
Universität Potsdam, Institut für Geographie, Abteilung Geoinformatik

KOPPLUNG VON GIS UND ZELLULÄREM AUTOMATEN ZUR MODELLIERUNG UND SIMULATION VON OFFENLANDFLÄCHEN

Dr. Anja Wagner

Einleitung: Die vorgestellten Ergebnisse sind Teil des BMBF-geförderten interdisziplinären Projektes »Offenland-Management auf ehemaligen und in Nutzung befindlichen Truppenübungsplätzen« (FKZ 01LN0008) und wurden als Dissertation an der Universität Potsdam eingereicht.

Schlüsselwörter: Truppenübungsplatz, Offenland, Modellierung, Analyse, Landschaftsstrukturmaße, Simulation, Szenarienbildung, Zellulärer Automat

Zusammenfassung: Für die Analyse und Präsentation der innerhalb des interdisziplinären Projektes »Offenland-Management auf ehemaligen und in Nutzung befindlichen Truppenübungsplätzen« erfassten Daten wurde das Fachinformationssystem (FIS) »Offenland« entwickelt. Dieses FIS nutzt verschiedene Landschaftsstrukturmaße in unterschiedlichen Skalierungen zur Analyse des Ist-Zustandes der Offenlandflächen und deren bisheriger Entwicklung durch Verarbeitung von Datenbeständen verschiedener Zeiträume. So konnten Flächenveränderungen detektiert und dokumentiert werden.

Zur Simulation der zukünftigen Flächenentwicklung – beeinflusst durch verschiedene Eingriffe – wurde das auf der Basis eines Zellulären Automaten entwickelte Tool AST4D eingesetzt. Damit war die Bildung verschiedener Szenarien möglich, d.h. die Simulation mit verschiedenen (bekannten) Eingangsparametern und den daraus resultierenden unterschiedlichen (unbekannten) Endzuständen. Diese Ergebnisse konnten zur Einleitung bzw. Fortführung bestimmter Methoden und Konzepte zur Offenhaltung und Entwicklung der ehemaligen Truppenübungsplätze genutzt werden.

// COUPLING GIS AND CELLULAR AUTOMATA FOR OPEN RANGE-MODELLING AND OPEN RANGE-SIMULATION

// Introduction: The presented results are part of the interdisciplinary project »open range-management on former and still used military training areas« (FKZ 01LN0008) promoted by the BMBF. They were submitted as thesis at the University of Potsdam.

Key words: military plains, open range, modelling, analysis, landscape metrics, simulation, scenarios, cellular automata

Abstract: To analyse and present the data collected within the interdisciplinary project »open range-management on former and still used military training areas« the specialized information system »Open Range« has been developed and implemented. It uses landscape metrics for different scalings to analyse actual state of local conditions as well as the land surface developments by using multitemporal data. Therefore surface changes could be detected and documented.

To simulate the future surface development – affected by different influences – the AST4D GIS tool based on the mathematical model of cellular automata was used. This model allows different scenarios, i.e. simulation with different (known) input parameters and different (unknown) target conditions. These results were used for the introduction and/or continuation of certain methods and concepts to preserve the open plains and to develop the former military training areas.

Anschrift der Autorin

Dr. Anja Wagner
Verband für Landentwicklung und Flurneuordnung Brandenburg
Friedrich-Engels-Straße 23
14473 Potsdam
E: anja.wagner@vlf-brandenburg.de

1 EINFÜHRUNG UND METHODIK

Aufgrund des militärischen Betriebs auf ehemaligen und in Nutzung befindlichen Truppenübungsplätzen (TÜP) sind die Böden oft durch Munitions-, Treibstoff- und Schmierölrreste bis hin zu chemischen Kampfstoffen belastet. Allerdings existieren auf fast allen Liegenschaften neben diesen belasteten Bereichen auch naturschutzfachlich wertvolle Flächen; gerade bei den offenen Flächen kann dies durchaus mit einer Belastung durch Kampfmittel einhergehen. Charakteristisch für diese Offenlandbereiche, zu denen u.a. Trockenrasen, wüstenähnliche Sandflächen und andere nährstoffarme baumlose Lebensräume gehören, sind Großflächigkeit, Abgeschiedenheit sowie die Abwesenheit von land- und forstwirtschaftlichem Betrieb sowie von Siedlungsflächen. Diese Charakteristik war die Grundlage für die Entwicklung einer speziell angepassten Flora und Fauna.

Nach Beendigung des Militärbetriebs auf stillgelegten Truppenübungsplätzen setzte in weiten Teilen eine großflächige Sukzession ein, die diese offenen Bereiche teilweise bereits in Wald verwandelte und somit verschwinden ließ. Dies wiederum führte zum Verlust der an diese Offenlandflächen gebundenen Tier- und Pflanzenarten. Zur Erhaltung und Entwicklung dieser Flächen wurden daher von Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen in dem vom BMBF geförderten Projekt „Offenland-Management auf ehemaligen und in Nutzung befindlichen Truppenübungsplätzen im pleistozänen Flachland Nordostdeutschlands“ (FKZ 01LN0008, Anders et al. 2004) ausgewählte Maßnahmen, z.B. Beweidung mit Haus- und Wildtieren, Bodenbearbeitung sowie Kontrolliertes Brennen, auf ihre jeweilige Wirksamkeit innerhalb verschiedener TÜPs untersucht. So konnten schließlich die für die jeweiligen Standortbedingungen geeigneten Maßnahmen eingeleitet werden; als Referenzflächen dienten Bereiche mit freier Sukzession.

