</i> der Klasse <i>IHF Legende</i>
Parameter	Name des gezeichneten Parameters
Variante	Variantenname unter dem die Legendenklasse gespeichert wird
Subcode	Der für die Darstellung dieser Klasse verwendete Subcode
Klassenuntergrenze	Untergrenze der definierten Klasse
Klassenobergrenze	Obergrenze der definierten Klasse

Tab. 6.6: Die Felder der Tabelle *IHF Legende Klasse (Signaturen)*

<i>Parameter</i>	<i>Erklärung</i>
Legende	Eintrag im Feld <i>Objektname</i> der Klasse <i>IHF Legende</i>
Parameter	Name des darzustellenden Parameters
Variante	Variantenname unter dem die Legendenklasse gespeichert wird
Subcode	Der für die Darstellung dieser Klasse verwendete Subcode
Signatur	Die darzustellende Signatur

6.6 IHF Style-Generator

In den in Kapitel 6.1 und 6.2 wurde die Erstellung von Legenden und Farbpaletten mit Hilfe des *Style*- und *Legenden-Tools* beschrieben. Hierbei werden die Farbcodes einzeln ausgewählt und Legendenklassen für die Visualisierung manuell erstellt.

Der Vorteil der manuellen Farbauswahl besteht darin, dass der Nutzer jeden Farbton genau auf seine Bedürfnisse abstimmen kann, bzw. die passendste Farbe aus der Farbpalette auswählen kann. Die manuelle Einteilung des Wertebereichs des darzustellenden Parameters in einzelne Klassen erlaubt es dem GIS Nutzer die Breite der Klassen zu variieren. Dadurch können die Wertebereichsklassen an die statistische Verteilung der Werte angepasst werden. Angenommen ein Parameter hat z.B. einen Wertebereich von 0 bis 200, dann wäre eine einfache Lösung 20 Legenden-Klassen mit einer Klassenbreite von 10 zu definieren. Da die Werte z.B. eines bodenkundlichen Parameters in der Regel aber nicht gleichverteilt sind, sondern oft ein Bereich größerer Häufigkeit auftritt und in den Extrembereichen nur vereinzelt Punkte liegen, ist diese Einteilung weniger sinnvoll. Bei gleichverteilten Klassenbreiten würde sich wahrscheinlich der Hauptteil der Werte auf einige wenige Klassen verteilen, viele Klassen in den Randbereichen wären jedoch leer. Es ist deshalb von Vorteil die Klassenbreite zu variieren. Die Klassenbreite kann in den dichteren Bereichen verringert werden um auch die kleineren Wertabweichungen zu verdeutlichen und die Extrembereiche können in einige wenige Klassen gegliedert werden.

Eine andere Lösung ist es, den Wertebereich in so viele gleich breite Klassen zu unterteilen, dass auch die dichteren Bereiche hoch genug aufgelöst sind. Da die manuelle Erstellung einer großen Anzahl an Legendenklassen und der dazu erforderlichen Styles relativ aufwendig ist, bietet es sich an, einen Farbverlauf aus einer vorgegebenen Anzahl von Farben sowie die Einteilung des Wertebereichs in dieselbe Anzahl gleich großer Klassen automatisch durchzuführen. Diese Aufgabe übernimmt in BOMET der *IHF Style-Generator* der mit dem Button ‚*Style-Generator*‘ im Menü *Extras* des Objekteditors der Klasse *IHF Style* aktiviert wird.

Bei Aufruf des *Style-Generators* öffnet sich ein Starteditor zur Selektion des darzustellenden Parameters und für die Eingabe des Variantennamens unter dem die erstellte Farbpalette und Legende gespeichert werden (vgl. Abb. 6.11). Nach Abschluss der Eingabe können in einem weiteren Editor die Ober- und Untergrenze des gewünschten Wertebereichs und die gewünschte Anzahl an Substyles und Legendenklassen eingegeben werden. Durch Betätigung des Buttons ‚*Wähle Farbverlauf*‘ öffnet sich ein Farbfeld, das einen Farbverlauf über das gesamte Farbspektrum zeigt. Auf diesem Farbfeld kann mit Hilfe der Maus ein *Trail* (Linienzug) gezogen werden, der den Farbverlauf der erzeugten Subcodes festlegt. Mit gedrückter linker Maustaste wird eine Gerade gezogen, die nach loslassen der Taste sichtbar wird. Wird anschließend bei gedrückter Maustaste der Cursor weitergezogen so kann eine Kurve gezeichnet werden. Somit kann eine beliebige Spur auf dem Farbfeld gezogen werden (vgl. 6.11).

