

---

# Spatial Decision Support System zur Modellierung der agrarischen Marginalität in Benin (Westafrika)

Rainer LAUDIEN, Julia RÖHRIG, Georg BARETH & Gunter MENZ

## Zusammenfassung

Eine nachhaltige Nutzung agrarischer Produktionsstandorte ist für die Gewährleistung der Ernährungssicherheit in stark landwirtschaftlich geprägten Entwicklungsländern wie Benin von entscheidender Bedeutung. Dabei bestimmen vor allem naturräumliche Bedingungen und Einschränkungen die landwirtschaftliche Nutzung. Um erste Empfehlungen für eine angepasste Landnutzung aussprechen zu können, zeigt diese Studie die Modellierung der agrarischen Marginalität im Rahmen eines räumlichen Entscheidungsunterstützungssystems (*Spatial Decision Support System (SDSS)*) nach CASSEL-GINTZ et al. (1997). Der Ansatz wurde dabei auf die nationale Skala angepasst und entsprechend modifiziert.

Mit *Fuzzy Logic* werden diverse naturräumliche Beschränkungsfaktoren in einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km quantifiziert und über einen logischen Entscheidungsbaum zu einem Index, dem so genannten Marginalitätsindex für die landwirtschaftliche Produktion zusammengefasst. In die Entscheidungsunterstützungsalgorithmen fließen Geodaten aus den Bereichen der Klimatologie (aktuelle und potenzielle Evapotranspiration, Niederschlag), der Topographie (Hangneigung, Gewässernetz), der Bodenkunde (Bodenfruchtbarkeit) und der Biologie (Vegetation) ein. Marginale Standorte lassen aufgrund naturräumlicher Einschränkungen nur begrenzte landwirtschaftliche Nutzungsaktivitäten zu. Außerdem besteht eine erhöhte Gefahr der Landdegradation bei Intensivierung der Nutzung, weshalb für den Schutz der Produktionsgrundlagen bei Veränderungen der Umweltbedingungen oder zunehmendem Druck auf die Ressourcen entsprechende Anpassungen zwingend notwendig sind.

Um Vorsorgemaßnahmen rechtzeitig in die Wege zu leiten, müssen daher Veränderungen naturräumlicher Bedingungen für die Landwirtschaft (aufgrund globaler Umweltveränderungen) ebenso wie demographische und sozioökonomische Einflussfaktoren analysiert und Entscheidungsträgern zur Verfügung gestellt werden.

In dem vorliegenden Beitrag wird der aktuelle Stand der softwaretechnischen Umsetzung eines plattformunabhängigen SDSS vorgestellt, das zukünftig Vorort in Benin eingesetzt werden soll. Zur Realisierung der SDSS-Software wurde die Programmiersprache JAVA in Kopplung mit ArcGIS Engine (ESRI®) verwendet. Die Geodaten, die als Eingangsvariablen in die Berechnungsalgorithmen eingehen, sind in einer MS® Access Personal Geodatabase archiviert. Das hier vorgestellte SDSS ist ein Teilsystem des IMPETUS Spatial Decision Support Systems (ISDSS). Innerhalb des ISDSS werden gegenwärtig eine Vielzahl unterschiedlichster SDSS für nachhaltiges Wassermanagement in Benin und Marokko entwickelt (LAUDIEN 2007).

## 1 Einleitung

In dem laufenden Forschungsprojekt IMPETUS (= Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika) der Universitäten Köln und Bonn werden seit 2001 in einem interdisziplinären Ansatz unterschiedliche Komponenten wesentlicher Aspekte des hydrologischen Kreislaufes und ihre Interaktionen am Beispiel zweier Flusseinzugsgebiete in Westafrika (Benin und Marokko) untersucht (SPETH et al. 2006). In der dritten Projektphase von IMPETUS (2006-2009) liegt das Hauptaugenmerk auf der Entwicklung und Implementierung von räumlichen Entscheidungsunterstützungssystemen (*Spatial Decision Support Systems* = SDSS). Diese SDSS sollen Entscheidungsunterstützungen und Handlungsoptionen für verschiedene Aspekte des Süßwassermanagements und der räumlichen Planung gewährleisten. Räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme vereinen GIS, Fernerkundung, numerische Modellierung und Expertenwissen. Im Rahmen der dritten Projektphase sollen solche Systeme spezifisch der Anforderungen und Fragestellungen von IMPETUS entwickelt werden. Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen beider Universitäten arbeiten dabei in konkreten Fragestellungen interdisziplinär zusammen (z. B. aus den Bereichen der Agrarökonomie und -politik, Ethnologie, Geographie, Geologie, Meteorologie, Pflanzenbau und -produktion, Biologie, Medizin, u. a.).

