

# **Interdisziplinäre Methoden- und Werkzeugentwicklung zur Planung und Kontrolle von Maßnahmen für das Flusseinzugsgebiet mit Geoinformationssystemen**

JÖRN MÖLTGEN, HARDY PUNDT, BENNO SCHMIDT  
Institut für Geoinformatik  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster

{moltgej, pundt, benno}@ifgi.uni-muenster.de

## **Zusammenfassung**

Mit dem hier skizzierten Ansatz wird eine neue Vorgehensweise zur Unterstützung ökologischer Planungsprozesse vorgeschlagen. Beteiligte unterschiedlicher Fachrichtungen können Planungsalternativen an einem Arbeitstisch, auf dem eine virtuelle Landschaft dreidimensional visualisiert wird, experimentell „testen“ und diskutieren. Basierend auf dem spezifizierten Paradigma der „Landschaftseditierung“ ist dabei eine Modellierung der Landschaft auf intuitive Art und Weise möglich. So können die dargestellten Geoobjekte wie in einem Sandkasten direkt manipuliert werden (z. B. Umsetzen, Hinzufügen/Löschen von Objekten). Mit Hilfe der vorgestellten Benutzerschnittstelle ist die visuelle Spezifikation von Planungsszenarien und weitergehend eine kooperative Bearbeitung durch mehrere Planer möglich. Im Rahmen der Problemformulierung und Entscheidungsfindung ist die Visualisierung in der beschriebenen Umgebung somit von essenzieller Bedeutung. Sobald Übereinstimmung über ein Szenario besteht, analysiert das System das modifizierte Landschaftsmodell, ermittelt die vorgenommenen Änderungen und leitet die Maßnahmen ab, die zur Herstellung dieses Zustandes in der realen Welt durchzuführen sind. Diese Maßnahmenherleitung erfordert den Aufbau einer interdisziplinären Wissensbasis. Durch die Verwendung von Expertenwissen gewinnt der Planungsprozess dabei an Transparenz und Nachvollziehbarkeit.

## **1 EINFÜHRUNG UND MOTIVATION**

Das Flusseinzugsgebietsmanagement in Europa wird sich mit der Einführung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) spürbar verändern. Neben der Standardisierung von Bewertungsfaktoren wird dem Monitoring eine besondere Bedeutung eingeräumt. Insbesondere aber werden transparente und partizipative Planungsprozesse erforderlich, der den bisherigen Planern zunehmend die Rolle von Moderatoren zuweist. Die Transparenz in den Planungs- und Managementprozessen erfordert interdisziplinäres Handeln. Interdisziplinäre Methoden müssen entwickelt werden, um Wissen über Planungen und Planungsauswirkungen unter Berücksichtigung möglichst vieler Aspekte aus verschiedenen Fachdisziplinen mit den Betroffenen diskutieren zu können.

Der Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) und „Spatial Decision Support Systems“ (SDSS) ist in der Planungspraxis bereits ein bewährtes Instrument zur Analyse, Interpretation und Wiedergabe von Daten zur Unterstützung planerischer Entscheidungsprozesse. Jüngere Ansätze aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz integrieren Expertenwissen in SDSS, um Umweltzustände zu diagnostizieren und unterschiedliche Planungsalternativen zu bewerten. Dieser Ansatz der Kopplung verschiedener Technologien zur Verarbeitung raumbezogener Daten wurde in diversen Projekten bereits erfolgreich angewendet (Pundt 1997, Streit et al. 1994). Inzwischen existiert eine Reihe neuartiger Technologien, deren Integration mit „herkömmlichen“ Ansätzen zu wesentlich leistungsstärkeren Systemen führen sollte. Die interaktive 3D-Visualisierung von Geodaten nimmt dabei eine zentrale Stellung ein.

Die Visualisierung von Landschaftszuständen sollte eng an Interaktionswerkzeuge gekoppelt sein, mit deren Hilfe die Landschaftszustände in einer „virtuellen Realität“ modifiziert und die Auswirkungen dieser Veränderungen abgeschätzt werden können. Landschaften werden mittels dieser Technologien „editierbar“. Das Editieren der virtuellen Landschaft kann durch den Einsatz weiterer Technologien (z. B. GIS, wissensbasierte Systeme) unterstützt oder ergänzt werden.