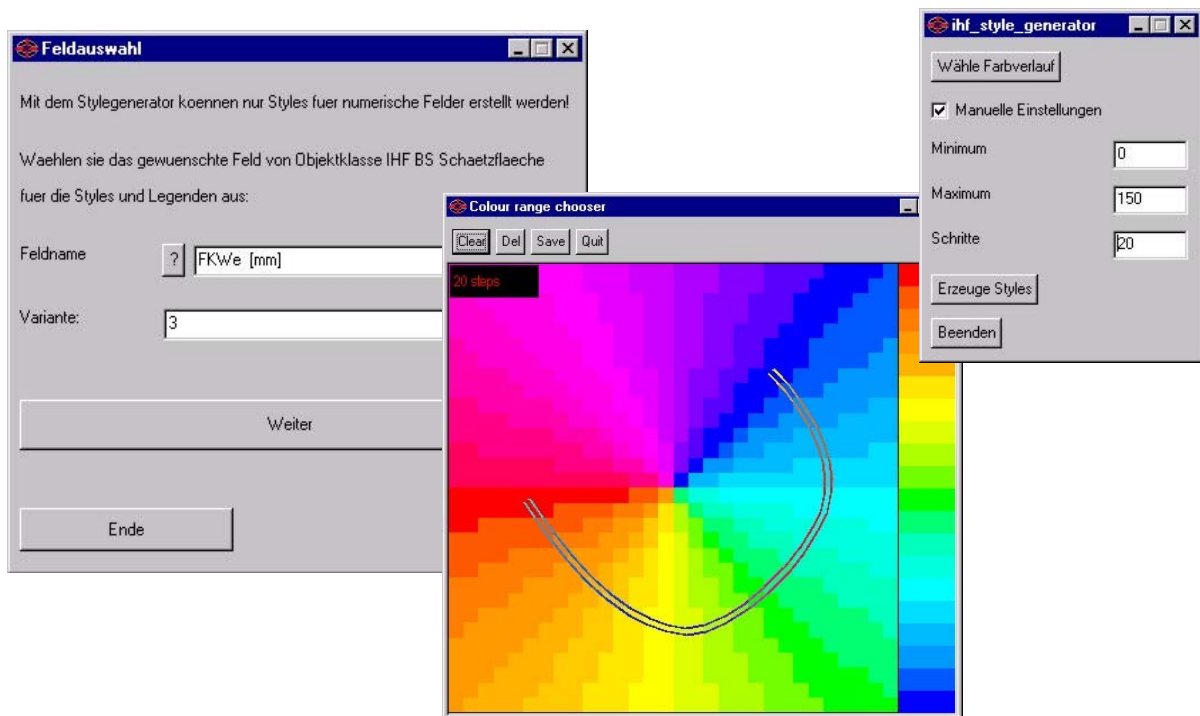


Abb. 6.11: Der *IHF Style-Generator*: Editoren für die Parameterauswahl, für die Auswahl des Farbverlaufs und zur Einteilung des Parameter-Wertebereichs in Klassen.

Je nach Anzahl der gewünschten Subcodes wird die Spur bei der Style-Erzeugung in Abschnitte geteilt und die geschnittenen Farben in die Farbpalette übernommen. In einer vorläufigen Farbpalette am rechten Rand des Editors wird der aus dem aktuellen Trail resultierende Farbverlauf zur Kontrolle dargestellt. Mit ‚Clear‘ kann der aktuelle Linienzug gelöscht werden, ansonsten wird der Editor nach abgeschlossener Farbauswahl mit ‚Quit‘ verlassen.

Durch den Button *Erzeuge Styles* im Starteditor des Style-Generators werden die neuen Styles und die zugehörige Legende sodann erstellt. Weitere Informationen zum *IHF Style-Generator* können der Arbeit von KIEFER (2001A&B) entnommen werden. Zu beachten ist, dass mit Hilfe des Style-Generators nur Farbpaletten und Legenden für numerische Werte generiert werden können. Für nicht-numerische Parameter wie Bodenart, Landnutzung usw. sind die Legenden und Farbpaletten manuell zu erstellen.