Der Problemkomplex PK Be-E6 beschäftigt sich beispielsweise in einer interdisziplinären Studie mit der *Erhaltung der agrarischen Produktionsgrundlagen unter Berücksichtigung des Globalen Wandels*. Ein Kernelement ist dabei die Berechnung des Marginalitätsindex, welcher vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung gemeinsam mit dem Max-Planck Institut in Hamburg in einer räumlichen Auflösung von  $0,5^\circ$  global entwickelt wurde (CASSEL-GINTZ et al. 1997, LÜDEKE et al. 1999). Marginale Standorte lassen aufgrund ungünstiger Wachstumsbedingungen durch bestehende naturräumliche Einschränkungen nur begrenzte landwirtschaftliche Nutzungsaktivitäten bei einem relativ niedrigen Ertragsniveau zu. Des Weiteren sind diese Räume durch eine hohe Gefährdung der Produktionsgrundlagen durch Landdegradierung bei schon leichter Intensivierung charakterisiert. Der Ansatz wurde durch RÖHRIG und MENZ (2005) modifiziert und für Westafrika regionalisiert. Mittels des Index können naturräumlich bedingte marginale agrarische Standorte sowie deren spezifische naturräumliche Beschränkungsfaktoren identifiziert und quantifiziert werden. Durch die Integration zum Beispiel von Klimaveränderungen (z. B. der Niederschläge) lassen sich interessante Szenarien berechnen. Über die Lokalisierung der naturräumlichen Einschränkungen können notwendige Kompensationsmaßnahmen abgeleitet bzw. angepasste Landnutzungsformen definiert werden. Ferner lassen sich damit potenzielle Räume für geplante Ressourcenschutzmaßnahmen oder Aufforstungen ausweisen.

Die vorliegende Untersuchung zeigt die Entwicklung des SDSS zur Modellierung der agrarischen Marginalität in Benin auf. Um den nationalen Entscheidungsträgern (Ministerien, beratende wissenschaftsnahe Institutionen und Organisationen aus der Entwicklungszusammenarbeit) plattformunabhängige Softwaretools bereitstellen zu können, wurde dieses SDSS mit der Programmiersprache JAVA modular entwickelt. Durch die Verwendung der Bibliothek ArcGIS Engine (ESRI®) werden dabei dem Anspruch der Entwicklung eines fernerkundungs- und modellgekoppelten Systems gerecht. In einem weiteren Entwicklungs-

schritt werden relevante sozioökonomische und demographische Faktoren zur Bestimmung des anthropogenen Drucks auf Produktionsstandorte und zu Anbaumethoden sowie Daten zur Landdegradation in das SDSS integriert werden. Ferner werden Szenarien im Rahmen des IMPETUS-Projektes implementiert.

## 2 Spatial Decision Support Systems (SDSS)

Räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme, im englischen *Spatial Decision Support Systems* (SDSS), vereinen im Wesentlichen Funktionalitäten und Module eines Geographischen Informationssystems (GIS), eines *Decision Support Systems* (DSS) und bedienen sich, je nach Bedarf, einer oder mehrerer Fernerkundungsanalysen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Ankopplung von numerischen, statistischen oder Expertenmodelle, um den Anforderungen eines umfassenden Entscheidungsunterstützungswerkzeugs gerecht zu werden (LAUDIEN et al. 2006). Im Folgenden sollen Entscheidungsunterstützungssysteme erläutert werden.