Voraussetzung für den gezielten Maßnahmeninsatz sind zum einen Kenntnisse zu diesen Standortbedingungen (Ist-Zustand) sowie zur bisherigen Entwicklung der Flächen (Dynamik). So kann eine Abschätzung über die zukünftige Flächenentwicklung getroffen werden. Geoinformationssysteme (GIS) spielen dabei eine entscheidende Rolle, da sie die Möglichkeit bieten, raum- und zeitbezogene Geometrie- und

Sachdaten in großen Mengen und auf verschiedenen räumlichen Skalen zu verarbeiten. Daher wurde ein fachspezifisches GIS für Truppenübungsplätze mit entsprechendem Datenmodell sowie den an die Fachanforderungen angepassten Erfassungs-, Analyse- und Präsentationsfunktionen entwickelt und implementiert. Die Daten für das GIS wurden aus Fernerkundungsdaten, amtlichen Daten, topographischen Karten sowie Geländekartierungen gewonnen.

Die Analysefunktionen wurden auf die Erfassung verschiedener Landschaftsstrukturmaße (LSM) ausgerichtet, da die Struktur der Offenlandbereiche „auf der Basis von flächen-, form-, randlinien-, diversitäts- und topologiebeschreibenden Kennzahlen objektiv“ dokumentiert werden sollte (v. Werder 1998). Durch die Herstellung des Zusammenhangs zwischen diesen Kennzahlen, einer ökologischen Größe, z.B. dem Vorkommen einer bestimmten Art oder einer landschaftsökologischen Funktion, und dem entsprechenden Raumbezug erhalten sie ihre ökologische Relevanz. Die Tatsache, dass die ermittelten LSM sowohl der Flächendynamik unterliegen und damit zeitabhängig sind, als auch auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen unterschiedliche Ausprägungen aufweisen und damit maßstabsabhängig sind, wirkte sich auch auf deren Analyse und Interpretation aus (O'Neill et al. 2002).

Für die Simulation der zukünftigen Flächenentwicklung wies die eingesetzte GIS-Software ArcView 3.2 (ESRI) zu viele Defizite auf (vgl. Simulation der zukünftigen Entwicklung der Offenlandflächen). Daher wurde das Simulationstool AST4D (Area Simulation Tool) entwickelt, das auf dem mathematischen Konstrukt des Zellulären Automaten fußt. Es ermöglicht die Bildung verschiedener Szenarien, d.h. die Simulation der Flächenentwicklung mit verschiedenen (bekannten) Eingangsparametern und den daraus resultierenden (unbekannten) Endzuständen. Vor der Durchführung der Simulation können angepasst an das jeweilige Untersuchungsgebiet benutzerspezifische Festlegungen getroffen werden.

2 DATEN

Als Datengrundlage für die Analysen stand ein komplexes fachthematisches DLM zur Verfügung. Das zunächst erstellte Digitale Situationsmodell (DSM, 2D), dem verschiedene Geobasisdaten (Topographische Kar-

ten, ATKIS-Daten, Fernerkundungsdaten der Landsat- und IRS-Satellitenreihen und des Daedalus-Sensors vom Typ ATM sowie die Ergebnisse ihrer Auswertung, eigene Erfassungen) als Grundlagen dienten, wurde durch Einbinden von Höhendaten zu einem Digitalen Landschaftsmodell ausgebaut (DLM, 3D); die thematische Komponente lieferte die Verknüpfung zum parallel aufgebauten Digitalen Fachmodell (DFM, vgl. Raumeinheiten). Die erhobenen Daten zur Vegetation und Zoologie markierten so die Anwendungsdomäne dieses Geoinformationssystems (Offenland-GIS). Die eingesetzten Geobasis- und Geofachdaten wurden durch die Beschreibung ihrer Eigenschaften, d.h. ihrer wesentlichen Qualitäten, zeitlich, räumlich und inhaltlich eingeordnet und bewertet. Erforderlich für die Beurteilung der Qualität der Auswertergebnisse war vor allem die Benennung der jeweiligen Erfassungsmethode und des Erfassungszeitpunktes, da nur Daten, die in gleicher Weise erfasst wurden, sich vergleichen und gemeinsam auswerten ließen.

3 ANALYSE DER BISHERIGEN ENTWICKLUNG DER OFFENLANDFLÄCHEN

Der Analyseansatz ergab sich aus den formulierten naturschutzfachlichen Fragestellungen, zu denen u.a. die Frage nach der Größe des Offenlandes als Voraussetzung für dessen Schutz gehörte. Dazu wurde die Abgrenzung dieser Offenlandflächen (Biotope) vorgenommen und geprüft, ab welcher Größe sie zu klein sind, um mit vertretbaren Mitteln offen gehalten werden zu können. Neben diesem Landschaftsparameter wurden ebenso die Lage, die Form, die Heterogenität sowie die Verbundenheit bzw. die Isolation der Flächen erforscht (vgl. Farina 1998), um die Voraussetzungen (den Ist-Zustand) erfassen, die zukünftige Entwicklung abschätzen und damit die Offenhaltungsmaßnahmen gezielt und effizient einsetzen zu können. Es sollte also die Frage beantwortet werden, wie Offenland idealerweise konfiguriert sein sollte, um optimalen Schutz gewährleisten zu können.

Primack (1993) stellte verschiedene Prinzipien für das Design schutzwürdiger Gebiete zusammen, die den Kategorien besser und schlechter zugeordnet wurden (Abb.1), deren Eindeutigkeit aber erst im Praxistest geklärt werden musste. Beispielsweise wurden auf den hier untersuchten Flä-

chen die entgegengesetzten Strategien Offenhaltung und Sukzession verfolgt, so dass die Aussage, ob eine ermittelte Kenngröße als positiv oder als negativ zu bewerten ist, jeweils abhängig vom verfolgten Ziel getroffen wurde (vgl. auch FIFB 1993).

Zur Quantifizierung der (visuellen) räumlichen Strukturen und damit zur objektiven Beschreibung der Offenlandbereiche wurden die o.g. als notwendig bewerteten Landschaftsstrukturmaße u.a. mit der ArcView-Erweiterung PatchAnalyst (Rempel 1999) sowie mit Fragstats (McGarigal et al. 1995) berechnet, so dass u.a. folgende Aussagen mit Kenngrößen belegt werden konnten (Anders et al. 2004, Blaschke 1999):

eines Gebietes ist, desto komplexer sind die Formen der Flächen innerhalb dieses Gebietes.