6.7 Fazit

Durch die in dieser Arbeit vorgestellten Visualisierungswerkzeuge stehen in BOMET nun Hilfsmittel zur Verfügung, deren Ziel es ist, die grafischen Fähigkeiten von Smallworld-GIS für die Zwecke des WAQIS-Projektes optimal auszunutzen.

Die Visualisierung von Werten versetzt den GIS-Anwender in die Lage räumliche Zusammenhänge zu erkennen, zu verstehen und zu bewerten. Es wird dadurch möglich einen schnellen Überblick über die räumliche Verteilung der Werte zu gewinnen und in den Daten verborgene Zusammenhänge wie beispielsweise räumliche Trends und Verläufe zu erfassen. Die Visualisierung ist zudem ein wichtiges Hilfsmittel zur Auffindung von Inkonsistenzen in den verwendeten Daten.

Die in BOMET implementierten Module *Style-Tool* und *Legenden-Tool* erweitern WAQIS um neue Werkzeuge, die es erlauben mit relativ kleinem Aufwand grafische Darstellungen von flächenhaft verteilten Parametern zu erstellen und zu bearbeiten.

Erforderlich für eine Visualisierung, z.B. der Verteilung von Bodenkennwerten, ist eine Farbpalette und eine Darstellungslegende. Die Farbpalette legt das Kontingent der für die grafische Darstellung eines Parameters verfügbaren Farbtöne fest. Der Wertebereich des Parameters wird durch die Darstellungslegende in Klassen gegliedert, denen jeweils eine Farbe der Farbpalette zugeordnet ist, die letztlich auf dem Bildschirm erscheint.

Die Visualisierungswerkzeuge im bodenkundlich- meteorologischen Modul unterstützen den GIS-Nutzer dabei, die Farbpaletten und Darstellungslegenden zu erstellen bzw. bestehende Legenden und Paletten an spezielle Erfordernisse anzupassen. Die Farbpaletten und Legenden werden unter beliebigem Versionsnamen im WAQIS-Datenbestand vorgehalten und bleiben auf diese Weise für die Wiederverwendung bestehen. Damit können in BOMET verschiedene Darstellungen gespeichert werden, die je nach Bedarf wiederhergestellt werden können.

Ausgehend von einem zentralen Editor kann der Anwender auf sämtliche Werkzeuge und Hilfsmittel zugreifen, die für die Visualisierung von Bedeutung sind. Die erforderlichen Operationen werden menügesteuert ausgeführt und erfordern daher kein Wissen über die intern ablaufenden Vorgänge und keine Programmierkenntnisse. Nach Auswahl des darzustellenden Parameters besteht die Möglichkeit im *Style-* und *Legenden-Tool* die bei der Darstellung im GIS-Grafikfenster verwendete Farbpalette und die Darstellungslegende manuell zu erstellen bzw. zu bearbeiten. Alternativ lassen sich mit dem *IHF Style-Generator* Legenden und Farbpaletten automatisch erstellen, was besonders bei einer größeren Anzahl an Subcodes und Legendenklassen von Vorteil ist. Im ASCII-Format vorliegende Farbpaletten können zudem über den *IHF-Farbpalettenlader* in den GIS-Datenbestand importiert werden.

Ein Ziel bei der Entwicklung der Visualisierungswerkzeuge in BOMET war es, die Werkzeuge möglichst global zu implementieren und dadurch eine breite Anwendbarkeit zu garantieren. Die Visualisierungswerkzeuge von BOMET wurden deshalb nicht speziell für die grafische Darstellung einer bestimmten Objektklasse entwickelt, sondern wurden „gekapselt“. Sie sind damit anwendbar für die Visualisierung von räumlich verteilten Parametern beliebiger Objektklassen.

7 Schlußbetrachtung und Ausblick

Aufgabe dieser Diplomarbeit war die Erweiterung des bisherigen Funktionsumfangs des Bodenkundlich – Meteorologischen Moduls BOMET, um einerseits den Anforderungen hydrologischer Modelle an die Parametrisierung der Bodenkennwerte gerecht zu werden und andererseits die grafische Darstellung räumlich verteilter Parameter verstärkt zu unterstützen.