Die einschlägige Literatur weist keine konsistente Definition des Begriffs *Decision Support System* auf (LEUNG 1997, SINGH 2004, TURBAN et al. 2005). Dennoch kann ein DSS grundlegend als ein computerbasierendes System angesehen werden, das es dem Anwender ermöglicht, semi-strukturelle Prozesse unter Verwendung umfangreicher Datensätze und analytischen Modellen abzuarbeiten (EL-NAJDAMI & STYLIANOU 1993). Diese Begriffserklärung zeigt auf, dass der Lösungsweg eines DSS keinesfalls als trivial angesehen werden kann. Die komplexen Ergebnisse sind im Allgemeinen interdisziplinäre Lösungen weshalb der übergeordnete Ansatz eines DSS in der Verfügungsstellung unterschiedlichster Methoden und Ergebnissen besteht. Daher müssen bei der Entwicklung eines DSS 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 Analysemodellen, der Visualisierung und Evaluation der verwendeten Modelle sowie der Entwicklung von Managementstrategien (Keenan 1996, Leung 1997, Malczewski 1999, Manoli et al. 2001, Yeh 1999).

Zusammenfassend lässt sich also ein modernes, datenumfassendes SDSS als ein räumliches Entscheidungsunterstützungswerkzeug definieren, das gleichermaßen räumliche Analysen, numerische Modellierung und Expertenwissen vereint und spezifisch der eindeutigen Fragestellung dem Entscheidungsträger Lösungsvorschläge anbietet (LAUDIEN 2007).

### 3 Material und Methoden

Die Berücksichtigung der Bedürfnisse und des Wissensstands der potentiellen Anwender ist entscheidend für den erfolgreichen Einsatz eines SDSS. Daher spielt bei der Entwicklung eines solchen Systems die Bedarfsanalyse sowie die Definition der späteren Benutzer eine wesentliche Rolle. Da eine Vielzahl der Entscheidungsträger Experten in ihrem Arbeitsgebiet sind, aber nicht unbedingt auch ausgebildet in Bezug auf GIS/SDSS-Computertechnologie und –software, muss die SDSS Entwicklung diese, gleichermaßen wie auch die fortgeschrittenen Benutzer bedienen. Es müssen Werkzeuge bereitgestellt werden, die eine Entscheidungsunterstützung, basierend auf einem definierten Entscheidungsbaum, generieren. Zusätzlich soll das entwickelte SDSS es den Experten ermöglichen, durch ihr Wissen die Prozessierung der Daten verändern zu können. Im Folgenden wird dieser SDSS Entwicklungsansatz für die Modellierung der agrarischen Marginalität beschrieben und erläutert.

#### 3.1 Daten und Modelle

Für die Modellierung der agrarischen Marginalität werden verschiedene naturräumliche Beschränkungsfaktoren mittels Fuzzy-Logik quantifiziert und zu einer Größe, dem *Marginalitätsindex für die landwirtschaftliche Produktion*, zusammengefasst. Die Fuzzy-Logik ist ein Teilbereich der Mathematik, genauer gesagt der unscharfen Mathematik. Sie stellt eine Erweiterung der Bool'schen Algebra dar: Neben der Unterscheidung zwischen Zugehörigkeit (wahr oder 1) und Nicht-Zugehörigkeit (falsch oder 0) von Elementen einer bestimmten Referenzmenge zu einer interessierenden Untermenge, kommt eine graduelle Zugehörigkeit (TRAEGER 1994, KRUSE et al. 1993). In der Fuzzy-Logik sind demnach Aussagen erlaubt, deren Wahrheitsgehalt zwischen ‚wahr‘, der logischen 1, und ‚falsch‘, der logischen 0, liegen. Für die Berechnung des Marginalitätsindex werden folgende Beschränkungsfaktoren der landwirtschaftlichen Nutzung berücksichtigt: Limitierung durch (i) ein geringes natürliches Pflanzenwachstum, (ii) Licht oder Temperatur, (iii) Aridität, (iv) Niederschlagsvariabilität und (v) unfruchtbare Böden und steile Hangneigung.

Zusätzlich wird über den Faktor der Bewässerungskapazitätsdichte ein Kompensationsfaktor integriert, wobei Aridität nahe Gewässer ohne großen Kapitalinput ausgeglichen werden kann (CASSEL-GINTZ et al. 1997, LÜDEKE et al. 1999).

