

Entwicklung und Programmierung räumlicher Entscheidungsunterstützungssysteme mit Java und ArcGIS Engine (ESRI®)

Zusammenfassung

Moderne räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme (Spatial Decision Support System = SDSS) vereinen GIS, Fernerkundung, numerische Modellierung und Expertenwissen (LAUDIEN et al. 2006). In dem vorliegenden Beitrag wird die plattformunabhängige Entwicklung solcher SDSS unter Verwendung von ArcGIS Engine (ESRI®) und Java vorgestellt. Dabei zeigt sich, dass Geodaten und Modelle, die beispielsweise in interdisziplinären Projekten erhoben werden, dem potentiellen Anwender fachgerecht aufbereitet und für dessen Entscheidungsfindung als zusätzliches Werkzeug, spezifisch der eindeutigen Fragestellung, eingesetzt werden können.

Bei den Design- und Entwicklungsprozessen dieser Systeme ist darauf zu achten, dass verschiedene Nutzergruppen mit unterschiedlichem Fachwissen gleichermaßen zufrieden gestellt werden. Dies wird durch eine anwenderfreundliche, umfassende Oberflächenentwicklung realisiert. Innerhalb der Graphical User Interfaces (GUI) bietet sich dem Anwender die Möglichkeit, den Entscheidungsunterstützungsprozess auf zweierlei Weise einzuleiten. Einerseits kann der Anwender die voreingestellten Parametern nutzen, oder andererseits diese nach seinen Vorgaben editieren.

Abstract

Modern Spatial Decision Support Systems combine GIS, Remote Sensing, and Modelling based on Expert knowledge (LAUDIEN et al. 2006). This paper presents the platform independent development of such SDSSs by using ArcGIS Engine (ESRI®) and Java. With these systems geo-data and models can be individually processed based on a specific question. Thus, they are additional tools which can be used for spatial decision support. During the design- and development processes it is essential to consider the different potential user groups and their different knowledge stages. User friendly, comprehensive Graphical User Interfaces need to be implemented to meet these requirements. Within the GUIs the decision makers get the opportunity to initiate the decision processes in two different ways: either by using the default parameters given by the expert or by editing these variables based on his/her desires.

über die Nachfrage, das Wissen und die Bedürfnisse der potentiellen Nutzer. Moderne SDSS müssen deshalb in Abhängigkeit der GIS-, Fernerkundungs- und Modellkenntnisse der einzelnen Nutzer spezifisch entwickelt und somit basierend der jeweiligen Anforderungen und Fragestellungen programmiert werden.

In der vorliegenden Arbeit wird die Entwicklung und softwaretechnische Umsetzung räumlicher Entscheidungsunterstützungssysteme beschrieben. Die Programmierung dieser modularen Systeme basiert auf Java, um den potentiellen Anwendern plattformunabhängige Softwaretools bereitzustellen. Durch die Verwendung unterschiedlichster Bibliotheken (z. B. ArcGIS Engine) wird die Umsetzung dem Anspruch GI-, fernerkundungs- und modellgekoppelter Systeme gerecht.

Der hier beschriebene Entwicklungs- und Programmieransatz ist für das Forschungsprojekt IMPETUS (= Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika) entwickelt worden. In der dritten Projektphase dieses interdisziplinären Projekts liegt das Hauptaugenmerk auf der Entwicklung und Implementierung räumlicher Entscheidungsunterstützungssysteme, die in einem übergeordnetem IMPETUS Spatial Decision Support System eingebettet werden (ENDERS et al., in prep.). Weiterführende Informationen zu IMPETUS sind durch SPETH et al. (2006) dokumentiert.

2. Räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme (SDSS)

In der einschlägigen Literatur findet sich keine konsistente Definition des Begriffs Decision Support System (LEUNG 1997, SINGH 2004, TURBAN et al. 2005). Dennoch kann ein DSS grundlegend als ein EDV-basierendes System angesehen werden, das es dem Anwender ermöglicht, semi-strukturelle Prozesse unter Verwendung umfangreicher Datensätze

AUTOREN

Rainer Laudien, Georg Bareth

1. Einleitung

Raumbezogene Daten, Modelle und Expertenwissen fließen heutzutage immer häufiger in Entscheidungsfindungsprozesse mit ein. Ein räumliches Entscheidungsunterstützungssystem vereint diese Daten und das Wissen in einem prozess-

basierten Werkzeug, das spezifisch der eindeutigen Fragestellung in Anlehnung an einen Entscheidungsbaum entwickelt wird. Diese, im Englischen als Spatial Decision Support Systems bezeichneten Systeme gewährleisten Entscheidungsunterstützungen und Handlungsoptionen für verschiedene Aspekte des Managements und der räumlichen Planung (TURBAN et al. 2005). Essentiell für die Entwicklung solcher Systeme ist die Kenntnis

und analytischer Modelle zu lösen (EL-NAJDAMI und STYLIANOU 1993). Diese Begriffserklärung macht deutlich, dass der Lösungsweg eines DSSs keinesfalls als trivial angesehen werden kann. Die komplexen Ergebnisse sind im Allgemeinen interdisziplinäre Lösungen und deshalb besteht der übergeordnete Ansatz eines DSSs in der Verfügungstellung unterschiedlichster Methoden und Ergebnissen. Daher müssen, nach EL-NAJDAMI und STYLIANOU (1993), bei der Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems die Visualisierung, Interpretation und Evaluierung der genutzten Daten gleichermaßen berücksichtigt werden.

Sobald einem DSS räumliche Daten zugeführt werden, spielen GIS-Funktionalitäten eine zunehmende Rolle, die es dem potentiellen Nutzer ermöglichen, räumlich differente Entscheidungen zu generieren. Ebenfalls in den 1990-er Jahren wird in diesem Zusammenhang der Begriff Spatial Decision Support System (SDSS) eingeführt (ARMSTRONG & DENSHAM 1990, GOODCHILD & DENSHAM 1993). Solche räumlichen Entscheidungsunterstützungssysteme gewährleisten die Möglichkeit der Integration verschiedener Analysemodelle, der Visualisierung und Evaluation der verwendeten Modelle sowie der Entwicklung von Managementstrategien (KEENAN 1996, LEUNG 1997, MALCZEWSKI 1999, MANOLI et al. 2001, YEH 1999).

Moderne räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme vereinen im We-

sentlichen Funktionalitäten und Module eines GISs, eines DSSs und bedienen sich, je nach Bedarf, einer oder mehrerer Fernerkundungsanalysen (LAUDIEN et al. 2006). Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Anknüpfung von numerischen, statistischen oder Expertenmodellen, um den Anforderungen eines umfassenden Werkzeugs zur Entscheidungsunterstützung gerecht zu werden (LAUDIEN et al. in review).

Abb. 1 zeigt diese Definition in Form einer Graphik. Ein modernes SDSS bildet sich demnach aus GIS-, Fernerkundungs-, Entscheidungsunterstützungs- und Modellanalysen in Abhängigkeit von spezifischem Expertenwissen. Um solch ein umfangreiches System generieren zu können, ist die Integration so genannter Modelbased Management Systems (MBMS) sowie Databased Management Systems (DBMS) unerlässlich.

3. Anforderungen an ein SDSS

Moderne Prozessoren und Speicher sind mittlerweile in der Lage große, raumbezogene Datenmengen zu prozessieren und zu visualisieren. So sind aus Sicht der Computerperformanz komplexe Modellalgorithmen, Rasteranalysen oder aufwendige Vektorverschnidungen nicht mehr zeit- und ressourcenkritisch. Deshalb können umfassende Anforderungen an die SDSS-Entwicklung gestellt werden, die im Folgenden beschrieben werden:

- Benutzerfreundliche, anwenderorientierte Oberflächenentwicklung

- Integration umfangreicher Geodaten
- Gewährleistung umfassender GIS-Analysen
- Realisierung pixel- und/ oder objektorientierter Fernerkundungsanalysen
- Kopplung von bereits bestehenden numerischen Modellen
- Schnittstellenentwicklung
- Konzeption des Entscheidungsbaums spezifisch der eindeutigen Fragestellung
- Integration von Expertenwissen während des Prozesses der Entscheidungsunterstützung

Basierend auf dem Ansatz der anwenderfreundlichen, modularen Entwicklung der Systeme ist bei der Programmierung darauf zu achten, mögliche Fehlerquellen, die durch den potentiellen Nutzer verursacht werden können, zu minimieren. D.h. Oberflächen, Schnittstellen und Geodatenbanken werden so konzipiert, dass der Anwender nach seiner persönlich vordefinierten Benutzersicht durch das SDSS geführt wird. Dabei hat ein Nutzer, der über durchschnittliche SDSS-Kompetenzen verfügt, auch nur eingeschränkte Möglichkeiten, während des Programmlaufes in das System einzugreifen. Ein fortgeschrittener (geschulter) Benutzer wird dagegen mehrere Funktionalitäten in einer anderen Benutzersicht (SDSS-Version) zur Verfügung haben. Durch diese Differenzierung der verschiedenen Nutzergruppen haben Entscheidungsträger, Modellanwender und Entwickler jeweils unterschiedliche Möglichkeiten, Modellparameter und Modellrandbedingungen zu ändern und dadurch das Gesamtsystem zu betreiben.

Gleichermaßen müssen alle Versionen der einzelnen Systeme die Möglichkeit besitzen, auf umfassende Geodaten zurückgreifen zu können. Diese sind in verschiedenen Geodatenbanken archiviert. Durch implementierte Datenbank-schnittstellen können die Daten während der Laufzeit des SDSSs geladen und zur Analyse, Darstellung oder Modifikation verwendet werden. Hierfür werden den jeweiligen SDSSen umfangreiche GIS- und Fernerkundungsfunktionalitäten bereitgestellt (alphanumerisch, vektor-, rasterbasierend), die via ArcGIS Engine problemlos in den Javaquellcode implementiert werden können.

Des Weiteren sollen bereits bestehende numerische, statistische und ►

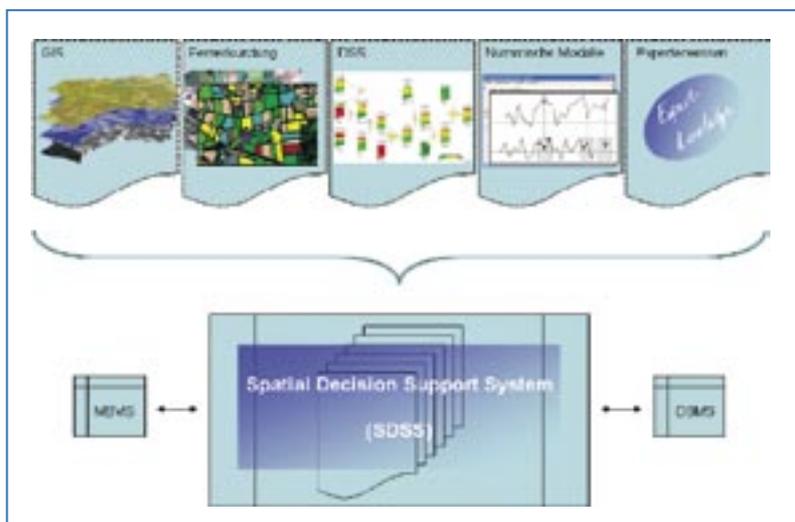


Abb. 1: Struktur eines modernen räumlichen Entscheidungsunterstützungssystems (Spatial Decision Support Systems)

Expertenmodelle für die Entscheidungsunterstützung in den Systemen genutzt werden (Anbindung von IDL, Fortran, Pascal, MS Excel, etc.). Um dieser Anforderung gerecht zu werden, ist ein lose gekoppelter Ansatz gewählt worden. So werden die Modelle über definierte programmierte Schnittstellen von den jeweiligen SDSSen angesprochen, Modellvariablen und –parameter während der Laufzeit der SDSSe an die Modelle übergeben, diese ausgeführt und die Ergebnisse nach dem Modelllauf wieder zurück geschrieben.