Durch die Kopplung verschiedener Ansätze können Planungsvorgänge qualitativ besser und effektiver durchgeführt werden als dies bislang bei analogen oder nur teilweise digital unterstützten Arbeitsabläufen der Fall gewesen ist. Planungsprozesse werden somit vor allem transparenter und nachvollziehbarer gemacht. Letztlich wird jeder einzelne Schritt im Verlauf des unterstützten Planungsablaufs dokumentierbar, d. h. jeder Planungsbeteiligte kann sich z. B. detaillierte Informationen darüber beschaffen, welche Editierungen zu einem anvisierten Landschaftszustand geführt und welche Maßnahmenvorschläge daraus abgeleitet wurden. Die endgültige Entscheidung über einzuleitende Planungsmaßnahmen bleibt dabei in der Verantwortung des Menschen. In der Realität ist es jedoch für den einzelnen Fachplaner auf Grund der vielseitigen ökosystemaren Wechselbeziehungen oft sehr schwierig, die „richtigen“ Entscheidungen zu treffen. Mit Hilfe der Künstlichen Intelligenz können Planer aus den vorhandenen Daten und Analyseergebnissen „objektive“ Entscheidungen herleiten, da die Wissensbasen mit interdisziplinärem Wissen verschiedener Fachexperten ausgestattet werden.

Im Bereich der Landschaftsplanung kann eine visueller Eindruck die Berücksichtigung von landschaftsästhetischen Aspekten erleichtern: *“In every natural setting these two elements – visual and spatial – combine to create a distinctive view. The landscape designer must have a firm grasp of the visual and spatial character of the setting before he can begin to develop it”* (Higuchi 1989). Zudem bietet eine 3D-Visualisierung eine verbesserte Nachvollziehbarkeit von räumlich-zeitlichen oder thematischen Beziehungen als traditionelle 2D-Karten (van Voris et al. 1993, Wherrett 1996).

Unabdingbar wird ein 3D-Ansatz besonders beim Entwurf von Landschaftsmodellen und der Präsentation von Planungsentwürfen. Auf der einen Seite können Planer durch eine derartige Darstellung ihre eigenen

Entwürfe optimieren, auf der anderen Seite ermöglicht es Planungslaien diese Planungsentwürfe besser zu beurteilen. Finden darüber hinaus kognitive Aspekte Berücksichtigung, ermöglicht die dreidimensionale Darstellung ein besseres Verständnis räumlicher Zusammenhänge, z. B. wird die Beschattung eines Gewässers durch Bäume und deren unterschiedlicher Wuchshöhe unmittelbar ersichtlich. Zudem lassen sich im Dreidimensionalen intuitiv bedienbare Interaktionsmechanismen implementieren.

Ein weiteres innovatives Element ist die Deduktion von Maßnahmen für die Renaturierung oder bzw. naturnahe Gestaltung von Fließgewässern. Traditionelle SDSS zielen eher auf die Komposition von Datenbanken, räumliches Modellieren, graphische Darstellung und die Datenanalyse ab, um Entscheidungsprozesse zu unterstützen. Was bislang fehlt, ist die Integration von Expertenwissen in derartige Systeme, die eine Evaluierung verschiedener Planungsszenarien im Planungsprozess erlaubt (Rizzoli & Young 1997). Wissensbasierte SDSS (KBSDSS) können das Wissen und die Erfahrung von Experten einer speziellen Fachdisziplin repräsentieren und tragen ebenfalls zu einer erhöhten Transparenz von Entscheidungsprozessen bei.

Umweltplanung ist meistens ein gemeinschaftlicher und multidisziplinärer Prozess. In der Regel ist das Ziel des Planers, ein "limited shared understanding of the current state of their geographical area, and threats to it, and the likely outcomes of various future actions..." zu erhalten (van House et al. 1998).

Aus dieser Sicht besteht Bedarf an Werkzeugen, die im Zusammenhang mit der Vorhersage von Landschaftsentwicklungen „computer-supported co-operative work“ (CSCW) unterstützen. „Workbench“-artige Umgebungen, wie sie insbesondere im Bereich der virtuellen Realität eingesetzt werden, besitzen das Potenzial diese Anforderungen zu erfüllen. Die Integration von „Tisch-basierten“ virtuellen Landschaften und KBSDSS stellen somit einen Ansatz für innovative planungsunterstützende Anwendungen dar.

