

Visualisierung von Szenarien zum Anbau nachwachsender Rohstoffe

- Abschlussbericht -



gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Aktenzeichen: 24801

Projektlaufzeit: Januar 2007 bis Dezember 2007

Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung
der Technischen Universität Berlin

Projektleitung:

Prof. Dr. Birgit Kleinschmit

Berlin, März 2008



Prof. Dr. Birgit Kleinschmit

Dipl.-Ing. Lutz Ross

Fachgebiet Geoinformationsverarbeitung
in der Landschafts- und Umweltplanung

Sekr. EB 5, Straße des 17. Juni 145, 10623 Berlin

birgit.kleinschmit@tu-berlin.de

lutz.ross@tu-berlin.de

Lenné3D®

Dipl.-Ing. Philip Paar

Lenné3D GmbH

Torstraße 75

10119 Berlin

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
ZUSAMMENFASSUNG	1
1 ANLASS UND ZIELSTELLUNG DES PROJEKTES	2
2 GRUNDLAGEN	4
2.1 Entwicklung des Biomasseanbau in Deutschland	4
2.2 Stand der GIS gestützte Echtzeit Landschaftsvisualisierung	6
2.3 Anknüpfungspunkt zum DBU-Projekt: „Übertragbare Strategien zur naturverträglichen Biomassebereitstellung“	9
2.4 Charakterisierung der Testgebiete	10
2.4.1 Ostprignitz-Ruppin	10
2.4.2 Chiemgau	11
3 METHODIK UND DISKUSSION	12
3.1 Modellierung von digitalen Landschaftsmodellen	14
3.2 Integration der entwickelten Landnutzungsszenarien in das Basis-Landschaftsmodell	15
3.3 Vegetationsmodellierung	18
3.4 Visualisierung von Szenarien	19
3.5 Anpassung der Methodik für das Gebiet im Chiemgau	19
3.6 Informationsvisualisierung	20
3.7 Einsatz der Visualisierungen in Experten- und Kommunikationsworkshops	21
4 ERGEBNISSE	21
5 ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION UND AUSBLICK	31

QUELLENANGABEN	35
Gesetze und Programme	35
Literatur	35
Software	36
ANHANG	A
A Karten	A

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ENTWICKLUNG DER ANBAUFLÄCHEN NACHWACHSENDER ROHSTOFFE SEIT 1997, QUELLE: FNR 2008.....	5
ABBILDUNG 2: KOMBINATION EINES GELÄNDEMODELLS MIT EINEM ORTHOPHOTO.....	7
ABBILDUNG 3: BEISPIELHAFTE ERGÄNZUNG DES MODELLS IN ABBILDUNG 2 UM 3-D OBJEKTE.....	8
ABBILDUNG 4: ORTHOFOTO DER UNTERSUCHUNGSREGION IN OSTPRIGNITZ-RUPPIN, MAßSTAB 1:15.000	11
ABBILDUNG 5: ORTHOFOTO DER UNTERSUCHUNGSREGION IM CHIEMGAU, MAßSTAB 1: 7.500	12
ABBILDUNG 6: FLOWCHART ZUR ERLÄUTERUNG DES METHODISCHEN VORGEHENS	13
ABBILDUNG 8: REFERENZIERUNG DER RELEVES DURCH ATTRIBUTE IN DEN SACHDATEN DER GEOOBJEKTE	18
ABBILDUNG 9: SZENARIENVERGLEICH AM STANDORT 1 FÜR DIE REGION OSTPRIGNITZ-RUPPIN	22
ABBILDUNG 10: SZENARIENVERGLEICH AM STANDORT 2 FÜR DIE REGION OSTPRIGNITZ-RUPPIN	23
ABBILDUNG 11: SZENARIENVERGLEICH AUS DER VOGELPERSPEKTIVE (STANDORT 3) MIT EINFÄRBUNG DER BIOMASSEKULTUREN	24
ABBILDUNG 12: BEISPIELHAFTE INFORMATIONSVISUALISIERUNG MITTELS NON-PHOTOREALISTIC RENDERING TECHNIKEN AM BEISPIEL DES LANDSCHAFTSMODELLS VON OPR	25
ABBILDUNG 13: SZENARIENVERGLEICH AM STANDORT 1 FÜR DIE REGION CHIEMGAU.....	26
ABBILDUNG 14: SZENARIENVERGLEICH AM STANDORT 2 FÜR DIE REGION CHIEMGAU.....	27
ABBILDUNG 15 (DIESE UND FOLGENDE SEITE): VERGLEICH UNTERSCHIEDLICHER KULTURARTEN AM STANDORT 2 FÜR DIE REGION CHIEMGAU.....	28
ABBILDUNG 16: SZENARIENVERGLEICH AM STANDORT 3 FÜR DIE REGION CHIEMGAU AUS DER VOGELPERSPEKTIVE	30