Um den Entscheidungsunterstützungsprozess softwaretechnisch umzusetzen, muss für jedes SDSS ein spezifisch der eindeutigen Fragestellung konzipierter Entscheidungsbaum in Programmcode umgesetzt werden. Dafür werden, neben den oben genannten speziellen SDSS-Analysen, vorwiegend programmierte Schleifen und Verzweigungen eingebunden.

Abschließend sei der Form halber erwähnt, dass die SDSS ihre Ergebnisse automatisiert aufbereiten und darstellen müssen.

4. Entwicklung der SDSS

Für einen späteren erfolgreichen Einsatz eines SDSSs ist die Berücksichtigung der Bedürfnisse und des Wissensstandes der potentiellen Anwender zu Beginn der Entwicklung, der so genannten Designphase, entscheidend. Daher spielt bei dem Design eines solchen Systems die Bedarfsanalyse sowie die Definition der späteren Benutzer eine wesentliche Rolle. Da eine Vielzahl der Entscheidungsträger (= spätere Nutzer des SDSSs) zwar Experten in ihrem Arbeitsgebiet sind, aber nicht unbedingt auch ausgebildet sind in Bezug auf GIS/SDSS-Computertechnologie und –software, müssen die entwickelten SDSSe diese Anwender gleichermaßen wie auch die fortgeschrittenen Benutzer bedienen. So müssen Werkzeuge bereitgestellt werden, die eine Entscheidungsunterstützung, basierend auf einem definierten Entscheidungsbaum, generieren. Zusätzlich dazu sollten Experten während der Laufzeit des Programms die Möglichkeit haben, durch ihr Wissen den Entscheidungsprozess verändern zu können. Im Folgenden werden zunächst die Entwicklungsumgebung und die Datenhaltung vorgestellt und danach der eigentliche SDSS-Entwicklungsan-

satz beschrieben und erläutert.

4.1 Entwicklungsumgebung und Datenhaltung

Für die SDSS-Entwicklung wird die objektorientierte Programmiersprache Java verwendet. In Java geschriebene Programme werden in Bytecode übersetzt und in einer speziellen Umgebung ausgeführt, die als Java-Laufzeitumgebung bezeichnet wird. Deren wichtigster Bestandteil ist die Java Virtual Machine (Java-VM), die die Programme ausführt, indem sie den Bytecode interpretiert. Ein Hauptvorteil der Javaprogrammierung ist, dass die entwickelten Programme in aller Regel ohne weitere Anpassungen auf verschiedenen Computern und Betriebssystemen laufen, für die eine Java-VM existiert. Javaprogramme sind also nahezu plattformunabhängig.

Um der Vorgabe der GIS- und Fernerkundungsanwendungen innerhalb der SDSSe gerecht zu werden, wird ArcGIS Engine als Entwicklerbibliothek in die Java-Programme integriert. Mit ArcGIS Engine hat der Entwickler die Möglichkeit eigene GIS-Funktionalitäten in einer Sprache seiner Wahl (z.B. C++, VB.NET, C#, Java) in den Quellcode seiner Entwicklung und so in bestehende Frameworks einzubinden. ArcGIS Engine in der Vollversion verfügt über mehrere Erweiterungen, die je nach Fragestellung der einzelnen SDSSe spezifisch eingesetzt werden können. Im Einzelnen sind dies: Spatial extension, 3D extension, Geodatabase Update extension, Network extension, Data Interoperability, Schematics Maplex und Tracking. Bei der Ausführung der Java Programme wird neben der Java-VM auch das ArcGIS Engine Runtime Environment eingesetzt.