Der vorliegende Beitrag beschreibt neue Forschungsaktivitäten an der Universität Münster, die das Ziel einer multidisziplinären Entscheidungsunterstützung beim Flusseinzugsgebietsmanagement durch SDSS verfolgen. Dies schließt das interaktive Erarbeiten von Planungsszenarien, Konfliktanalysen, Dokumentationen von Planungsergebnissen und -auswirkungen sowie die wissensbasierte Herleitung von Entwicklungsmaßnahmen ein. Dies bedeutet selbstverständlich nicht, dass eine Software entwickelt werden soll, die „automatisch fertige Pläne“ erzeugt. Es sollen jedoch Werkzeuge (Softwarekomponenten) entwickelt werden, die ausgewählte Arbeitsschritte und Entscheidungsprozesse unterstützen, d. h. durch Visualisierung Planung *erlebbar* machen. Die Entwicklung einer Umgebung, welche diesen kombinierten Anforderungen genügt, wirft jedoch Fragen zu Ein- und Ausgabetechniken und zur Gestaltung adäquater Benutzerschnittstellen auf. In unserem Beitrag versuchen wir hierauf Antworten zu geben. Das der Interaktion in diesem visuellen, interaktiven und wissensbasierten System zugrunde liegende Paradigma bezeichnen wir als „Landschaftseditierung“. Zur Erläuterung wird ein Fallbeispiel aus dem Bereich der Gewässerökologie verwendet.

Im Folgenden wird ein Interaktionsmodell definiert, welches die Anwendung von SDSS-Komponenten beispielhaft erläutert. Eine exemplarisch entwickelte Komponente zur Editierung eines virtuellen Flussmodells wird vorgestellt. Auf dieser Grundlage werden Anforderungen für weitere Entwicklungen und Forschungsprojekte abgeleitet.

## **2 DAS IDEALE INTERAKTIONSMODELL**

Dieses Kapitel beschreibt einen möglichen Anwendungsfall des anvisierten Systems für Landschaftsplaner. Dabei haben die Planer die Aufgabe, ein Konzept für die naturnahe Gestaltung eines Fließgewässers zu erarbeiten.

Unsere Vision umfasst verschiedene Schritte. Zunächst ist ein dreidimensionales Modell einer Flussaue darzustellen, welches einen Eindruck des gegenwärtigen Zustands vermittelt. Dabei werden folgende Elemente dargestellt:

- Gewässerbett (großmaßstäbig),
- Ufervegetation,
- Gewässerstrukturen,
- umliegende Landnutzung,
- Bebauung und
- Verkehrswege.

Zu diesen visuellen Objekten können die Planer unter Verwendung von GIS-Techniken verschiedene Attribute aus einer Datenbank abfragen. Dies schließt hydrologische, Gewässergüte-, Kataster-, limnologische und strukturelle (z. B. Naturnähe der Ufer, Anzahl von Querbauwerken, Tiefen- und Seitenerosion) Daten ein.

Durch die Untersuchung der virtuellen Realität und dem Erhalt von weiteren Informationen aus der Datenbank haben die Planer die Möglichkeit, die Qualität der Naturnähe der Aue zu bewerten und den Bedarf für naturnahe Entwicklungsmaßnahmen zu evaluieren.

Im vorliegenden Beispiel finden die Planer einen nahezu geradlinigen Gewässerlauf vor, der keinerlei Seitenerosion, nur Ansätze von Querbänken, kaum Gehölze und eine erhöhte Wassertemperatur aufweist. Die Planer testen nun verschiedene Planungsszenarien, indem sie das aktuelle Landschaftsmodell „editieren“. Um die einzelnen Geoobjekte durch „Hineingreifen“ zu verändern, bedienen sie sich verschiedener Interaktionswerkzeuge. Es können Gewässerabschnitte „angefasst“ werden, um deren geradlinigen in einen mäandrierenden Verlauf zu verändern und somit natürliche Mäandrierungsprozesse auszulösen, die zur erhöhten Strukturvielfalt im Gewässer beitragen.

Während der Editierung können sämtliche Gegebenheiten wie Bebauungen, Verkehrswege oder Besitzverhältnisse bereits während des Planungsprozesses berücksichtigt werden. Zugleich lässt sich auch die Plausibilität der Editierungen überprüfen. So werden systemseitig beispielsweise Änderungen, die im Modell zu einem bergaufwärts gerichteten Gewässerverlauf führen würden, direkt zurückgewiesen.

Weitere Arbeitsschritte der Planer könnten sich auf die Ufervegetation beziehen. Diese dient als Lebensraum für Tiere, als Schattenspender für das Gewässer und als Schutz vor übermäßiger Erosion. Die Planer können Bäume aus einer Art „Pflanzen-Center“ entnehmen und diese am Gewässer platzieren oder bereits bestehende Vegetationsstrukturen verändern. Durch wiederholtes Editieren entwerfen die Planer ein neues Landschaftsmodell, welches den interdisziplinären Anforderungen der Planer entspricht.