Begriffe wie vielfältig, verteilt, fragmentiert wurden also zum Erkennen des Zusammenhangs bzw. der Interaktion zwischen den Grundkomponenten Funktion, Struktur und Veränderung mit Maßzahlen erfasst (Forman 1995).

Berücksichtigt werden musste dabei, dass unter Nutzung von GIS-Technologie der deskriptiv-quantitativen Auswertung kaum Grenzen gesetzt sind (de Smith et al. 2008, McGarigal et al. 1995), daher wurde angepasst an die Fachanforderungen aus der Vielzahl der Landschaftsstrukturma-

um den signifikanten Zusammenhang zwischen berechneten Raumstrukturen und ökologischen Prozessen noch nicht abgeschlossen, zudem Einflüsse wie Raumbezug (Maßstab, Abdeckung), Geländeformen (vgl. Hoehstetter et al. 2006) und Datengrundlagen die Landschaftsstrukturmaße ändern können. Auch hier hat die Berechnung dieser Kenngrößen gezeigt, dass ihr Wirken und ihre Relevanz von der Rasterauflösung der zugrunde liegenden Fernerkundungsdaten und der Anzahl der Klassen in deren Auswertungsergebnissen, der Erfassungsgenauigkeit der Daten, dem Zeit- sowie dem Raumbezug abhängt und damit ihre Interpretation beeinträchtigte.

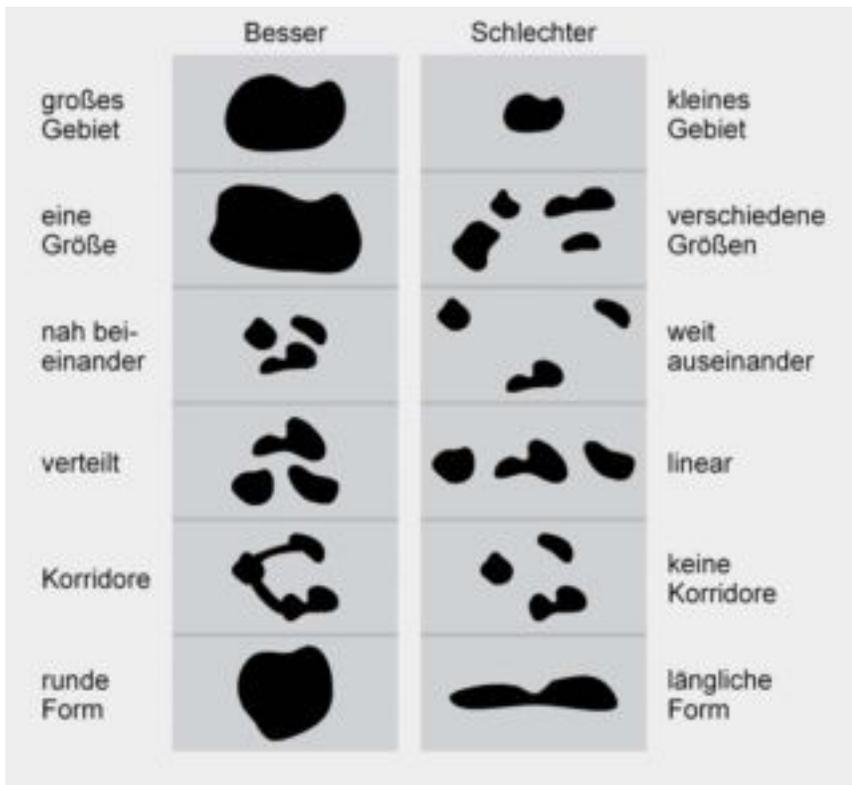


Abb.1: Prinzipien für das Design schutzwürdiger Gebiete (nach Primack 1993:330)

- ▶ Je kleiner das Verhältnis zwischen der Flächengröße eines Gebietes und der Anzahl der darin vorkommenden Einzelflächen wird, desto heterogener ist dieses Gebiet.
- ▶ Je näher der Wert der durchschnittlichen Flächengröße an der Größe des Gesamtgebietes liegt, desto homogener ist das Gebiet.
- ▶ Je höher der standardisierte Shapeindex ist, der die Fläche mit einer dem Umfang entsprechenden Kreisfläche vergleicht, desto komplexer und wahrscheinlich natürlicher ist eine Fläche.
- ▶ Je größer die Summe aller Grenzlängen

be ein relativ kleines Set selektiert, zu Analysemodulen zusammengefasst sowie in einem Handbuch dokumentiert.

Zur Kategorisierung der Landschaftsstrukturmaße (z.B. Gustafson 1998, Haines-Young et al. 1996), zu deren Bewertung (z.B. Klug et al. 2003, Lang et al. 2002) und Anwendung (z.B. Kleinschmit et al. 2006, Lausch 2002) liegen zahlreiche Forschungsarbeiten vor; Projekte wie SPIN und die Vereinigung IALE bündeln Fachwissen auf diesem Gebiet; umfassende Überblicke bieten z.B. de Smith et al. (2008). Doch trotz der immensen Fülle an Untersuchungen und Ergebnissen ist die Diskussion

3.1 THEMA UND RAUM

Nicht nur die auf unterschiedlichen thematischen Betrachtungsebenen erfassten Fachdaten, sondern auch die auf unterschiedlichem Raum wirkenden Maßnahmen, z.B. Trittsiegel von Huftieren auf kleinem, Befahren mit Panzern dagegen auf sehr großem Raum, und damit ihre Effekte bedingten die Arbeit in verschiedenen angepassten Maßstabsebenen. Beispielsweise schien die Fragmentierung – die Zerstückelung einer vormals zusammenhängenden Fläche – bei größerem Maßstab stärker zu sein. Der Grund dafür ist die Änderung der visuellen Repräsentation der Objekteigenschaften wie Größe, Form und Vielfalt bei der Änderung der räumlichen Auflösung (Farina 1998). Abgedeckt wurden die Maßstabsebenen größtenteils durch die unterschiedlichen Auflösungsebenen der eingesetzten Fernerkundungsdaten (Abb.2).