Entwickelt werden die SDSSe mit der frei erhältlichen Entwicklungsumgebung Eclipse SDK. Diese umfasst die Eclipse Plattform (Eclipse 3.2), Werkzeuge zur Java-Entwicklung und die Umgebung zur Entwicklung von Eclipse-Plugins. Eclipse SDK bietet die Möglichkeit der Anbindung der Open-Source-Software Subversion (SVN) zur Versionsverwaltung. Diese stellt ein so genanntes Repository dar. Ein Repository ist eine Verzeichnisstruktur oder Datenbank, die Datenobjekte und deren Methoden zur Datentransformation enthält. Bei SVN können so Quellcodedateien oder andere

Textdateien aus dem Repository „ausgecheckt“, d. h. auf den Rechner des Programmierers geladen werden. Nach der Bearbeitung können diese dann wieder in das Repository „eingchecked“ werden, wobei die Veränderung protokolliert wird. So ermöglicht SVN es mehreren Entwicklern unabhängig voneinander an einem Projekt zu arbeiten, ohne dass Backup- oder Versionsprobleme auftreten. Zusätzlich dazu können die Arbeitsabläufe eines jeden einzelnen Entwicklers eindeutig über eine history.txt-Datei dokumentiert werden. Neben den gängigen JavaBeans werden bei der Entwicklung auch spezifische GIS- und Fernerkundungskomponenten genutzt. Diese sind ebenfalls in ArcGIS Engine integriert. Zusätzliche Komponenten werden verwendet, um die anderen SDSS-Anforderungen zu erfüllen. So werden beispielsweise POI-HSSF-Komponenten (Java API von Jakarta) unter anderem für den Ansatz der losen Kopplung von MS® Excel basierenden Modellen eingesetzt.

Die Daten der einzelnen SDSSe werden in Form von ArcGIS Engine Personal Geodatabases gehalten, welche auf MS®Access-Datenbanken beruhen. Die gespeicherten Daten sind Raster-, Vektor- oder alphanumerische Daten. Aufgrund des eingeschränkten Wissens der Endbenutzer ist die Datenhaltung vor Ort so einfach wie möglich gehalten, in der Regel wird deshalb pro SDSS eine eigene Personal Geodatabase erstellt, die die jeweils benötigten Daten erhält.

4.2 Methodischer Ansatz

Im Folgenden wird der methodische 4-Phasenansatz beschrieben, der zur Entwicklung der SDSSe verwendet wird. In Abb. 2 ist dieser in Anlehnung an das Wasserfallmodell von ROYCE (1970) visualisiert. Das Wasserfallmodell ist ein Vorgehensmodell in der Softwareentwicklung, bei dem der Softwareentwicklungsprozess in Phasen eingeteilt wird. Dabei gehen die Phasenergebnisse wie bei einem Wasserfall immer als bindende Vorgaben für die nächst tiefere Phase ein. Bis zu dem Entwicklungsstand der Phase 3 zeigt der hier gewählte Ansatz eine klare Übereinstimmung mit dem Wasserfallmodell. Die Phasen 3 und 4 folgen jedoch einem anderen Ansatz, dem des so genannten Prototypings. Dabei können die Anforderungen der Anwender wäh-