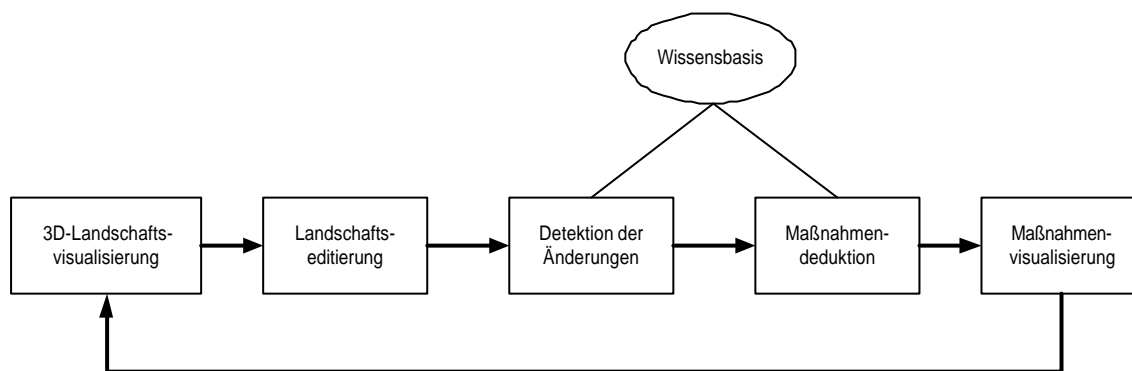


Abb. 1: **Verfahrensablauf**

Sobald die Planer einen Konsens gefunden haben, analysiert das System das modifizierte virtuelle Landschaftsmodell und leitet die Änderungen ab, die durchzuführen sind, um das Entwicklungsziel in der Realität umzusetzen. Dazu wird die Ausgangssituation mit dem geänderten Modell verglichen. Die detektierten Änderungen „triggern“ dann entsprechende in der Wissensbasis abgelegte Regeln zur Herleitung der notwendigen Maßnahmen.

Es gibt verschiedene technische Möglichkeiten zur Darstellung der Entwicklungsmaßnahmen. Maßnahmen wie 'Pflanzung von Ufervegetation', 'Tolerierung von Tiefen- und Seitenerosion' oder 'Rückbau von Sohl- und Uferbefestigungen' können als kartographische Symbole oder Piktogramme dargestellt und an den entsprechenden Gewässerabschnitten platziert werden. Auf ein spezielles Objekt bezogene Maßnahmen werden direkt an diesem platziert. Beispielsweise würde ein Schmutzwassereinleiter, welcher als Maßnahme vom Gewässer entfernt werden muss, als „durchgestrichen“ dargestellt. Zur weiteren Dokumentation wird eine Liste mit Angaben über geeignete Spezies (z. B. standortgerechte Baumarten) oder Sekundärmaßnahmen angefertigt. Textliche Erläuterungen veranschaulichen, welche thematischen Attribute durch die durchzuführenden Maßnahmen betroffen werden.

### **3 PROTOTYPISCHE UMSETZUNG EINER INTERAKTIVEN 3D-VISUALISIERUNG**

Die Visualisierung hat hier zum einen die Aufgabe, eine visuelle Repräsentation der Ideen des Planers zu generieren. Andererseits sind hier die in der Geo-Datenbank vorgehaltenen Objekte und die abgeleiteten Maßnahmen darzustellen. Im Rahmen der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Ein- und Ausgabe von Planungsideen ist die Visualisierungskomponente somit von zentraler Bedeutung.

Die benötigten interaktiven 3D-Visualisierungen lassen sich basierend auf Szenengraph-basierten Bibliotheken wie z. B. Java 3D (Sun Microsystems 1997) oder MAM/VRS (Döllner & Hinrichs 1997) aufbauen. Die Kosten für die dazu benötigte Hard- und Software befinden sich dabei in einer rückläufigen Entwicklung (PC-Plattform, zahlreiche kostenfreie Grafik-Bibliotheken). Aufwändig ist hingegen die Entwicklung konkreter, fachspezifischer Anwendungen. Für das hier betrachtete Beispiel stellten sich darüber hinaus Erfassung und Aufbereitung der benötigten wasserbaulichen und planerischen Geodaten als arbeitsintensiv heraus.

Angelehnt an den in Kapitel 2 beschriebenen Anwendungsfall wurden das Geländemodell einer Flussaue sowie zugehörige Wasserspiegellagen eingelesen und grafisch dargestellt. Die Bildberechnung erfolgt dabei in Sekundenbruchteilen (Echtzeit-Rendering). D. h., der Anwender kann z. B. die Blickrichtung auf das Modell ändern, ohne dass dies zu einer „ruckelnden“ Darstellung führt. Bei stereoskopischer Ausgabe und Anwender-Tracking ergibt sich der Eindruck eines im Raum stehenden 3D-Bildes, um das sich der Betrachter frei bewegen kann (Uhlenkükken et al. 1999). Zur Erprobung der Interaktion mit der Ufervegetation wurden darüber hinaus einfache 3D-Baumsymbole grafisch dargestellt (aus einem Zylinder und einem Ellipsoid zusammengesetzte „Lollipops“), die an frei wählbaren Positionen auf der Geländeoberfläche positioniert werden können. Abb. 2 zeigt einen „Screenshot“ der Anwendung.