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: VERWENDETE DATEN AUS DEM STRATEGIENPROJEKT ZUR VISUALISIERUNG	10
TABELLE 2: BERECHNUNG DER FLÄCHENANTEILE IN DEN SZENARIEN FÜR OPR.....	16
TABELLE 3: ÜBERSICHT DER ZUGEWIESENEN FLÄCHENNUTZUNG FÜR DAS LANDSCHAFTSMODELL VON OPR.....	17
TABELLE 4: ÜBERSICHT DER ERZEUGTEN VISUALISIERUNGEN FÜR DEN BERICHT	21

Abkürzungsverzeichnis

ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AZ	Aktenzeichen
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
bspw.	beispielsweise
BTNT	Biotoptypen und Nutzungstypenkartierung
CAD	Computer Aided Design
CCM	Corn-Cob-Mix
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DGM	Digitales Geländemodell
DMK	Deutsches Maiskomitee e. V.
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EU	Europäische Union
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
FvB	Fachverband Biogas e. V.
GIS	Geoinformationssystem
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
ha	Hektar
KUP	Kurzumtriebsplantage
MAP	Marktanreizprogramm
NPR	Non-photorealistic rendering
OPR	Ostprignitz-Ruppin
TU	Technische Universität
XML	eXtensible Markup Language
z. B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht untersucht, ob mit aktuellen Echtzeitrenderingtechniken interaktive 3D-Landschaftsmodelle agrarisch geprägter Landschaften in photorealistischer Darstellung generiert werden können, um Aussagen zu einem potentiellen Wandel des Landschaftsbildes im Zuge eines vermehrten Biomasseanbaus für die Gewinnung von Bioenergie treffen zu können. Die Untersuchung bezieht dabei sowohl die technischen als auch die inhaltlichen Aspekte der 3D-Landschaftsvisualisierung ein.

In Bezug auf die technischen Voraussetzungen wird festgestellt, dass grundsätzlich eine realistische Echtzeitvisualisierung räumlich beschränkter Landschaftsausschnitte möglich ist. Die angewandten Algorithmen und die Methodik ist dabei aber nicht geeignet um Landschaftsausschnitte, die größer als wenige Hektar sind, interaktiv darzustellen. Dies ist auf dem verwendeten Ansatz einer diskreten Pflanzenverteilung zurückzuführen, der es erfordert, für jedes Individuum eines Landschaftsausschnittes die Position, die Rotation, die Skalierung und den Pfad zum 3D-Pflanzenmodell zu speichern. Diesem Ansatz ist wegen des begrenzten Speicherraumes von aktuellen 32-Bit Systemen auf der Basis von Microsoft Windows eine klare Grenze gesetzt. Abhilfe könnten auf lange Sicht leistungsfähigere Systeme aber auch neue Verteilungs- und Generalisierungsalgorithmen schaffen.

Die inhaltlichen Frage der Landschaftsvisualisierung beziehen sich auf die Abbildung eines virtuellen Landschaftsraumes in ein 3D-Bild und dessen Interpretierbarkeit. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass agrarische Landschaftsräume photorealistisch abgebildet und dadurch Diskussionsprozesse über potentielle zukünftige Landschaften angeregt werden können. Erste Versuche einer integrierten Informationsvisualisierung auf Basis von „nicht photorealistischen rendering“ zeigen, dass dabei komplexe Informationen integrativ in den 3D-Landschaftsmodellen darstellbar sind. Gleichzeitig wurden eine Reihe offener Forschungs- und Entwicklungsfragen identifiziert. Dazu zählen insbesondere Fragen nach dem Umgang mit den Jahreszeiten in interaktiven 3D-Landschaftsmodellen. Gerade bei Biomassekulturen wie Mais oder Kurzumtriebsplantagen, die innerhalb einer oder weniger Vegetationsperioden eine beachtliche Höhe erreichen können, wurde die integrierte Darstellung der Vegetation im Jahresgang wiederholt nachgefragt. Generell bleibt aber festzuhalten, dass eine Abbildung unterschiedlicher Szenarien möglich ist, wodurch potentielle Entwicklungen bildlich dargestellt werden können.