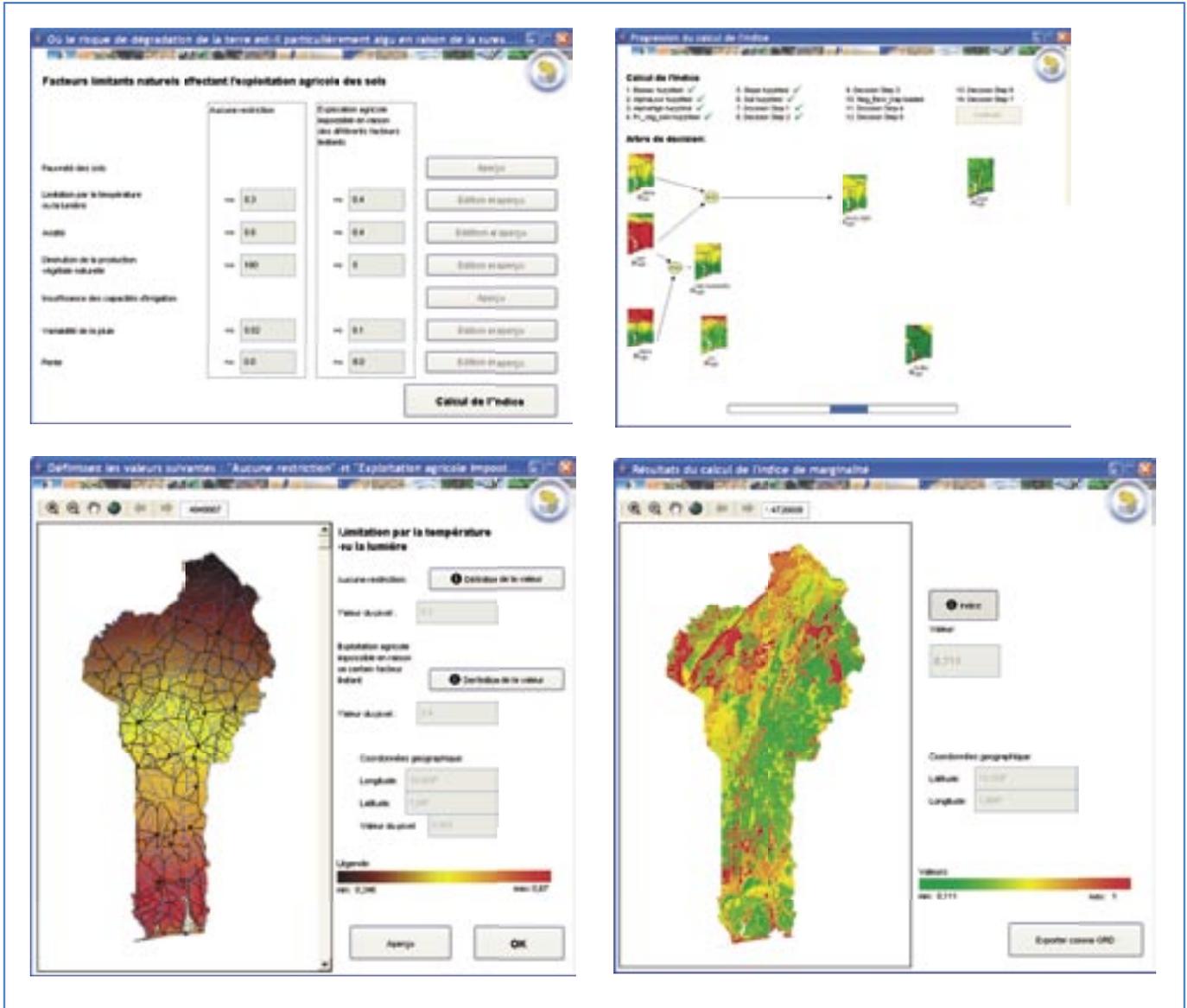


Abb. 4: Screenshots des unter Verwendung von ArcGIS Engine und Java entwickelten SDSSs (a = mainFrame, b = editFrame, c = progressFrame, d = visualizeFrame)

ten Modelle, ohne diese noch einmal zu programmieren.

Die softwaretechnische Umsetzung der SDSSe basiert, ebenfalls wie die Entwicklung, auf dem anwenderfreundlichen „easy2use“-Ansatz. Dieser beinhaltet eine klare Benutzerführung und ermöglicht es dem Anwender mit voreingestellten Eingabeparametern das System durchlaufen zu lassen. Der fortgeschrittene Nutzer hat daneben zusätzlich die Möglichkeit, während der Laufzeit des Programms die vom Experten vordefinierten default-Werte nach seinem Ermessen zu verändern (z. B. durch Auswahl-, Selektions- oder Editierungsfunktionalitäten). Bei der hier beschriebenen

programmtechnischen Umsetzung ist, im Gegensatz zu statischen SDSS-Ansätzen, ein dynamischer Ansatz realisiert worden. Dieser ermöglicht es, den Entscheidungsunterstützungsprozess während des Programmlaufs anzupassen.