Raumeinheiten

Neben der Auflösung stellte die Abgrenzung der Flächen, innerhalb derer die Analysen durchgeführt wurden, einen weiteren entscheidenden Parameter für die Beurteilung der Kenngrößen dar: Je nach Ausdehnung wurden unterschiedliche Ergebnisse für die Landschaftsstrukturmaße berechnet. Da die Übertragbarkeit der Anwendungsmöglichkeit von Maßnahmen auf gleiche oder ähnliche Flächen anderer Offenlandbereiche, für die dieselbe zukünftige Entwicklung vorgesehen ist, im Vordergrund stand, wurden zunächst die Biotope als kleinste Einheit abgegrenzt (Abb.3a). Das Problem bei der Flächenabgrenzung bestand allerdings darin, dass aufgrund fließender Übergänge kaum scharfe Grenzen

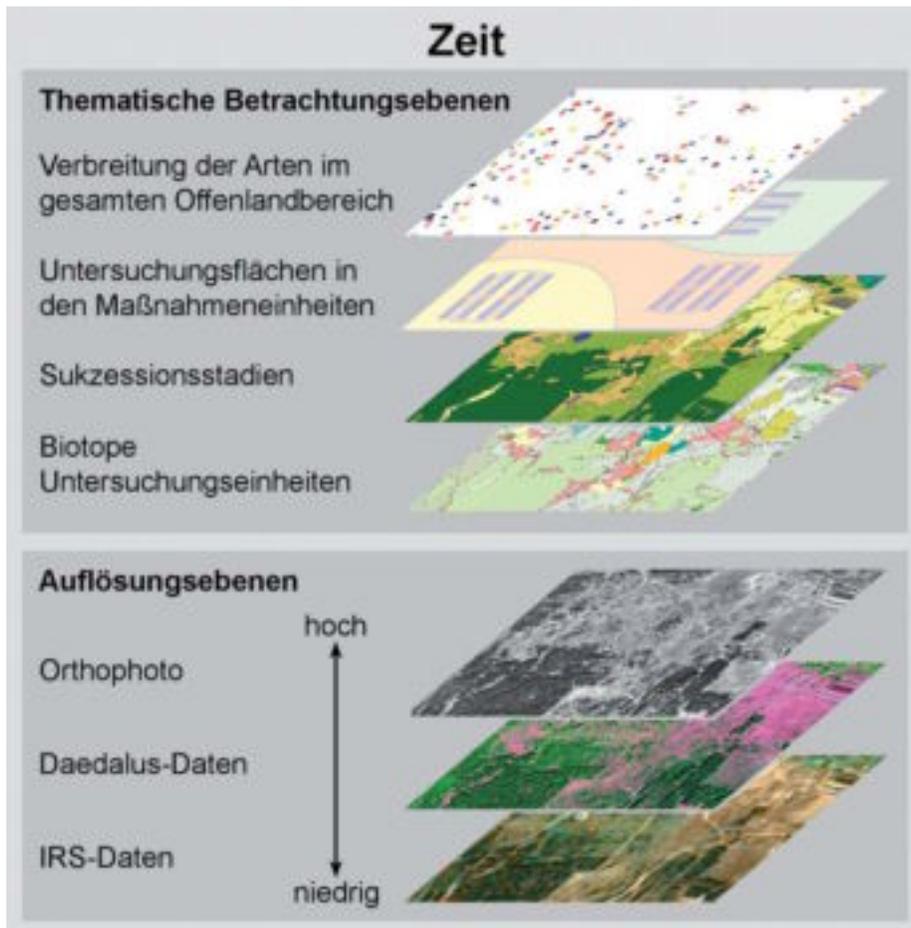


Abb.2: Betrachtungs- und Auflösungsebenen (Wagner 2004)

gezogen werden konnten, so dass in schwierigen Bereichen Grenzsäume festgelegt wurden. Zudem treten Flächen eines Ökosystems nicht isoliert, sondern eingebettet in ein Mosaik aus weiteren Flächen auf, innerhalb dessen sie sich gegenseitig beeinflussen können. Zur Erfassung dieser komplexen Wirkungsgefüge wurden daher flächenübergreifende Analysen mit Berücksichtigung dieses unmittelbaren Grenzbereichs bei Biotopen durchgeführt; zum Vergleich dienten willkürlich festgelegte Untersuchungseinheiten (Abb.3b). Der Vorteil dieser kleinteiligen Betrachtung gegenüber der Gesamtbetrachtung der Offenlandbereiche ergab sich aus der Informationsdichte, die die Offenlandbereiche aufgrund ihrer Größe nicht bieten konnten.

Bei diesen flächenübergreifenden Analysen wurden u.a. die Effekte Fragmentierung, Heterogenitätsgrad, Verbundenheit sowie Isolationsgrad untersucht, da diese durch die Maßnahmen, zu denen auch das Abschieben des Oberbodens oder das Befahren mit Rad- und Kettenfahrzeugen (bei aktiven Truppenübungsplätzen) gehört, verursacht werden können.

Eine adäquate Modellierung der Landschaft wurde allerdings erst durch Einbeziehung des Geländes in die Analysen erreicht (Abb.3c). Hierdurch wurde untersucht, ob zwischen ökologischen Prozessen und Landschaftsformen Zusammenhänge bestehen. Außerdem wurde z.B. die Hangneigung auf Durchführbarkeit der Maßnahmen geprüft: Beispielsweise kann das Gelände für den Einsatz schwerer Maschinen, die zur Offenhaltung eingesetzt werden sollen, zu steil sein.