Um die Nützlichkeit und Wirksamkeit solcher Darstellungen tiefer gehend zu untersuchen sind jedoch weitere Studien nötig, weshalb die Forschungsergebnisse der Universität Hannover und der Universität Marburg für weitere Studien zur Verfügung gestellt werden.

1 Anlass und Zielstellung des Projektes

Seit 1997 hat sich die Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe nach Angaben der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR, 2007) auf aktuell rund 2 Millionen Hektar verfünffacht. Dies entspricht gegenwärtig 17 Prozent der Ackerflächen in der Bundesrepublik Deutschland. Den weitaus größten Anteil nehmen dabei Pflanzen für die Energiegewinnung ein. Biomasseanbau für die Energiegewinnung ist damit offensichtlich eine etablierte Erwerbsmöglichkeit in der Landwirtschaft. Weitreichende Ziele zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf nationaler und internationaler Ebene, Quotenregelungen für die Beimischung von Biokraftstoff zu konventionellen Kraftstoffen, nationale Förderinstrumente wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), die Debatte um die Versorgungssicherheit im Energiesektor und eine zunehmende Industrialisierung der Energiegewinnung aus Biomasse lassen erwarten, dass sich der beobachtete Trend mittelfristig fortsetzen und die Anbaufläche für Energiepflanzen zunehmen wird. Damit ist ein allmählicher Landnutzungswandel verbunden. Im Kontext dieser Entwicklung ist eine Debatte über die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des vermehrten Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen für die Energiegewinnung entstanden.

Ein anscheinend marginaler Aspekt des zu beobachtenden Landnutzungswandels ist eine mögliche Veränderung des Landschaftsbildes und damit des Landschaftserlebens, die bei der Ausdehnung des Biomasseanbaus auftreten können. Dieser Aspekt eines vermehrten Biomasseanbaus wurde in den bisher durchgeführten Forschungen nicht oder nur am Rande diskutiert. Zwei wesentliche Gründe sind unserer Meinung nach hierfür ausschlaggebend. Erstens werden in Deutschland bisher vorwiegend bewährte Kulturpflanzen wie Raps, Mais und Getreide als Energiepflanzen angebaut, die als solche gar nicht erkannt werden. Vielmehr sind dies typische Kulturen der Agrarlandschaft und ihr Anblick ist den Menschen vertraut. Erst eine massive Verschiebung der Flächenanteile der Kulturen wird somit zu wahrnehmbaren Veränderungen des Landschaftsbildes führen. Eine solche Veränderung wird zudem in der Regel nicht ad hoc auftreten, sondern sich im Laufe einer längeren Zeitperiode entwickeln, was ihre Wahrnehmung erschwert. Zweitens fehlen bisher effektive Methoden mit denen die visuellen Auswirkungen einer veränderten Flächennutzung visuell dargestellt und bewertet werden können. Die Darstellung von Landschaftsszenarien ist zwar grundsätzlich mit Zeichnungen, analoger und digitaler Photomontage oder Computervisualisierungen möglich und entsprechende Verfahren sind bereits vereinzelt in der Öffentlichkeitsbeteiligung zum Einsatz gekommen (u. a. Tress & Tress, 2003; Schroth et al., 2005; Warren-Kretzschmar & Tiedke 2005). Die Realisierung solcher Darstellungen unterliegt aber in der Regel einer Reihe von Einschränkungen. So ist bei Zeichnungen oder Photomontagen in der Regel keine freie Wahl des Blickfeldes möglich. Computergenerierte Visualisierungen mit Standard 3D-Modellierungsprogrammen erfordern einen sehr hohen Arbeitseinsatz, um eine realistische Darstellung zu erzeugen und die realistische Darstellung von Vegetation ist bis dato nur in Ansätzen befriedigend gelöst. Die zusätzlichen Kosten, die für die Erstellung von aussagekräftigen Visualisierungen benötigt werden, kommen noch erschwerend hinzu, so dass realistische, qualitativ hochwertige und wissenschaftlich fundierte Landschaftsvisualisierungen nach wie vor selten eingesetzt werden.