Für diese Begrenzungsfaktoren wurden sechs Indikatoren und Datensätze gewählt, die gegenüber CASSEL-GINTZ et al. (1997) deutlich modifiziert wurden. Dabei wurden aus Fernerkundungsdaten abgeleitete Parameter, Projektdaten oder verfügbare nationale Datensätze aufgrund ihrer höheren räumlichen Auflösung gewählt und mittels geeigneter Ansätzen aufbereitet:

1. *Maximale potenzielle oberirdische Biomasse* nach BROWN et al. (1996).
2. *Ariditäts-Koeffizient*, berechnet über den Quotient aus aktueller und potenzieller Evapotranspiration. Dieser Datensatz wurde nach dem Ansatz von RICHTERS (2005) aus frei verfügbaren MODIS Daten generiert.
3. *Interannuelle Variabilität des Niederschlagsmusters in der Vegetationsperiode* berechnet aus Niederschlagsdaten des REMO Modells (PAETH et al. 2005)
4. *Bewässerungskapazitätsdichte* abgeleitet aus dem digitalen SRTM-Geländemodell (Shuttle Radar Topography Mission), das kostenlos im Internet verfügbar sind (z. B.

U.S. Geological Survey, EROS Data Center: <http://edc.usgs.gov/> (FARR & KOBRICK 2000).

5. *Bodenfertilität* abgeleitet aus der ORSTOM-Bodenkarte Benins nach dem Ansatz von LEVEQUE (1978).
6. *Hangneigung* abgeleitet aus dem DGM (selber Datensatz wie bei 4.).

Bevor der Marginalitätsindex berechnet werden kann, müssen in einem ersten Schritt zunächst die Ausgangsvariablen fuzzifiziert werden (vgl. CASSEL-GINTZ et al. 1997). ‚Fuzzifizierung‘ bedeutet, dass für jede Variable eine geeignete linguistische Kategorie wie ‚hoch‘ oder ‚niedrig‘ gewählt werden muss. Mittels dieser Kategorie kann der Zugehörigkeitsgrad (Werte zwischen 0 und 1) dieser Variable bezüglich ihres Beitrags zur landwirtschaftlichen Marginalität ausgedrückt werden. Der Zugehörigkeitsgrad entspricht demnach der Einschränkung der landwirtschaftlichen Produktion in diesem Raum aufgrund des Begrenzungsfaktors. Dabei wurden die linguistischen Kategorien so gewählt, dass bei dem Wert 0 mit keinen Einschränkungen für die landwirtschaftliche Produktion aufgrund des Begrenzungsfaktors gerechnet werden muss. Werte nahe 1 hingegen bedeuten, dass ohne einen gewissen Kapitaleinsatz keine nachhaltige Landwirtschaft möglich ist. Eine nachhaltige Landwirtschaft impliziert in diesem Fall eine langfristige ressourcenschonende und an die gegebenen naturräumlichen Bedingungen angepasste Nutzung. Zwischen diesen „Grenzwerten“ wird generell eine lineare Funktion angenommen. Die Festlegung der Grenzwerte basiert für jede Variable auf Wissen nationaler Experten, eigenen Feldarbeiten und Literaturangaben. Die Berechnung des Marginalitätsindex erfolgt anschließend anhand eines so genannten ‚logischen Entscheidungsbaumes‘ (Abb. 1, unten rechts). Über ihn werden die Art und Weise der Verknüpfungen der fuzzifizierten Ausgangsvariablen bestimmt. Dieser fasst damit die qualitativen Argumente für oder gegen eine Marginalität zusammen (CASSEL-GINTZ et al. 1997). Beide Berechnungsschritte wurden mittels der IDL-Programme umgesetzt, die als Grundlagen für die SDSS-Umsetzung dienen.

Alle Geodaten, die für die Fuzzifizierung in den SDSS Algorithmus eingehen, sind in einer Microsoft® Access basierenden *Personal Geodatabase* gespeichert. Diese kann während der Laufzeit des SDSS problemlos an das System gekoppelt und somit angesprochen werden.