Die Bereitstellung der SDSSe erfolgt via Internetdownload oder durch eine CD-ROM. Jedes entwickelte SDSS umfasst eine spezifische Geodatenbank, eine *.jar- sowie eine *.bat- Datei, die zum Programmaufruf genutzt werden kann. Zusätzlich dazu wird eine Lizenz der ArcGIS Engine Runtime Environment mitgeliefert, die es dem SDSS ermöglicht, eingebettete GIS- und Fernerkundungsanalysen durchzuführen.

6. Beispiel: SDSS zur Modellierung der agrarischen Marginalität in Benin (Westafrika)

In dem Fallbeispiel wird die Berechnung eines nationalen Marginalitätsindex im Kontext von SDSS behandelt. Die Vorgehensweise für die regionale Modellierung des Indexes ist in RÖHRIG und MENZ (2005), die SDSS-Entwicklung für diese Fragestellung in LAUDIEN et al. (in review) beschrieben. Zum besseren Verständnis der softwaretechnischen Umsetzung wird es dennoch im Folgenden kurz beschrieben.

In dem Designprozess wurde im Vorfeld auf die geforderten, spezifischen Vorgaben und Anforderungen der SDSS-

Entwicklung geachtet und der Softwareentwurf darauf hin angepasst. In dem Fall des hier beschriebenen Systems wurde folgender dynamischer Ansatz gewählt:

Das SDSS kann in zwei Module unterteilt werden kann. Modul 1 bietet dem potentiellen Nutzer die Möglichkeit, alle Eingangsrasterdaten vor der Berechnung des Marginalitätsindex einer Fuzzifizierung zu unterziehen (Abb. 4 a). Die dafür benötigten Werte der Eckpunkte der linearen Fuzzifizierungsfunktion sind, basierend auf dem gewählten dynamischen Ansatz, vor der Berechnung frei editierbar (Abb. 4 a, b). Modul 2 des SDSS berechnet den Marginalitätsindex basierend auf den fuzzifizierten Rasterdaten des Moduls 1. Dafür wird der SDSS-Quellcode in Anlehnung des hierarchischen Entscheidungsbaums entwickelt (Abb. 4 c), der die Verschneidung der einzelnen Inputdaten eindeutig aufzeigt.

Als Ergebnis dieser Operation wird

ein Rasterdatensatz erzeugt, der Pixelwerte zwischen 0 und 1 aufzeigt (Abb. 4 d). Diese lassen quantitative Aussagen über potentiell gefährdete Gebiete aufgrund naturräumlicher Einschränkungen zu.

7. Fazit und Ausblick

Moderne Entscheidungsunterstützungssysteme integrieren GIS-, Fernerkundungs-, Modell- und DSS-Funktionalitäten in Abhängigkeit von implementiertem Expertenwissen. In diesem Beitrag wird ein methodischer Ansatz beschrieben, wie solche Systeme unter Verwendung von ArcGIS Engine und Java entwickelt werden können. Anhand eines Fallbeispiels wird aufgezeigt, dass die programmierten SDSS den vollen Umfang der gesetzten Anforderungen enthalten und anwenderfreundlich, funktional entworfen wurden.

Mit der Umstellung von ArcGIS Engine 9.1 auf ArcGIS Engine 9.2 (diese Version befindet sich z. Z. in Auslieferung)

werden die MS® Access Personal Geodatabases in File Based Geodatabases konvertiert, um den Anforderungen der Plattformunabhängigkeit völlig gerecht zu werden.