Die fehlende Unterstützung der Spezifikation dynamischer Aspekte ist als ein Defizit des traditionellen Szenengraph-orientierten Ansatzes zu sehen (Döllner 2000). Die Hierarchie des Szenengraphen fokussiert den statischen Aufbau einer Szene mit ihren Visualisierungsobjekten; Verhalten lässt sich oft nur schwer in den Graphen einfügen. Deutlich wird dieser Sachverhalt dadurch, dass sich der Großteil des Programmcodes der realisierten Anwendung mit der Realisierung von Benutzer-Interaktionen beschäftigt und nur ein geringer Teil auf die geometrische und grafische Modellierung der Visualisierungsobjekte entfällt. Ansätze zur Überwindung dieses Defizits sind die Einführung auf Ereignisse reagierender und Callback-Funktionen auslösender Verhaltensobjekte in die Szenengraph-Struktur oder die Einführung eines zweiten hierarchischen Graphen neben dem Szenengraphen.

Als weitere Defizite sind die niedrige Abstraktionsebene der Szenengraph-Modellierung sowie die fehlende Anpassbarkeit der Systeme zu nennen: Grundfunktionen zur Bildung von Objektauswahlsätzen, Fangopera-

tionen zur Positionsfestlegung etc. sind zumeist nicht direkt verfügbar. Unvorhergesehene Änderungen der Benutzer-Anforderungen (z. B. Änderung der Eingabegeräte-Konfiguration oder Nutzung anderer Interaktionsmetaphern) führen oft zu erheblichen architektonischen Umstellungen. Die produzierten Interaktionswerkzeuge sind häufig „Sonderanfertigungen“, kaum wiederverwendbar und wenig universell. Ein Ansatz zur Überwindung dieser Defizite wird z. Zt. am Institut für Geoinformatik (2001) erarbeitet.