### 3.2 Entwicklungsumgebung

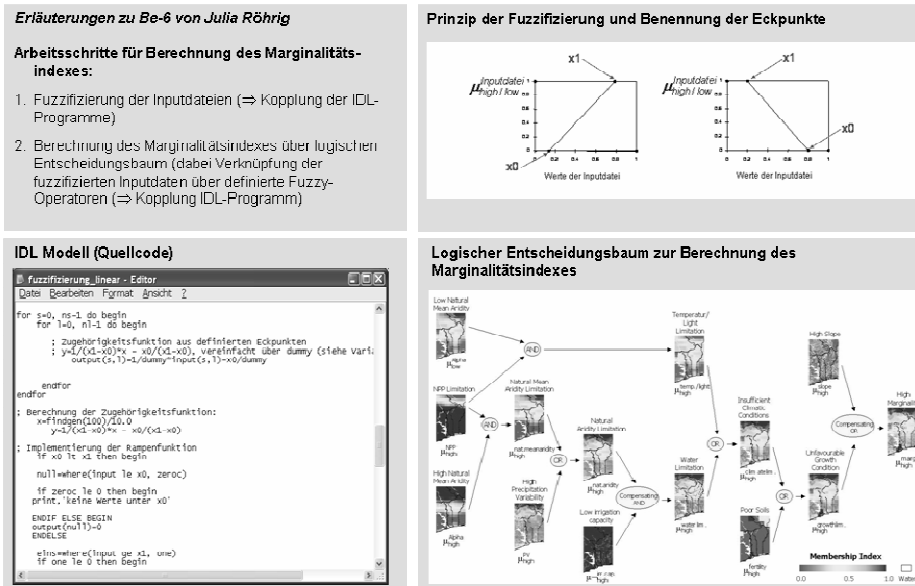
Für die SDSS Entwicklung wird die objektorientierte Programmiersprache Java eingesetzt. In Java geschriebene Programme werden in Bytecode übersetzt und in einer speziellen Umgebung ausgeführt, die als Java-Laufzeitumgebung bezeichnet wird. Deren wichtigster Bestandteil ist die *Java Virtual Machine*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

Um der Vorgabe der GIS und Fernerkundungsanwendungen innerhalb des SDSS gerecht zu werden, wird ArcGIS Engine als Entwicklerbibliothek in das Java-Programm integriert. Mit ArcGIS Engine hat der Entwickler die Möglichkeit eigene GIS Funktionalitäten in einer Sprache seiner Wahl (z. B. C++, VB, .NET, Java) in den Quellcode seiner Entwicklung und in bestehende Frameworks einzubinden. Bei der Ausführung der Java Programme wird neben der Java-VM auch das ArcGIS Engine Runtime Environment eingesetzt.

Entwickelt wurde das SDSS mit der freierhältlichen Entwicklungssoftware Eclipse SDK. Dieses umfasst die Eclipse Plattform (Eclipse 3.2), Werkzeuge zur Java-Entwicklung und die Umgebung zur Entwicklung von Eclipse-Plugins.

### 3.3 Methodischer Ansatz

In dem SDSS-Designprozess wurde auf die geforderten, spezifischen Vorgaben und Anforderungen geachtet (siehe Abb. 1). In dem Fall der SDSS Entwicklung des hier beschriebenen Systems, wurde ein dynamischer Ansatz gewählt, der in zwei Module unterteilt werden kann (Abb. 1, oben links).



**Abb. 1:** Erläuterungen für den Designprozess des SDSS (ol = Kurzbeschreibung der zwei Module, or = Prinzip des linearen Fuzzifizierungsalgorithmus, ul = Ausschnitt des IDL Codes zur Fuzzifizierung, ur = flow chart des Entscheidungsbaums)