Für die flächenhafte, automatisierte Ableitung bodenphysikalischer und -chemischer Kennwerte kann zukünftig wahlweise auf die Datengrundlage einer *bodenkundlichen Kartierung* oder einer Kartierung nach *Reichsbodenschätzung* zugegriffen werden. Hierzu wurde BOMET um ein Datenmodell für die Verwaltung der *Reichsbodenschätzung* und um Aufbereitungsverfahren, die das auf eine Kennwertberechnung ausgerichtete Preprocessing vornehmen, erweitert.

Vorraussetzung für die Nutzung der *Reichsbodenschätzung* für wissenschaftliche Aufgaben ist eine Übersetzung bzw. Umschlüsselung der, aus bodenkundlicher Sicht veralteten Feldschätzbucheinträge in die heute üblichen Termini der *Bodenkundlichen Kartieranleitung*. Das bodenkundliche Hintergrundwissen für die Umschlüsselung der Bodenschätzung liefert der, vom *Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung* im Rahmen des *Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS* herausgegebene Übersetzungsschlüssel.

Das die im Feldschätzbuch festgehaltene Bodenansprache über die steuerliche Nutzung hinaus eine wertvolle bodenkundliche Datenbasis darstellt, haben bereits andere wissenschaftliche Projekte bewiesen. Vor allem die parzellenscharfe Erfassung der Flächen einheitlicher Bodenbeschaffenheit sowie die Tatsache, dass die Bodenschätzung flächendeckend vorliegt, sind in der Bodenkunde einzigartig. Dadurch, dass die Bodenschätzung für wissenschaftliche Verwendung zudem frei verfügbar ist, handelt es sich hierbei für Forschungsprojekte um eine kostengünstige Alternative zu den *bodenkundlichen Kartierungen*.

In einer Funktionalitätsprüfung wurde die neuentwickelte Funktionalität anhand eines kleinen Untersuchungsgebietes in der *Staufener Bucht* auf ihre Tauglichkeit überprüft. Da die GIS-basierte Umschlüsselung für alle Bodenschätzprofile eine Übertragung in die Systematik der *Bodenkundlichen Kartieranleitung* ermitteln konnte ist das eigentliche Ziel - die *Reichsbodenschätzung* für die Berechnung bodenkundlicher Kennwerte nutzbar zu machen - erreicht. Damit bleibt es nun dem Anwender überlassen ob er z.B. die Randbedingungen für hydrologische Modelle auf Basis von *bodenkundlichen Kartierungen* berechnet oder auf Kartierungen der *Reichsbodenschätzung* zurückgreift.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es, dem BOMET-Anwender die Nutzung der Fähigkeiten des zugrundeliegenden Geoinformationssystems Smallworld-GIS für die Visualisierung von räumlich verteilten Parametern zu erleichtern.

Die Visualisierung ist ein wichtiges Hilfsmittel um räumliche Zusammenhänge zu erkennen, zu verstehen und zu bewerten. Durch die grafische Darstellung werden räumliche Beziehungen und Verläufe deutlich, die in der tabellarischen Daten-Form verborgen bleiben oder zumindest aufwendige statistische Analysen erfordern um sie offen zu legen. Die Visualisierung deckt zudem durch Mess- oder Re-

chenfehler verursachte Inkonsistenzen in den verwendeten Daten auf, die ohne dieses Hilfsmittel möglicherweise unentdeckt blieben.

Durch die im BOMET implementierten Visualisierungswerkzeuge wird der Nutzer in der Erstellung von Farbpaletten und Darstellungslegenden unterstützt. Die im Style-Tool erstellten Farbpaletten legen das, für die Visualisierung verfügbare Farbkontingent fest. Mit Hilfe des Legenden-Tools werden Darstellungslegenden generiert, die den Wertebereich des darzustellenden Parameters in Klassen untergliedern, denen jeweils eine der Farben aus dieser Palette zugeordnet wird. Die Legende legt also letztlich fest in welcher Farbe eine Flächeneinheit auf dem Monitor dargestellt wird. Bei der Erstellung der Legenden und Farbpaletten kann entweder manuell vorgegangen werden oder die Fähigkeit des *IHF Style-Generators* zur automatischen Generierung ausgenutzt werden, wodurch es möglich wird, in kurzer Zeit auch Legenden und Farbpaletten größeren Umfangs herzustellen.