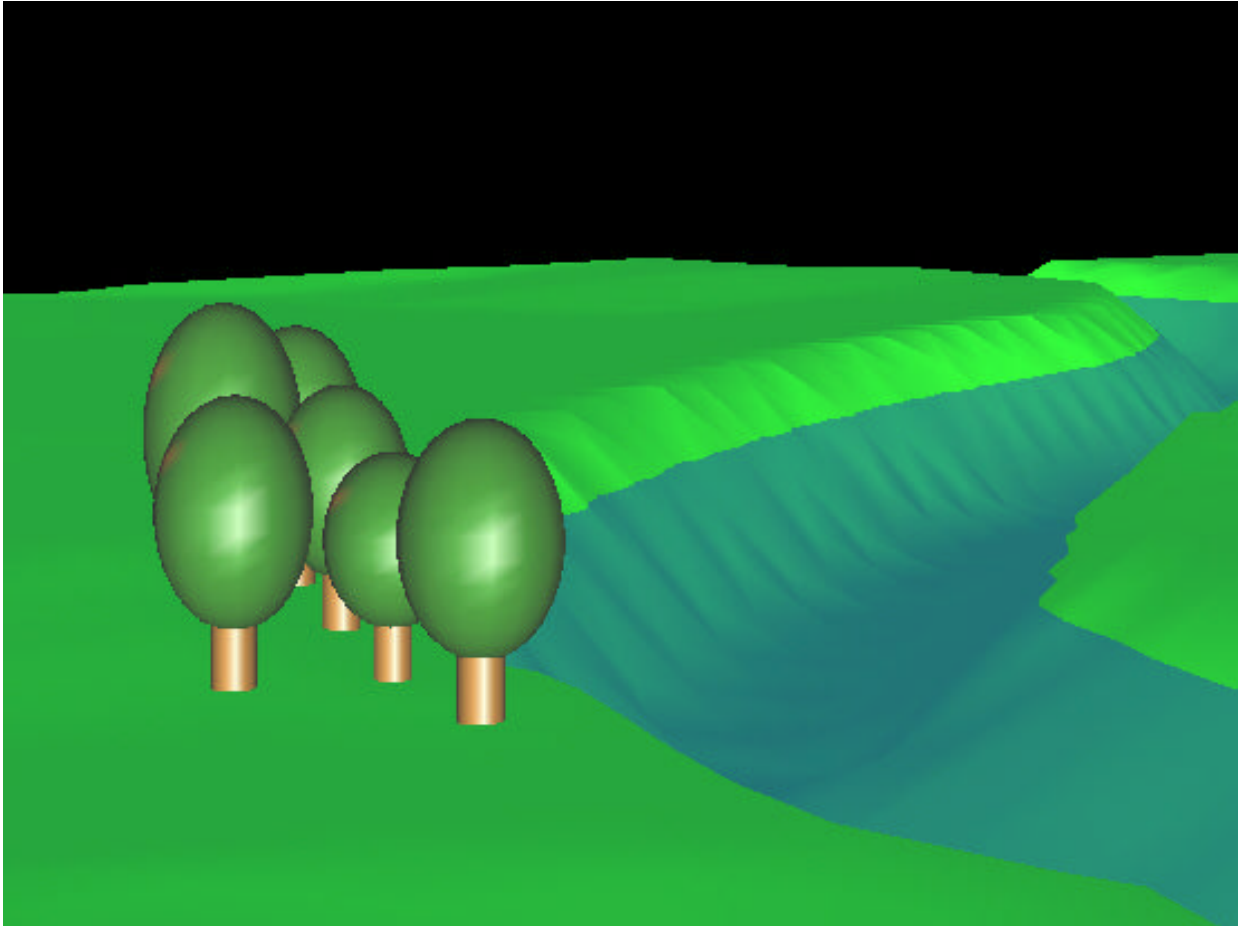


Abb. 2: Snapshot aus der prototypischen Implementierung. Hier wurden an das Flussbett mehrere „Bäume gepflanzt“.

## 4 WEITERENTWICKLUNG DES PROTOTYPEN

### 4.1 Softwarekomponenten

Der vorgestellte Ansatz erfordert die Kombination von interaktiver 3D-Visualisierung, räumlichen und thematischen Abfragemöglichkeiten sowie einer Wissensbasis inklusive einer Inferenzmaschine. Aus Software-technischer Sicht besteht eine der Hauptaufgaben in der Herstellung einer geeigneten Verbindung zwischen diesen architektonischen Komponenten (Möltgen et al. 1999). Besondere Probleme entstehen durch die Inkompatibilität der Datenmodelle, die seitens der Komponenten verwendet werden. Die Kommu-

nikation der Komponenten muss auf Schnittstellen beruhen, deren Implementierung auf „offenen“ Standards bzw. entsprechenden Spezifikationen aufbauen sollten (Buehler & McKee 1998).

## 4.2 Wissenbasen

Die Maßnahmededuktion erfolgt unter Verwendung von Expertenwissen. Ein Katalog mit möglichen Entwicklungsmaßnahmen bildet die Grundlage für die Wissensbasis. Darin enthalten sind Maßnahmen wie `Anpflanzung von Ufergehölzen` oder `Duldung von Seiten- und Tiefenerosion` (Möltgen & Pundt 1998).

Um die Entstehung eines Mäanders praktisch umzusetzen, kann im Modell ein Mäander editiert werden. Diese Editierung bewirkt das Anstoßen einer Regel, welche die einzuleitenden Maßnahmen herleitet. Grundlage ist eine wissensbasierte Analyse des editierten Gewässerabschnitts, um abschnittsspezifisch geeignete Maßnahmen zu erhalten.

Die Editierung von Geoobjekten kann zu einer Änderung des Landschaftszustandes führen. Um Maßnahmen ableiten zu können, muss das System diese Änderungen, welche entsprechende Regeln „triggern“ können, detektieren. Die ermittelten Maßnahmen werden unter Nutzung kartographischer Gestaltungsmittel visualisiert. Hierzu wird Information über die Geoobjekte, auf welche sich die Maßnahmen beziehen, benötigt.

Letztlich legen die in der Wissensbasis abgelegten Regeln fest, welche Änderungen nach einer Editierung zu detektieren sind. Diese Änderungen können sich auf geometrische, topologische oder thematische Ausprägungen beziehen. Tabelle 1 zeigt Beispiele, wie Modifikationen von Geoobjekten Maßnahmen induzieren können.