Modul 1 soll dem potentiellen Nutzer die Möglichkeit bieten, alle Eingangsrasterdaten aus der Geodatenbank auszulesen und vor der Berechnung des Marginalitätsindex zu fuzzifizieren. Die dafür benötigten Werte, die den linearen Abschnitt der Zugehörigkeitsfunktion ( $x_0$  und  $x_1$ ) definieren, müssen deshalb vor der Berechnung frei editierbar sein (Abb. 1, oben rechts). Diese Änderung der vordefinierten Werte von  $x_0$  und  $x_1$  soll zum einen direkt über die Keyboard-Eingabe und zum anderen über das Abgreifen des Pixelwertes des jeweiligen Eingangsrasterdatensatzes ermöglicht werden. Das heißt, der Entscheidungsunterstützungsprozess kann, basierend auf dem Expertenwissen, individuell angepasst werden. Die so ermittelten oder übernommenen Eckpunkte fließen in den Fuzzifizierungsalgorithmus

ein, der alle Pixelwerte  $x < x_0 = 0$  und  $x > x_1 = 1$  setzt, wenn  $x_0 < x_1$  bzw. alle Pixelwerte  $x > x_0 = 0$  und  $x < x_1 = 1$  setzt, wenn  $x_0 > x_1$ . Pixelwerte zwischen  $x_0$  und  $x_1$  werden durch die Zugehörigkeitsfunktion dem Wertebereich  $0 \leq x \leq 1$  zugewiesen (Abb. 1, unten links). Als Ergebnis dieses Moduls des SDSS, werden die fuzzifizierten Rasterdaten in einen temporären Ordner abgelegt.

Modul 2 berechnet den Marginalitätsindex basierend auf den fuzzifizierten Rasterdaten des Moduls 1. Dafür wird der SDSS Quellcode in Anlehnung eines hierarchischen Entscheidungsbaums entwickelt, der die Verschneidung der einzelnen Inputdaten eindeutig definiert (Abb. 1, unten rechts). Dabei werden die in CASSEL-GINTZ et al. (1997) beschriebenen vier Entscheidungsoperatoren umgesetzt:

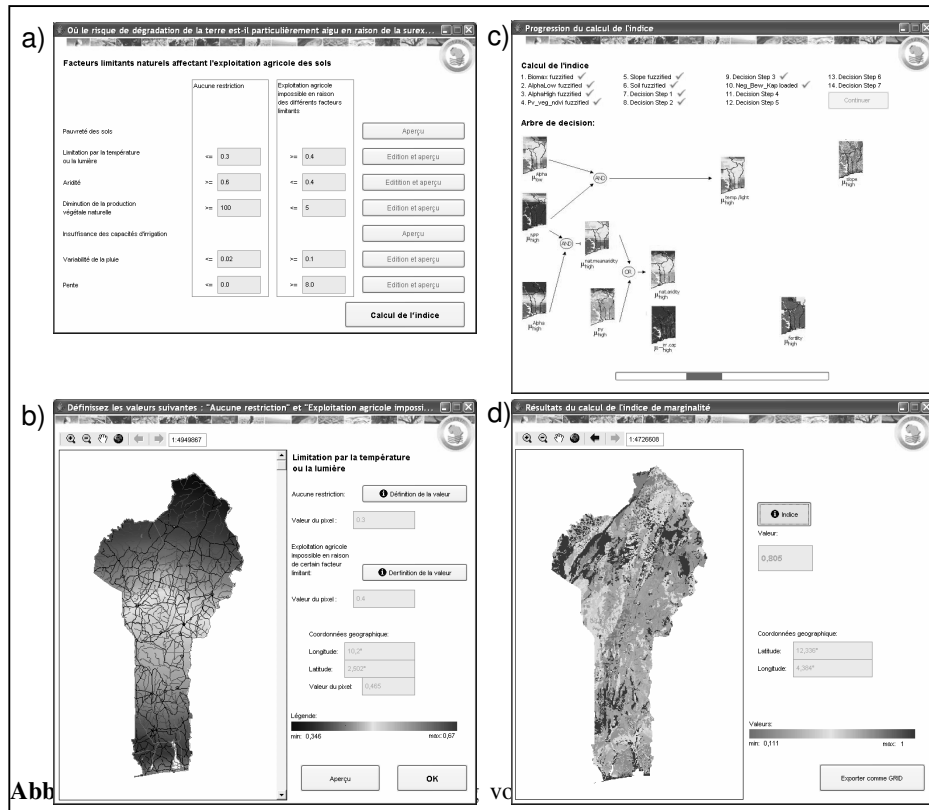
AND:  $x_{\min}$  von  $x_{\text{input1}} \cap x_{\text{input2}}$   
 OR:  $x_{\max}$  von  $x_{\text{input1}} \cap x_{\text{input2}}$   
 CompAND:  $x = x_{\text{input1}} + x_{\text{input2}} - 1$   
 CompOR:  $x = (1 - (1 - x_{\text{input1}})^a)^b * (1 - x_{\text{input2}})^c * ((x_{\text{input1}}^a)^b * (x_{\text{input2}}^b))^{(1-c)}$   
 wobei a, b, c definierte Konstanten darstellen.