8. Danksagung

Diese Arbeit ist Teil von IMPETUS und wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen von GLOWA unter den Fördernummern 01 LW 06001A und 01 LW 06001B sowie durch das Ministerium für Innovation, Wissenschaft, Forschung und Technologie Nordrhein-Westfalen unter der Fördernummer 313-21200200 finanziert. ■

AUTOREN

XXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXX

Literatur:

ARMSTRONG, A. P., & DENSHAM, P. J. (1990): Database organization strategies for spatial decision support systems.- *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(1), 3-20.

EL-NAJDAMI, M. K. & STYLIANOU, A. C. (1993): Expert support systems: integrating AI Technologies.- *Communications of the ACM* 36(2), 55-65.

ENDERS, A., LAUDIEN, R., BARETH, G. & DIEKKRÜGER, B. (in prep.): Development of the Java based framework as a platform to implement Spatial Decision Support Systems.-

GOODCHILD, M., & DENSHAM, P. (1993): Initiative 6: Spatial decision support systems (1990-1992).- Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis.

KEENAN, P. (1996) Using a GIS as a DSS Generator.- In J. Darzentas, J. S. Darzentas, & T. Spyrou (Eds.), *Perspectives on DSS*. University of the Aegean, Greece, 33-40.

LAUDIEN, R., GIERTZ, S., THAMM, H.-P., DIEKKRÜGER, B. & BARETH, G. (2006): Customizing ArcGIS for spatial decision support - Case study: Locating potential small water reservoirs in Benin.- *Proceedings of Spie, Geoinformatics 2006*, 28-29.10.2006,

Wuhan, China, 64210KY, ISSN 0277-786X, ISBN 0-8194-6530-5.

LAUDIEN, R., RÖHRIG, J., BARETH, G. & MENZ, G. (in review): Spatial Decision Support System zur Modellierung der agrarischen Marginalität in Benin (Afrika), AGIT 2007, Salzburg.

LEUNG, Y. (1997): *Intelligent Spatial Decision Support Systems*.- Springer - Verlag, Berlin.

MALCZEWSKI, J. (1999): *GIS and multicriteria decision analysis*, Wiley, New York.

MANOLI, E., ARAMPATZIS, G., PISSIAS, E., XENOS, D. & ASSIMACOLOULOS, D. (2001): Water demand and supply analysis using a spatial decision support system.- *Global NEST: The International Journal*, 3(3), 199-209.

ROYCE, W. W. (1970): Managing the development of large software systems.- In: *IEEE WESCON*, Aug. 1970, S. 1-9 (Nachdruck in *Proceedings of the 9th International Conference on Software Engineering*, 1987, Monterey, CA., S. 328-338).

RÖHRIG, J. & MENZ, G. (2005): The determination of natural agricultural potential in Western Africa using the fuzzy logic based marginality index.- *EARSel eProceedings* 4 (1), 9-17.

http://www.rsrg.unibonn.de/RSRGwww/Deutsch/Publikationen/earsel_e proceedings_04_1_roehrig1.pdf

SINGH, A. (2004): *Towards decision support models for an ungauged catchment in India, the case of Anas catchment*.- Dissertation an der Universität Karlsruhe, Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften, Karlsruhe.

SPETH, P., DIEKKRÜGER, B., CHRISTOPH, M. & JAEGER, A. (2005): *IMPETUS-West Africa-An integrated approach to the efficient management of scarce water resources in West Africa - Case studies for selected river catchments in different climate zones*.- DLR- Projektträger im DLR (eds.), GLOWA - German Programme on Global Change in the Hydrological Cycle, Status Report 2005, 86-94.

TURBAN, E., ARONSON, J. E. & LINAG, T. P. (2005): *Decision support systems and intelligent systems*.- Prentice Hall, New York.

YEH, A. (1999): *Urban planning and GIS*.- In: P.A. LONGLEY, M.F. GOODCHILD, D.J. MARGUIRE, and D.W. RHIND (eds.), *Geographic information system*.- Vol.2, John Wiley and Sons, New York.