**Tab. 1:** Beispiele für Geoobjekte die Maßnahmen triggern

Geoobjekt	Interaktion	relevante Änderungen	mögliche Entwicklungsmaßnahmen
Baum	Baum hinzufügen	Koordinaten, Größe	`Initialbepflanzung`, evtl. `Entfernung von Uferverbau`
Gewässerabschnitt	Wasserqualität vorgeben	Änderung der Wasserqualität	alle Maßnahmen, welche zu einer Qualitätsverbesserung beitragen
Gewässerverlauf	Mäander platzieren	Koordinaten, Krümmungsradius, Topologie	`Initialbepflanzung`, `Tolerierung von Erosion`, `Uferstrandstreifen einrichten`, etc.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorgestellte Ansatz schlägt eine neue Arbeitsweise im Rahmen von komplexen Planungsprozessen vor. Die Visualisierung wird dabei zu einer wesentlichen Komponente innerhalb des Entscheidungsprozesses.

Die Interaktionsmöglichkeiten ermöglichen eine Konsens-basierte Planung, indem Planer Szenarien „ausprobieren“ können. Durch die Implementation von Expertenwissen, Änderungsdetektionsalgorithmen und Verfahren zur Maßnahmededuktion werden „wissensbasierte Maßnahmenvorschlagssysteme“ geschaffen, die eine größere Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Planungsabläufen ermöglichen als herkömmliche GIS.

Das vorgestellte Paradigma der Landschaftseditierung erfordert semantische Plausibilitätsprüfungen während der Editiervorgänge. Zur Erkennung der vorgenommenen Modelländerungen, d. h. für den Vergleich des editierten Modells mit der Ausgangssituation, sind geeignete Algorithmen zu entwickeln. Die Regeln, die in der Komponente zur wissensbasierten Maßnahmededuktion vorgehalten werden, definieren dabei die Anforderungen an den Algorithmus zur Detektion der Zustandsänderungen.

Die Werkzeuge zur interaktiven 3D-Visualisierung werden z. Zt. am Institut für Geoinformatik weiterentwickelt. Methodische Schwerpunkte der Entwicklungen sind dabei die Umsetzung der 3D-Interaktion (Institut für Geoinformatik 2001) sowie der GIS-Anbindung (Schmidt 2000). Eine prototypische 2D-GIS gekoppelte Regelbasis zur Maßnahmenherleitung wurde bereits im Rahmen einer Diplomarbeit realisiert (Möltgen & Pundt 1998).

Offen ist die Frage, bis zu welchem Grad sich das Wissen aus den beteiligten Disziplinen (Gewässerökologie, Landschaftsplanung, Wasserbau, etc.) unter Beachtung der wesentlichen räumlichen und thematischen Wechselwirkungen zusammentragen und formalisieren läßt.

In diesem Beitrag erfolgte eine Betrachtung hauptsächlich qualitativen Wissens. Von großer Bedeutung sind jedoch auch quantitative Prozesse, die eine Einbindung numerischer Simulationsmodelle erfordert.

Sowohl unscharfe Daten als auch räumliche Heterogenität und zeitliche sowie thematische Variabilität erfordern den Einsatz von Fuzzy-Technologien, da bislang mit den Wissensbasen eine Schärfe vorgegeben wird, der die Datenlage jedoch nicht entspricht (vgl. Grabaum & Steinhardt 1998, Lutze & Wieland 1997). Letztlich muß auch untersucht werden, inwieweit zeitliche und historische Aspekte (Landschaftsgenese) für eine umfassende Landschaftszustandsbeschreibung berücksichtigt werden müssen.

Die Forderung nach einer Verbesserung von Qualität, Transparenz und Nachvollziehbarkeit innerhalb von partizipativen Planungsvorgängen wird erst erreicht werden können, wenn diese Probleme gelöst sind.

Die Diskussion während des Geographentages hat gezeigt, dass der Einsatz derartiger Systeme in der Planungspraxis noch einigen Entwicklungsaufwand erfordert. Insbesondere die 3D-Visualisierung stellt jedoch

eine Gewinn für die Transparenz dar. Für die praktische Anwendung müssen jedoch Visualisierungsumgebungen gewählt werden, die auch in der Planungspraxis verfügbar und einsetzbar sind.

## 6 LITERATUR

Buehler, K. & L. McKee, eds. (1998): *The OpenGIS Guide : Introduction to Interoperable Geoprocessing and the OpenGIS Specification*. 3rd ed., Open GIS Consortium, Inc. <http://www.opengis.org>

Döllner, J. (2000): *Objektorientierte kartographische Visualisierung*. In G. Buziek, D. Dransch & W.-D. Rase, Hrsg.: *Dynamische Visualisierung : Grundlagen und Anwendungsbeispiele für kartographische Animationen*, Berlin: Springer, S. 61-82.

Döllner, J. & K. Hinrichs (1997): *Object-Oriented 3D Modeling, Animation, and Interaction*. The Journal of Visualization and Computer Animation, Vol. 8, pp. 33-64.