Als Ergebnis dieser Operation wird ein Rasterdatensatz erzeugt, dessen Wertebereich zwischen 0 und 1 liegt. Dieser lässt quantitative Aussagen über den Grad der Marginalität einer Fläche und damit über potentiell übernutzungs- und degradationsgefährdete Gebiete aufgrund naturräumlicher Einschränkungen zu.

## 4 Ergebnis

Die aktuellen softwaretechnischen Umsetzungen des hier beschriebenen SDSS sind in Abb.2 anhand von vier Screenshots dargestellt.

Bei dem Programmstart des SDSS öffnet sich der *startFrame*, der dem Benutzer Informationen zu dem SDSS bietet. Dieser ist zeitgesteuert programmiert, so dass er sich nach einer definierten Zeitspanne automatisch schließt und der *mainFrame* geöffnet wird. In diesem ist eine Auflistung der Eingangs rasterdaten mit den jeweiligen, vordefinierten Eckwerten der Zugehörigkeitsfunktion ( $x_0$  und  $x_1$ ) abgebildet (Abb. 2a). Neben der direkten Editierung dieser Werte via Keyboardeingabe, hat der Anwender die Möglichkeit über einen Mausklick auf den Bearbeitungs- bzw. Vorschau-Button rechts der Werteeingabe (Editon/Apercu) in den *editFrame* zu gelangen (Abb. 2b). Im *editFrame* wird der jeweilige Rasterdatensatz automatisch aus der Geodatenbank geladen. Neben dieser Rasterinformation werden, zur besseren Orientierung ebenfalls automatisiert, diverse Vektordaten (Städte, Gewässernetz, administrative Grenzen, u.a.) aus der Geodatenbank geladen und visualisiert. Über die Infobuttons „min“ und „max“ (min/max) wird eine im Javaquellcode verankerte Funktion aktiviert, die es dem Nutzer ermöglicht, auf dem Raster spezifische  $x_0$ - und  $x_1$ -Werte abzugreifen und dem Fuzzifizierungsalgorithmus zur Verfügung zu stellen. Durch die „ok“-Bestätigung gelangt der Anwender wieder zum *mainFrame*.



Abb

VC

SDSS (a = mainFrame, b = editFrame, c = progressFrame, d = visualizeFrame)

Mit einem Mausklick auf den Button im *mainFrame*, der die Fuzzifizierung und die daran anschließende Marginalitätsindexberechnung startet, öffnet sich der *progressFrame* (Abb. 2c). Dieser gibt Aufschluss über die verschiedenen Schritte der SDSS-Prozesse und den Status der Berechnung. Die SDSS-Stadien werden zusätzlich, während der Laufzeit des Programms, im unteren Teil des *progressFrames* schrittweise visualisiert. Nach erfolgreicher Prozessierung öffnet sich der *visualizeFrame*, in dem das Ergebnistraster des Marginalitätsindex dargestellt wird (Abb. 2d). Über den Infobutton kann der Entscheidungsträger die Indexwerte einzelner Pixel abgreifen. Pixelwerte mit  $x = 0$  zeigen in diesem Zusammenhang Bereiche sehr guter naturräumlicher Bedingungen für die landwirtschaftliche Produktion auf, Pixelwerte mit  $x = 1$  diejenigen Gebiete, die ohne einen gewissen Kapitalinput zur Kompensierung der naturräumlichen Beschränkungen keine nachhaltige agrarische Nutzung zulassen.



## 5 Fazit

Diskussionen mit potentiellen Anwendern in Benin deuten auf die richtige Auswahl der angewendeten Methoden hin.