Der Anwender von BOMET wird durch die Visualisierungswerkzeuge in die Lage versetzt mit geringem Aufwand Ergebnisse und Parameter grafisch darzustellen und bestehende Darstellungen auf die jeweiligen Bedürfnisse anzupassen. Zudem kann der Zustand einer Darstellung im GIS-Datenbestand gespeichert werden wodurch die Wiederverwendung erleichtert wird.

Die Visualisierungswerkzeuge in BOMET wurden nicht speziell für die Visualisierung von Parametern einer Objektklasse entworfen, sondern gekapselt. Dadurch wurde die Zielsetzung erreicht ein global verwendbares Hilfsmittel zu entwickeln, das die Visualisierung der Attribute beliebiger Objektklassen unterstützt und vielseitig einsetzbar ist.

Zum Schluss werden einige Vorschläge für künftige Weiterentwicklungen des bodenkundlich – meteorologischen Moduls BOMET gemacht, die im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr umgesetzt werden konnten:

Ein weiterer Schritt zur Komplettierung des Funktionsumfangs von BOMET ist die Optimierung und Erweiterung des Methodenumfangs der hydrologisch - meteorologischen Auswertungsverfahren hinsichtlich der Berechnung der Grundwasserneubildung (GWNB). Von Vorteil wäre die bisherige Methode nach *Haude-Renger* um das Verfahren nach *Penman-Montheith* zu ergänzen. Je nachdem ob die erforderlichen Eingangsdaten vorhanden sind, steht es dann dem Anwender offen welches Verfahren für die Berechnung der GWNB eingesetzt wird. Die bisher relativ simple Berechnungsmethodik könnte zudem durch ein differenziertes Speicherkonzept ergänzt werden, mit dem das Auslaufverhalten des Bodenspeichers realistischer wiedergegeben wird. In der derzeit verwendeten GWNB-Berechnungsmethode wird das überschüssige Bodenwasser unverzögert ans Grundwasser abgegeben.

Denkbar ist auch, ein externes Wasserhaushalts-Modell mit BOMET zu koppeln. Die interne Wasserhaushaltsberechnung im BOMET funktioniert für einzelne Flächen problemlos, für große Gebiete ist die GIS-basierte Berechnung jedoch aufgrund der zeitaufwendigen Datenbankzugriffe kaum durchführbar. Es bietet sich daher an, im GIS auf Grundlage des WAQIS-Datenbestandes das Preprocessing und die automatische Parametrisierung vorzunehmen, die eigentliche Berechnung jedoch extern durchzuführen. Darüber hinaus können die Fähigkeiten des Geoinformationssystems genutzt werden die Ergebnisse zu speichern, auszuwerten und grafisch darzustellen.

Zur Steigerung der Effizienz der Aufbereitungsverfahren für die Kartierungen der *Reichsboden-schätzung* ist die Erstellung eines regionalspezifischen Übersetzungsschlüssels für die Trinkwassergewinnungsgebiete der Freiburger Wasserversorgung von Vorteil. Aufgrund der relativ großen Anzahl an *bodenkundlichen Kartierungen* im Bereich *Zartener Becken* und der *Staufener Bucht* liegt sicher-

lich eine ausreichende Anzahl an Vergleichspaaren von Profilbeschreibungen nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung* und *Bodenschätzung* zu diesem Zweck vor.

8 Literaturverzeichnis

AG BODEN (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. –Berichtigter Nachdruck der 4. Auflage, Hannover, 392 S..

ALTERMANN, M. (1992): Die Nutzung der Bodenschätzung zur Erarbeitung von Lokalbodenformenkarten und Betriebsstandortkarten für ausgewählte Gebiete Sachsen-Anhalts. Mitt. Dtsch. Bdkl. Ges. 67, 175-179.

ARENS, H. (1960): Die Bodenkarte 1:5000 auf der Grundlage der Bodenschätzung, ihre Herstellung und ihre Verwendungsmöglichkeiten. –Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld., 164 S..

BARTELME, N. (1989): GIS-Technologie, Geoinformationssysteme, Landinformationssysteme und ihre Grundlagen, Springer-Verlag, Berlin, 280 S..

BARTELME, N. (2000): Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen. Springer Verlag, Berlin, 419 S..