Grabau, R. & U. Steinhardt, eds. (1998): *Landschaftsbewertung unter Verwendung analytischer Verfahren und Fuzzy-Logic*. UFZ-Bericht Nr. 6/1998, Leipzig: Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle.

Higuchi, T. (1989): *The Visual and Spatial Structure of Landscapes*. Massachusetts Institute of Technology (MIT), MIT Press paperback edition, USA.

Institut für Geoinformatik (2001): Website des DFG-Projekts „3D-Interaktion“, Entwicklung neuer und Weiterentwicklung existierender 3D-Interaktionsansätze sowie ihre Systematisierung und Nutzarmachung für die Geowissenschaften, Münster: IfGI, <http://3d.uni-muenster.de>.

Lutze, G. & R. Wieland (1997): *Fuzzy in der Landschaftsforschung und –modellierung*. In R. Grützner, Hrsg.: *Fortschritte in der Simulationstechnik : Modellierung und Simulation im Umweltbereich*. Braunschweig: Vieweg, pp. 233-247

Möltgen, J. & H. Pundt (1998): *Regelbasierte GIS-Werkzeuge zur Maßnahmenherleitung in der Gewässerpflege*. In J. Strobl & F. Dollinger, Hrsg.: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung (AGIT '98)*, Salzburg, Heidelberg: Wichmann.

Möltgen, J., B. Schmidt & W. Kuhn (1999): *Landscape Editing with Knowledge-Based Measure Deductions for Ecological Planning*. In P. Agouris & A. Stefanidis, eds.: *ISD'99 - Integrated Spatial Databases: Digital Images and GIS*, . Lecture Notes in Computer Science 1737, Berlin: Springer.

Pundt, H. (1997): *Wissensbasierte Komponenten zur Verbesserung der Datenqualität bei digitalen Feldkartierungen*. In F. Dollinger & J. Strobl, Hrsg.: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung IX*. Salzburger Geographische Materialien, Heft 26, Universität Salzburg, Austria, S. 105-114.

- Rizzoli, A. E. & W. J. Young (1997): *Delivering Environmental Decision Support Systems: Software Tools and Techniques*. Environmental Modelling & Software 12(12), pp. 237-249.
- Schmidt, B. (2000): *Repräsentationsübergreifende Konsistenz in integrierten 3D-GIS/Visualisierungsumgebungen*. In B. Schmidt & C. Uhlenkücken, Hrsg.: Visualisierung raumbezogener Daten: Methoden und Anwendungen, Beiträge zum 3. GeoViSC-Workshop, Sept. 2000, IfGIprints, Bd. 8, Münster: Institut für Geoinformatik / Solingen: Verlag Natur & Wissenschaft, S. 151-170.
- Streit, U., H. Pundt, A. Remke & K. Wiesmann (1994): *Integration of GIS, Image Processing And Knowledge Based Techniques For Pen-Computing In Field Data Acquisition And Evaluation*. Proceedings International Workshop on Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management, European Commission, Luxembourg, pp. 345-357.
- Sun Microsystems (1997): *The Java 3D API*. Technical White Paper, Mountain View, CA: Sun Microsystems, Inc., [http://www.java.sun.com/products/java-media/3D/collateral/j3d\\_api/j3d\\_api\\_1.html](http://www.java.sun.com/products/java-media/3D/collateral/j3d_api/j3d_api_1.html)
- Uhlenkücken, C., B. Schmidt & U. Streit (1999): *Workbench-basierte Benutzerschnittstellen für raumbezogene 3D-Anwendungen*. In B. Schmidt & C. Uhlenkücken, Hrsg.: Visualisierung raumbezogener Daten: Methoden und Anwendungen, Beiträge zum 2. GeoViSC-Workshop, Sept. 1999, IfGIprints, Bd. 6, Münster: Institut für Geoinformatik / Solingen: Verlag Natur & Wissenschaft, S. 45-57.
- van House, N. A., M. H. Butler & L. R. Schiff (1998): *Cooperative Knowledge Work and Practices of Trust: Sharing Environmental Planning Data Sets*. ACM 1998 Conference Proceedings on Computer Supported Work.
- van Voris, P., W. D. Millard, J. Thomas & D. Urban (1993): *TERRA-Vision - The Integration of Scientific Analysis into the Decision Making Process*. International Journal of Geographic Information Systems, 7, pp. 143-164.
- Wherrett, J. R. (1996): *Visualization Techniques for Landscape Evaluation: Literature Review*. Macaulay Land Use Research Institute (MLURI), Aberdeen, Scotland, <http://bamboo.mluri.sari.ac.uk/~jo/litrev>.