Durch die Kombination einzelner ausschlaggebender Informationsebenen wurde trotz Abstrahierung und damit Vereinfachung ein adäquates Modell für Offenlandbereiche entwickelt. Aufgrund der logischen Verknüpfung der Flächenanteile aller relevanten Attribute erhält man die räumliche Verteilung charakteristischer Standorteinheiten innerhalb der Biotop: Gleiche Werte, z.B. für Hangneigung und Bodenart, wurden zu jeweils einer Standorteinheit zusammengefasst und mit entsprechendem Schlüssel versehen (Abb.3d). Der Nachteil bei der Nutzung der Biotopgrenzen liegt in der subjektiven Vorbelastung durch die Abhängigkeit von Erfasser und Erfassungsmethode; zudem müssen sie erst ermittelt werden. Daher wur-

den die Flächenanteile der relevanten Parameter innerhalb der Maschen eines regelmäßigen Gitters berechnet und anschließend der Schlüssel für die jeweils dominierende Standorteinheit vergeben (Abb.3e). Der Vorteil dieser Methode lag in der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebiete, da die Grenzen nicht attributiv, sondern ohne inhaltlichen Bezug, ermittelt wurden. Der Nachteil bestand darin, dass das Gitter beliebig gewählt wurde, d.h. bei jeder anderen Lage bzw. Maschengröße kann sich die Verteilung der Standorteinheiten innerhalb eines Untersuchungsgebietes ändern. Je kleiner allerdings die Kantenlänge der Maschen ist, desto geringer ist die Fehlerrate.

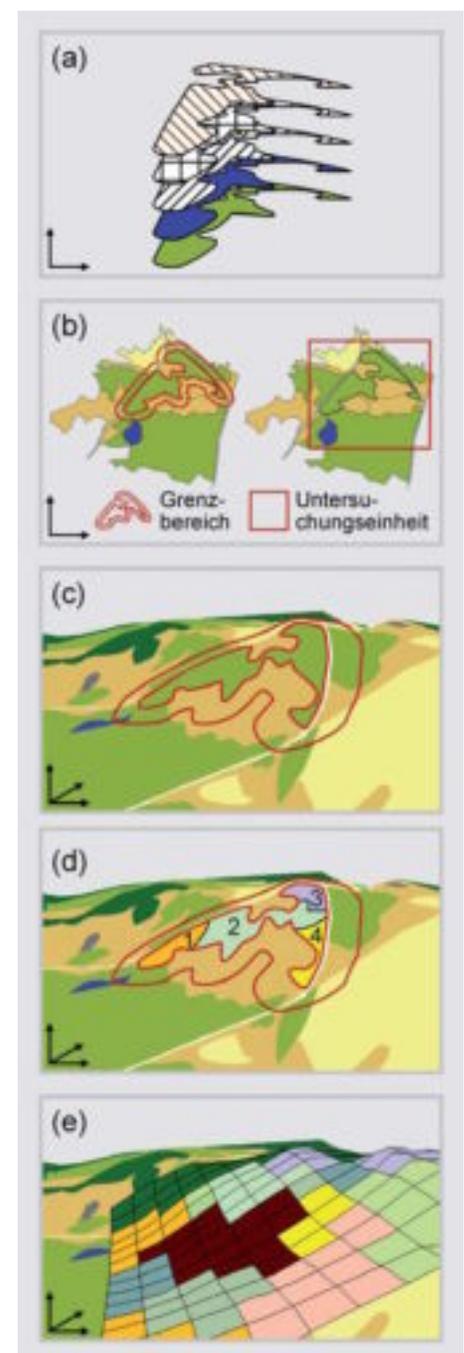


Abb.3: Raumeinheiten (Wagner 2004)

3.2 ZEIT

Neben Thema und Raum war die dritte und entscheidende Betrachtungsebene die Zeit. Erst durch den Vergleich von Daten verschiedener Zeitpunkte kann die Maßnahmenwirkung anhand der Systemdynamik festgestellt werden (Abb. 4). Die mit Hilfe verschiedener Methoden aus den multitemporalen Fernerkundungsdaten gewonnenen Informationen sowie die zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführten Erfassungen von Fachdaten erweiterten das fachthematische DLM (vgl. Daten) um die temporale Komponente (4D). Somit diente es als Grundlage für verschiedene Analysen, mit denen nicht nur Informationen zum Status, sondern auch zur Dynamik der Flächen als Basis für eine Prognose ihrer zukünftigen Entwicklung gewonnen wurden. Untersucht wurden sowohl zusammenhängende Offenlandbereiche als Ganzes als auch deren Einzelkomponenten (vgl. Raumeinheiten), so dass geprüft werden konnte, unter welchen Einflüssen ein Bereich als Ganzes bestehen blieb und somit offen oder sich durch Anpassung einzelner Komponenten so veränderte, dass mit den entsprechenden Maßnahmen eingegriffen werden musste. Allerdings beeinträchtigte die kurze Laufzeit des Projektes (2,5 Jahre) die Aussagefähigkeit der festgestellten Veränderungen, so dass deren jeweilige langzeitliche positive und negative Wirkung nicht ausreichend durch entsprechende Analysen geprüft werden konnte. Dies wirkte sich auch auf die Regeln des eingesetzten Simulationstools aus (vgl. Area Simulation Tool 4D (AST4D)).

tionalitäten und komplexe Objekte mit Eigenschaften und Verhalten zur Abbildung dynamisch-interaktiver Prozesse zur Verfügung, noch war die Abbildung der Raumlogik, d.h. der Beziehungen zu anderen Objekten, möglich. Daher wurde zur Unterstützung der Entscheidung, in den natürlichen Entwicklungsprozess der Offenlandflächen steuernd einzugreifen, das Simulationstool AST4D (Wagner et al. 2004) entwickelt. Durch interaktive Manipulation der entsprechenden Prozessparameter wurden dabei verschiedene Szenarien differenziert sowie raumbezogen dargestellt.