BARTH, F. (1998): Die EU-Wasserrahmenrichtlinie und ihre Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft in Baden-Württemberg. Wasserwirtschaft 88: 446-449.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2001): Spektrum Wasser 2: Grundwasser - der unsichtbare Schatz. 98 S.

BENNE, I., HEINEKE, H.-J. & NETTELMANN, R. (1990): Die DV-gestützte Auswertung der Bodenschätzung. Technische Berichte zum NIBIS. Niedersächsisches Landesamt der Bodenforschung, Hannover, 125 S..

BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ LABO (1993): Nutzung der Bodenschätzungsergebnisse zum Aufbau eines Bodeninformationssystems. Abschlußbericht der Ad-hoc-Arbeitsgruppe „Bodenschätzung“ des Arbeitskreises 2 „Bodeninformations-systeme“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz LABO.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, BMU (1999): Hydrologischer Atlas von Deutschland.

BUNDESMINISTERIUMS FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, BMBF (1997): <http://ihwhpl.bau-verm.uni-karlsruhe.de/~wei/metadb/berichte/tp-17-all.htm>, BMBF-Verbundprojekt Weiherbach.

- CORDSEN, E. (1993): Böden des Kieler Raums Teil 1 – Untersuchungen der Böden natürlicher Lithogenese unter Verwendung EDV-gestützt aufgewerteter Daten der Bodenschätzung. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel, Band 25, 255 S..
- DYCK, S., PESCHKE, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie, Verlag für Bauwesen, Berlin, 536 S..
- EBERLE, K. (1999A): BOMET – Aufbau eines bodenkundlich-meteorologischen Teilinformationssystems im GIS Smallworld. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br..
- EBERLE, K. (1999B): BOMET – Handbuch zum bodenkundlich-meteorologischen Teilinformationssystems im GIS Smallworld. Unveröffentlichtes Handbuch zur Diplomarbeit am Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br..
- ECKELMANN, W. & RENGGER, M. (1982): Erfassung und Darstellung der Trockengefährdung landwirtschaftlich genutzter Standorte am Beispiel der Bodenkundlichen Standortkarte i. M. 1:200000. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 22, 4: 224-231, Hamburg, Berlin.
- FLEISCHMANN, R., HACKER, E. & OELKERS K.-H. (1979): Vorschlag zu einem Übersetzungsschlüssel für die automatische bodenkundliche Auswertung der Bodenschätzung. Geologisches Jahrbuch Reihe F, Heft 6, Hannover.
- HERRMANN, J. (2000): GIS-Integration von FEFLOW in das Freiburger Wasserqualitätsinformationssystem WAQIS, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau.
- INSTITUT FÜR LANDESPLANUNG UND RAUMFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT HANNOVER (2000): <http://www.laum.uni-hannover.de/umwelt/gis/gisdef.html>, Begriffsdefinitionen im GIS-Umfeld
- KIEFER, J. (2001A): Integration der Grundassermodellierungsumgebung FEFLOW in das Freiburger Wasserqualitätsinformationssystem WAQIS (2). Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br..
- KIEFER, J. (2001B): HGEO & IHF-ISO Handbuch. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br..
- KOTLARSKI, S. (2001): Untersuchung des Zusammenhangs zwischen atmosphärischer Zirkulation und Niederschlagsverteilung in Baden-Württemberg, unveröffentlichte Zwischenergebnisse der Diplomarbeit am Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br..
- KRÜGER, H.-W. (1982): Trinkwasser – Ein Lebensmittel in Gefahr. Verlag Ullstein GmbH, Frankfurt, 318 S..
- MÄCKEL, R. & METZ, B. (1997): Schwarzwald und Oberrheintiefland: Eine Einführung in das Exkursionsgebiet um Freiburg im Breisgau. Selbstverlag des Instituts für Physische Geographie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, 333 S..