Die potentiellen Nutzer haben bei der Vorstellung der ersten Version Vorort ein großes Interesse an dem SDSS gezeigt. Insbesondere an der visuellen Aufbereitung der möglichen Veränderungen der naturräumlichen Bedingungen im Rahmen des Globalen Wandels. Die gewählten Begrenzungsfaktoren bilden laut potentielltem Nutzerkreis die Thematik ausreichend detailliert ab und die berechneten Ergebnisse des Marginalitätsindex wurden in den Diskussionen bestätigt. In der weiterführenden Entwicklung liegt der Wunsch zum einen in der Integration sozioökonomischer Daten und Szenarien in den Berechnungsalgorithmus. Zum anderen müssen folgende Versionen des SDSS detaillierte Informationen zu den Datensätzen und Berechnungsalgorithmen aufzeigen, sowie eine Validierung der Ergebnisse implementiert haben. Außerdem sollen konkrete Fragestellungen integriert werden, wie beispielsweise die Abfrage des jeweiligen Hauptbeschränkungsfaktors für konkrete Pixel, oder Möglichkeiten der Kompensation.

## 6 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.

## 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.
- BROWN, S., GASTON, G. & DANIELS, R. C. (1996): Tropical Africa, Land Use, Biomass, and Carbon Estimates for 1980. With a Method for Extending the Data to 1990 and Beyond.- *Environmental Sciences Division 4566*, Oak Ridge, Tennessee.
- CASSEL-GINTZ, M. A., LÜDEKE, M. K. B., PETSCHER-HELD, G., REUSSWIG, F., PÖCHL, M., LAMMEL, G. & SCHELLNHUBER, H.J. (1997): Fuzzy logic based global assessment of marginality of agricultural land use.- *Climate Research* 8(2), 135-150.
- EL-NAJDAMI, M. K. & STYLIANOU, A. C. (1993): Expert support systems: integrating AI Technologies.- *Communications of the ACM* 36(2), 55-65.
- FARR, T.G. & KOBRICK, M. (2000): Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data.- *American Geophysical Union Eos* 81, 583-585.
- 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. (1997) Using a GIS as a DSS Generator.- [http://mis.ucd.ie/staff/pkeen/gis\\_as\\_a\\_dss.html](http://mis.ucd.ie/staff/pkeen/gis_as_a_dss.html).

- KRUSE, R., GEBHARDT, J. & KLAWONN, F.(1993): Fuzzy-Systeme, Stuttgart
- 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. (2007): Entwicklung räumlicher Entscheidungsunterstützungssysteme unter Verwendung von ArcGIS Engine und Java.- GIS, in prep.
- LEUNG, Y.(1997): Intelligent Spatial Decision Support Systems.- Springer - Verlag, Berlin.
- LEVEQUE, A. (1978): Ressources en sols du Togo. Carte à 1/200 000 des unités agronomiques déduites de la carte pédologique. Socle granito-gneissique limité à l'ouest et au nord par les Monts Togo.- ORSTOM (eds.), Notice Explicative 73.
- LÜDEKE, M. K. B., MOLDENHAUER, O. & PETSCHEL-HELD, G. (1999): Rural poverty driven soil degradation under climate change. The sensitivity of the disposition towards the Sahel Syndrome with respect to climate.- Environmental Modelling and Assessment 4, 315-326.
- 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.
- PAETH, H., BORN, K., PODZUN, R. & JACOB, D (2005): Regional dynamical downscaling over West Africa: Model evaluation and comparison of wet and dry years.- Meteorologische Zeitschrift 14, 349-367.
- RICHTERS, J. (2005): Erfassung von pflanzlicher Biomasse im nordwestlichen Namibia - eine fernerkundungsgestützte Modellierung.- Dissertation in der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bonn, Bonn.
- 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.rsrge.unibonn.de/RSRGwww/Deutsch/Publikationen/earsel\\_e proceedings\\_04\\_1\\_roehrig1.pdf](http://www.rsrge.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–Projekträger im DLR (eds.), GLOWA – German Programme on Global Change in the Hydrological Cycle, Status Report 2005, 86-94.
- TRAEGER, D. H. (1994) Einführung in die Fuzzy-Logik.- Stuttgart.
- 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. MAGUIRE, and D.W. RHIND (eds.), Geographic information system.- Vol.2, John Willey and Sons, New York.