Die als Kopplung bezeichnete Verbindung des GIS mit dem Simulationstool (Nyerges 1992) wurde durch den Datenaustausch über eine Schnittstelle realisiert. Implizite Nachteile wie Informationsverlust und redundante Datenhaltung, die durch die Integration dynamischer geowissenschaftlicher Modelle mit GIS vermieden werden können (z.B. Torrens 2009), wurden aufgrund der o.g. fehlenden Voraussetzungen der eingesetzten GIS-Software vernachlässigt.

Die Grundlage von AST4D bildet das mathematische Modell der so genannten Zellulären Automaten, deren Vorteile in der strukturellen Einfachheit ihres Aufbaus und der leichten Nachvollziehbarkeit ihrer Funktionsweise liegen. Zudem ermöglicht die zugrunde liegende Gitterstruktur das direkte Ansprechen der Objekte und ihrer jeweiligen Nachbarschaft.

dem sich die einzelnen Felder (Systemkomponenten) sowohl aufgrund ihres eigenen Zustandes als auch aufgrund der Informationen aus ihrer unmittelbaren Nachbarschaft (Wechselwirkung) entwickeln, ausgedrückt. Die Felder werden als Zellen, das Konstrukt selbst als Zellulärer Automat bezeichnet. Eine endliche Anzahl an gleichförmigen Zellen ist wie bei einem Schachbrett regelmäßig angeordnet. Die Form der Zellen kann dabei neben quadratisch auch dreieckig oder sechseckig sein, so dass die Form des gesamten Zellraumes ebenfalls variiert.

Zelluläre Automaten verarbeiten Eingangsdaten aufgrund bestimmter Regeln, die für alle Zellen gleichermaßen gelten (außer bei Automaten, die das Zufallsprinzip nutzen), woraufhin diese Eingangsdaten ein bestimmtes Verhalten in Form ihrer Veränderung während des Ablaufs diskreter Zeitschritte aufzeigen. In den Zellen selbst ist der mögliche Zustand einer der beteiligten Komponenten des jeweils modellierten natürlichen Systems gespeichert. Dies bedeutet, dass jede Zelle aus einer endlichen Liste möglicher Zustände einen Wert erhält, der die Ausprägung der Zelle beschreibt (vgl. Bandini et al. 2001, Câmara et al. 1996, Gerhardt et al. 1995, Wolfram 1994). Zur Anwendung der Zellulären Automaten wird auf die zahlreich vorliegende Literatur verwiesen (z.B. BfG 2003, Wittmann 2000, Belde et al. 1998, White et al. 1997).

4.2 AREA SIMULATION TOOL 4D (AST4D)

Die attributive Ausprägung, d.h. Biotoptyp, Hangneigung und Zonierungsgrad, der nach AST4D (Abb. 5) importierten Daten bildeten den Anfangszustand der Zelle. Weitere vorgegebene Bausteine des Tools umfassten Form und Größe des Zellraums, die Bedingungen für die Randzellen, die Größe der Zellnachbarschaft sowie die Regeln für die Zustandsänderung einer Zelle. Andererseits wurden die auf die Simulation einflussnehmenden Parameter festgelegt, z.B. Sukzessionsdauer, Sukzessionsreihenfolge sowie maximale Hangneigung und Grad der Betretbarkeit einer Fläche (Zonierung) für die Durchführbarkeit einer Maßnahme. Abhängig von diesen Parametern wurde anhand des implementierten Regelwerks die Flächenänderung simuliert. Folgende drei Simulationsstufen wurden hierbei unterschieden, wobei die ersten beiden Stufen nicht

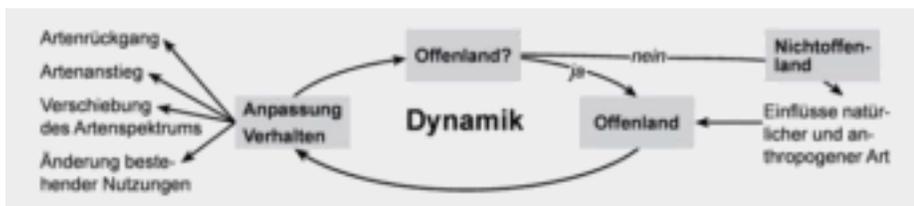


Abb. 4: Systemdynamik auf Offenlandflächen (Wagner 2004)

4 SIMULATION DER ZUKÜNFTIGEN ENTWICKLUNG DER OFFENLANDFLÄCHEN

Für die Geosimulation – das „Experimentieren und Problemlösen mit GIS-Modellen“ (Mandl 2000) – erwiesen sich die Fähigkeiten der eingesetzten GIS-Software als ungenügend: Es standen weder Funk-

4.1 ZELLULÄRE AUTOMATEN

Hierbei handelt es sich um eine abstrakte, sich selbst reproduzierende Konstruktion, die wesentliche Züge des Lebens zeigt. Die Vielzahl an Komponenten eines natürlichen Systems und deren Wechselwirkungen untereinander werden in einem bestimmten Formalismus, einem einfachen Gitter, in

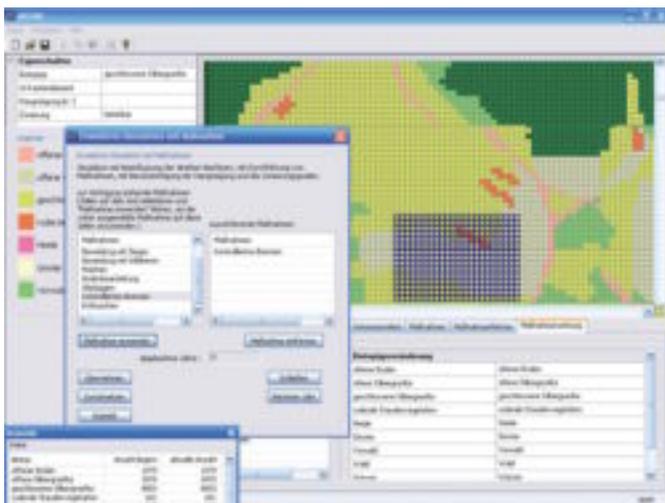


Abb.5: Oberfläche von AST4D (Wagner et al. 2004)

alle möglichen Festlegungen benötigen:

- ▶ Einfache Simulation ohne Beeinflussung durch Nachbarzellen und ohne Durchführung von Maßnahmen zur Prüfung der festgelegten Sukzessionsdauer sowie der Sukzessionsreihenfolge
- ▶ Erweiterte Simulation mit Beeinflussung durch Nachbarzellen und ohne Durchführung von Maßnahmen zur Prüfung der Nachbarschaftsregel sowie zur Abschätzung, wann und wo eine bestimmte Maßnahme durchgeführt werden sollte
- ▶ Erweiterte Simulation mit Beeinflussung durch Nachbarzellen, mit Durchführung von Maßnahmen, mit Berücksichtigung der Hangneigung und des Zonierungsgrades; Bevor die Maßnahmenwirkung simuliert wurde, wurden diverse Plausibilitätsprüfungen durchgeführt, z.B. ob die gewählte Maßnahme auf den selektierten Zellen durchgeführt werden kann.

Die Voraussetzung der realitätsnahen Festlegung der Parameter, z.B. der Sukzessionsdauer und -reihenfolge, ist die langfristige Untersuchung der Offenlandflächen und deren Veränderung (Monitoring); dies war aufgrund der o.g. kurzen Projektlaufzeit nicht gegeben. Dennoch konnte zumindest im Ansatz geklärt werden, welche Ausstattung (Topographie, Flora, Fauna etc.) mit oder ohne Maßnahme welches Ergebnis hervorbringt (Anders et al. 2004). Ein weiteres Ergebnis war die Erkenntnis, dass das Tool u.a. um folgende Parameter erweitert werden sollte:

- ▶ mehr Anfangszustände, z.B. Grad der Verbundenheit von Zellen (gewichtete Entfernung zur nächsten gleichen Zelle), Hangrichtung (unterschiedliche Vegetationsentwicklung an schatten- und sonnenexponierten Standorten), Bodenwerte,

Hydrologie etc. (Beeinflussung der Entwicklung der Sukzessionsstadien), mehrere übereinandergelagerte Vegetationsschichten,

- ▶ asynchrone Aktualisierung von Zellzuständen wie bei Mehrebenenautomaten, die u.a. die Möglichkeit bieten, Prozesse auf unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen in Modellen methodisch zu trennen (z.B. Thinh 2002),
- ▶ flexiblere Nachbarschaftsgestaltung aufgrund der unterschiedlichen Reichweite ökologischer Prozesse,
- ▶ Verbindung mit der Agenten-Technik, d.h. Simulation von Handlungen einzelner Akteure, z.B. einzelner Tierarten, und der daraus erwachsenden Effekte (z.B. Schüle et al. 2006, Koch et al. 2003),
- ▶ Zustandserzeugung, d.h. Formulierung eines Ziels und Lieferung der dahin führenden Parameter als Ergebnis (im Gegensatz zur hier genutzten Szenarienbildung) sowie
- ▶ Erweiterung der interaktiven Einstellungsmöglichkeiten, um belegte Aussagen aus der Fachliteratur testen zu können.

5 SCHLUSSBETRACHTUNG

Durch die Kopplung des Offenland-GIS mit dem Simulationstool AST4D wurden die Grundlagen für die Erfassung und Auswertung des aktuellen Zustands, für die Analyse bisheriger sowie für die Abschätzung zukünftiger Flächenentwicklungen geschaffen. Die eingesetzten Methoden und Funktionalitäten arbeiteten die charakteristischen Merkmale verschiedener Raumeinheiten auf unterschiedlichen Maßstabsebenen sowie die Veränderung dieser Merkmale anhand

berechneter Maßzahlen heraus.

Stehen allerdings Fachdaten längerer Zeiträume, ausgebaute Kenntnisse über Verhalten und Aussagekraft der Landschaftsstrukturmaße sowie angepasste Funktionalitäten des Simulationstools zur Verfügung, stünde ein relativ ausgereiftes System zur Bewertung der Flächenentwicklung und damit für die Erhaltung und Entwicklung der Offenlandbereiche auf Truppenübungsplätzen

6 ABBILDUNGEN

Abb. 1: Prinzipien für das Design schutzwürdiger Gebiete (nach Primack 1993:330)5

Abb.2: Betrachtungs- und Auflösungssebenen (Wagner 2004)6

Abb.3: Raumeinheiten (Wagner 2004)7

Abb.4: Systemdynamik auf Offenlandflächen (Wagner 2004)8

Literatur

Anders, K.; Mrzljak, J.; Wallschläger, D.; Wiegleb, G. (Hrsg.) (2004): Handbuch Offenland-Management am Beispiel ehemaliger und in Nutzung befindlicher Truppenübungsplätze. 1te Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer, 320 S.

Bandini, S.; Worsch, T. (Hrsg.) (2001): Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata. Proceedings of the Fourth International Conference on Cellular Automata for Research and Industry. Karlsruhe: Springer, 208 S.

Belde, M.; Böttcher, U. (1998): Kopplung eines Zellulären Automaten mit einem GIS zur Vorhersage der Vegetationsdynamik im Niedermoor-Grünland. In: Strobl, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung X. Heidelberg: Wichmann, S.11–16.

BfG (2003): Bundesanstalt für Gewässerkunde. Einsatz von ökologischen Modellen in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. Das integrierte Flussauenmodell Inform 2.0. BfG-Mitteilungen Nr. 25. Koblenz, 212 S.