- MEIER, A. (1998): Relationale Datenbanken: Einführung für die Praxis. Springer Verlag, Berlin, 199 S..
- MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR (2000): http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/berichte/g-BodschztG/bschzg_c.htm, Gesetz über die Schätzung des Kulturbodens (Bodenschätzungsgesetz)
- MÜCKENHAUSEN, E. & MERTENS H. (1988): Die Bodenkarte 1:5000 auf der Grundlage der Bodenschätzung. – Landesausschuss für landwirtschaftliche Forschung, Erziehung und Wirtschaftsberatung beim Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
- MÜLLER, U. (1997): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS), -6. Auflage, Hannover, 322 S..
- NIEDER, H. (1985): Nitrat im Grundwasser. Herkunft, Wirkung, Vermeidung. VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim, 86 S..
- REGIONALES RECHENZENTRUM FÜR NIEDERSACHSEN RRZN / UNIVERSITÄT HANNOVER (1998): Java. Begleitmaterial zu Vorlesungen / Kursen.
- REICHE, E.-W. (1991): Entwicklung, Validierung und Anwendung eines Modellsystems zur Beschreibung und flächenhaften Bilanzierung der Wasser- und Stickstoffdynamik in Böden.-Kieler Geographische Schriften Band 79, Kiel, 150 S..
- REICHE E.-W (2001): <http://www.pz-oekosys.uni-kiel.de/~ernst/bossa/bossaman.html>, BOSSA-SH – Bodenschätzungs-Standart-Auswertung Schleswig-Holstein. Übersetzung und Auswertung der Profilbeschreibungen der Bodenschätzung als Grundlage für die Bodenbewertung in der Landschaftsplanung.
- ROTHKEGEL, W. (1947): Landwirtschaftliche Schätzungslehre. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- RÖSCH, A. & KURANDT, F. (1991): Bodenschätzung. Carl Heymanns Verlag, Köln, 148 S..
- SAUER, S. (2000): <http://www.hlfh.de/medien/boden/publikationen/auswertungsmethoden/sauer.html>, Methoden zur Ableitung von Bodenkennwerten aus Daten der Bodenschätzung – Stand, Probleme und Perspektiven. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- SAUER, S. (1998): Erstellung eines regionalen Übersetzungsschlüssels zur Ableitung von Bodenkennwerten aus Bodenschätzungsdaten. Mitt. Dtsch. Bdkl. Ges. 88: 285-288.
- SCHILCHER, M. (1991): Geo-Informatik: Anwendung, Erfahrungen, Tendenzen. Siemens Nixdorf Informationssysteme AG, Berlin, 620 S..
- SCHUHMANN, H. & MÜLLER, W.(2000): Visualisierung – Grundlagen und allgemeine Methoden. Springer Verlag, Berlin.370 S..

SMALLWORLD SYSTEMS (1994A): Smallworld GIS 2 User Guide, Smallworld Systems.

SMALLWORLD SYSTEMS (1994B): Smallworld GIS 2 Magik Manual, Smallworld Systems.

SMALLWORLD SYSTEMS (1999A): Smallworld 3 Dokumentation, Smallworld Systems.

SMALLWORLD SYSTEMS (1999B): Smallworld 3 Overview, Smallworld Systems.

WACKER, F. (1957): Erläuterungen zu der Bodenschätzungskarte von Baden-Württemberg 1:5000, - Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 21 S., Freiburg i. Br..

UMWELTLEXIKON-ONLINE (2001): *<http://www.umweltlexikon-online.de>*

WAQIS, (2000): *<http://www.ruf.uni-freiburg.de/hydrology/forsch/waqis>*, Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau.

WHATIS (2000): *<http://www.whatis.com>*.

YAHOO (2001): *<http://groups.yahoo.com/group/sw-gis>*, *YAHOO-Groups*: SW-GIS, Smallworld Developers.

Anhang

Anweisungen zur Erfassung der Reichsbodenschätzung im GIS

Um mit den im BOMET implementierten Aufbereitungsverfahren eine Übersetzung der Profilbeschreibung zu erzielen, müssen bei der Übertragung der Bodenschätzdaten aus dem Feldsachätzbuch ins GIS einige Formalitäten eingehalten, und Umschlüsselungen vorgenommen werden. Ausführlichere Beschreibungen des verwendeten Übersetzungsschlüssels finden sich in BENNE ET. AL. (1990).

Die im Feldschätzbuch verwendeten Klimastufen a, b und c werden durch die Klimabereiche nach ECKELMANN (1982) ersetzt. Die Klimabereichs-Klassen werden dabei nach der klimatischen Wasserbilanz (N-V) eingeteilt. Da der Klimabereich eines der Kriterien für die Ermittlung der Horizontbezeichnung nach *Bodenkundlicher Kartieranleitung* ist, muss er für jedes Bodenprofil ermittelt werden, auch wenn im Feldschätzbuch keine Klimastufe verzeichnet ist. Die klimatische Wasserbilanz kann beispielsweise unter Zuhilfenahme der Karten *des Hydrologischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland* (BMU, 1999) ermittelt werden.