Blaschke, T. (1999): Quantifizierung von Fragmentierung, Konnektivität und Biotopverbund mit GIS. In: Strobl, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI. Heidelberg: Wichmann, S.60–73.

Câmara, A.S.; Ferreira, F.; Castro, P. (1996): Spatial simulation modelling. In: Fischer, M. et al. (Hrsg.): Spatial Analytical: Perspectives on GIS (GISdata Series, Vol.4) 1996. London: Taylor&Francis, S.201–212.

de Smith, M.J.; Goodchild, M.F.; Longley, P.A. (2008): Geospatial Analysis. A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. 2te Auflage, Leicester: Troubador Publishing, 516 S. ; Zugriff: 02/09.

Farina, A. (1998): Principles and Methods in Landscape Ecology. 1.Auflage, London: Chapman and Hall, 235 S.

FIFB (1993): Forschungsverbund zur Bedeutung von Isolation, Flächengröße und Biotopqualität für das Überleben von Tier- und Pflanzenpopulationen in der Kulturlandschaft am Beispiel von Trockenstandorten. Ökologie und Naturschutz 2, S.58–60.

Forman, R.T.T. (1995): Land Mosaics. The ecology of landscapes und regions. 1.Auflage, Cambridge: Cambridge University Press, 632 S.

Gerhardt, M.; Schuster, H. (1995): Das digitale Universum. Zelluläre Automaten als Modelle der Natur. 1te Auflage, Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 320 S.

Gustafson, E. J. (1998): Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? Ecosystems 1, S.143–156.

Haines-Young, R.; Chopping, M. (1996): Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application in forested landscapes. Progress in Physical Geography 20(4), S.418–445.

Hoechstetter, S.; Walz, U. (2006): Werkzeuge und Methoden zur Analyse von dreidimensionalen Landschaftsstrukturen. In: Wittmann, J. et al. (Hrsg.): Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. Workshop Leipzig 2006. Aachen: Shaker, S.235–244.

IALE (2009): International Association for

Landscape Ecology. ; Zugriff: 02/09.

Kleinschmit, B.; Walz, U. (Hrsg.) (2006): Landschaftsstrukturmaße in der Umweltplanung. Beiträge zum Workshop der IALE-AG Landschaftsstruktur. Band S19. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 180 S.

Klug, H.; Langanke, T.; Lang, S. (2003): IDEFIX – Integration einer Indikatoren-datenbank für landscape metrics in ArcGIS 8.x. In: Strobl, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV 2003. Heidelberg: Wichmann, S.224–233.

Koch, A.; Mandl, P. (Hrsg.) (2003): Multi-Agenten-Systeme in der Geographie. Klagenfurter Geographische Schriften, H.23, S.5–34. ; Zugriff: 02/09.

Lang, S.; Langanke, T.; Blaschke, T.; Klug, H. (2002): Schritte zu einer zielorientierten Strukturanalyse im Natura2000-Kontext mit GIS. In: Strobl, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV 2002. Heidelberg: Wichmann, S.302–307.

lausch, A.; Herzog, F. (2002): Applicability of landscape metrics for monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. Ecological Indicators 2, Nr.1–2, S.3–15.

Mandl, P. (2000): Geo-Simulation – Experimentieren und Problemlösen mit GIS-Modellen. In: Strobl, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII 2000. Heidelberg: Wichmann, S.345–356. ;Zugriff: 02/09.

McGarigal, K.; Marks, B.J. (1995): Frags-tats. Spatial pattern analysis programm for quantifying landscape structure. ; Zugriff: 02/09.

Nyerges, T.L. (1992): Coupling GIS and Spatial Analytic Models. In: Bresnahan, P. et al. (Hrsg.): 5th International Symposium on Spatial Data Handling, IGU Comission on GIS. S.534–543.

O’Neill, R.V.; Smith, M.A. (2002): Scale and Hierarchy Theory. In: Gergel et al.

(Hrsg.): Learning Landscape Ecology. A Practical Guide to Concepts and Techniques. New York: Springer, S.3–8.

Primack, R.B. (1993): Essentials of Conservation Biology. 1te Auflage, Sunderland: Sinauer Associates Inc., 525 S.

Rempel, R. (1999): PatchAnalyst; ; Zugriff: 02/09.

Schüle, M.; Bieser, T.; Karänke, P.; Kirn, S. (2008): Integration einer Multiagentensimulation in ein Geoinformationssystem. In: Proceedings der Multikonferenz Wirtschaftsinformatik. München.

SPIN (Spatial Indicators for Nature Conservation); ; Zugriff: 02/09.

Thinh, N.X. (2002): Simulation von kompakten städtischen Siedlungsmustern mit einem zellulären Mehrebenenautomatenmodell. In: Tavangarian, D et al. (Hrsg): Frontiers in Simulation, Simulationstechnik. 16.Symposium in Rostock, ASIM 2002. Ghent: SCS European Publishing House, S.38–45.

Torrens, P.M. (2009); ; Zugriff: 02/09.

v. Werder, U. (1998): Aufbau eines fernerkundungsbasierten Landschaftsinformationssystem am Beispiel der Verbandsgemeinde Dahn im Pfälzerwald. Göttingen: Cuvillier, 240 S.

Wagner, A.; Wagner, A (2004): AST4D (Area Simulation Tool). Universität Potsdam.

White, R., Engelen, G., Uljee, I. (1997): The use of a constrained cellularautomata for highresolution modelling of urban land-use systemy. Environment and Planning B: Planning and Design 24(3), S.323–343.

Wittmann, J. (2000): Zellulare Automaten in der Umweltmodellierung. In: Möller, D.P.F. (Hrsg.): Frontiers in Simulation, Simulationstechnik. 14.Symposium in Hamburg, ASIM 2000. Ghent: SCS European Publishing House, S.45–50.

Wolfram, S. (1994): Cellular Automata and Complexity. 1.Auflage, New York: Westview, 608 S.