Tab. A.1: Einteilung der Klimabereiche nach ECKELMANN ET AL. (1982)

<i>Schlüssel</i>	<i>Klimatische Wasserbilanz (N-V)</i>
1	< -100 mm
2	-100 – -50 mm
3	-50 – 0 mm
4	0 – 50 mm
5	50 – 100 mm
6	100 – 150 mm
7	150 – 200 mm
8	200 – 300 mm
9	300 – 400 mm
10	> 400 mm

Bei Erfassung der *Reichsbodenschätzung* verwendete Zeichen der Verstärkung und Abschwächung werden bei der Übernahme in den GIS-Datenbestand nach dem Muster von Tabelle A.2 umgesetzt. Dabei ist zu beachten, dass Begriffe ohne Wertigkeitsangabe stets mit der Wertigkeit „3“ versehen werden. Die Ausnahme sind alle Haupt- und Grobbodenarten (d.h. alle Kürzel die groß geschrieben werden), bei denen keine Wertung vorgenommen wird.

Tab. A.2: Zeichen zur Verstärkung oder Abschwächung (BENNE ET AL., 1990)

<i>Bodenschätzung</i>	<i>Erläuterung</i>	<i>Bezeichnung im GIS</i>
”	sehr schwach	1
,	schwach	2
Ohne Zeichen	mittel	3
-	stark	4
=	sehr stark	5
Beispiel: h“		h1
h		h3

Die zwei folgenden Tabellen erläutern die Bedeutung der Wasserstufen und der Abkürzungen der Entstehungsarten und liefern die bei der Übernahme ins GIS zu verwendende Bezeichnung.

Tab. A.3: Wasserstufen (BENNE ET AL., 1990)

<i>Bodenschätzung</i>	<i>Erläuterung</i>	<i>Bezeichnung im GIS</i>
1 (= frisch)	besonders günstig (Süßgräserbestand)	1
2 (= frisch bis feucht)	günstig bis gut	2
3 (= feucht)	gut (Süßgräser mit vereinzelt Sauergräsern)	3
4 (= naß)	ungünstig (Sumpfwiese)	4
4 ⁻ (= trocken)	ungünstig (geringwertige Hutung)	4-
5 (= sehr naß)	besonders ungünstig (Sauergräserbestand)	5
5 ⁻ (= sehr trocken)	besonders ungünstig (harte Trockengräser)	5-

Tab. A.4: Entstehung (BENNE ET AL., 1990)

<i>Bodenschätzung</i>	<i>Erläuterung</i>	<i>Bezeichnung im GIS</i>
D	Diluvialböden	D
Dg	Diluvialböden, stark steinig	Dg
Lö	Lößböden	Lo
Al	Schwemmlandböden	Al
Alg	Schwemmlandböden, stark steinig	Alg
V	Verwitterungsböden	V
Vg	Verwitterungsböden, stark steinig und flachgründig	Vg
Me	Mergelböden	Me

Die Korngrößenangaben wie „grob“ (g) und „fein“ (f) werden der Hauptbodenart stets vorangestellt. Sonstige ergänzenden Angaben werden der Hauptbodenart dagegen nachgestellt (feinsandig (fs), grobsandig (gs), kräftig (kr), sandig (s) ...). Alle ergänzenden Angaben zum Feinboden sind mit einem Ausprägungsgrad zu versehen.

Zur Erklärung dienen folgende Beispiele:

Tab. A.5: Beispiele für die Umschlüsselung der Bodenart

<i>Bodenschätzung</i>	<i>Erläuterung</i>	<i>Bezeichnung im GIS</i>
g'S	schwach grober Sand	g2S
gl'S	schwach lehmiger, mittel grober Sand	g3Sl2
fs'L	schwach feinsandiger Lehm	Lfs2

Die Einzelmerkmale Humusgehalt, Farbe, Eisengehalt und Kalkgehalt werden getrennt von der Bodenart in den Feldern „*Horizontkennz. Merkmale*“ und „*Weitere Merkmale*“ vorgehalten.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Freiburg, den 10.10.2001

Wolfgang Klink