Ziel des Projektes „Visualisierung von Szenarien zum Anbau nachwachsender Rohstoffe“ war es, Szenarien eines zunehmenden Biomasseanbaus mit Hilfe von interaktiven

Landschaftsbildsimulationen aus einer menschlichen Perspektive beispielhaft darzustellen. Dabei standen drei Grundfragen im Vordergrund: Lassen sich interaktive und (foto-)realistische Darstellungen von agrarischen Landschaftssystemen realisieren? Lassen sich aus den erstellten Visualisierungen Aussagen zu möglichen Veränderungen des Landschaftsbildes treffen? Und wie können abstrakte Informationen, beispielsweise Flächenanteile, Erosions- oder Verdichtungsempfindlichkeiten, mit Hilfe der visuellen Simulationen integrativ dargestellt werden? Eine weitere Grundfrage war, inwieweit die im Projekt entwickelten Visualisierungen Diskussionsprozesse unterstützen und zum besseren Verständnis der Entwicklung des Biomasseanbaus und möglicher Auswirkungen auf das Landschaftsbild beitragen können.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden Methoden der 3D-Geovisualisierung verwendet, um aus geodatenbasierten, digitalen Landschaftsmodellen interaktive geovirtuelle Umgebungen zu erzeugen. Das bedeutet, dass mit Hilfe von Geoinformationssystemen und Geodaten ein Modell der Landschaft und der Landnutzungsänderungen (Szenarien) aufgebaut wurde, das als dreidimensionale Darstellung auf dem Bildschirm ausgegeben werden kann und das es dem Nutzer erlaubt, sich durch die virtuelle Landschaft zu bewegen oder anderweitig mit der Darstellung zu interagieren. Diese Form der Computervisualisierung wird auch Echtzeitvisualisierung oder real-time rendering genannt und stellt besondere Anforderung an die Visualisierungssoftware, da die 3D-Szenen dafür mehrmals pro Sekunde berechnet werden müssen. Die Vorgabe, eine möglichst realistische Visualisierung der Anbaukulturen erreichen zu wollen, erhöht die Anforderungen, weil dreidimensionale Modelle von Pflanzen eine sehr komplexe Geometrie aufweisen, die moderne Grafikprozessoren schnell an ihre Grenzen bringt.

Zwei Faktoren waren deshalb von Bedeutung für eine Realisierung des Projektes im Rahmen der Laufzeit und des Budgets: Die Anbindung an das DBU Projekt „Übertragbare Strategien zur naturverträglichen Biomassebereitstellung auf Landkreisebene“ (DBU AZ 23633) und die Kooperation mit der Lenné3D GmbH. Durch die Anbindung an das bestehende Forschungsprojekt standen umfangreiche (Geo-)Daten, Literatur und Fachwissen zum Thema zur Verfügung, die für eine fachlich fundierte Bearbeitung der Landschaftsmodelle und der Szenarien erforderlich waren. Durch die Kooperation mit Lenné3D GmbH, die aus einem DBU Forschungsvorhaben (DBU AZ 14209) hervorgegangen ist, wurde Expertise auf dem Feld der Echtzeitvisualisierung von Landschaften, eine umfangreiche 3D-Pflanzenbibliothek und die Visualisierungssoftware eingebracht, so dass eine sehr gute Ausgangsbasis für das Projekt vorlag.

Die langfristige Perspektive ist es, einen Beitrag für einen möglichst objektiven Diskussionsprozess, sowie eine Abschätzung der Auswirkungen eines vermehrten Biomasseanbaus auf das Landschaftserleben zu leisten. Nach Stand der Erkenntnis können realistische Visualisierungen von Landschaftsszenarien die Kognition von Veränderungen und abstrakten Zusammenhängen unterstützen und aus diesem Grund ein Katalysator für Diskussionen und Entscheidungsprozesse sein. Die integrierte Visualisierung von Fachwissen mit Hilfe von Farbkodierungen oder „non-photorealistic rendering“-Technologien (NPR) soll in diesem Kontext helfen, komplexe Informationen abzubilden. Innerhalb des Projektes wurden die Visualisierungsergebnisse – bis auf wenige Ausnahmen – nur intern begutachtet und bewertet. Die Ergebnisse und erste Reaktionen darauf werden im Ergebnis- und im Diskussionsteil dieses Berichts vorgestellt.

Der vorliegende Bericht unterteilt sich in fünf Kapitel. Der Einleitung folgt ein Kapitel mit Hintergrundinformationen, das kurz die Entwicklung des Biomasseanbaus in Deutschland skizziert, den Stand der Forschung in der Echtzeit Landschaftsvisualisierung vorstellt und den Bezug zu dem DBU Projekt „Übertragbare Strategien zur naturverträglichen Biomassebereitstellung“ herstellt. Im letzten Abschnitt des Hintergrundkapitels werden die ausgewählten Testgebiete beschrieben. Daran schließt sich ein Methodenkapitel an, in dem die einzelnen Bearbeitungsschritte erläutert werden. Im Ergebnisteil des Berichtes werden exemplarische Bildbeispiele gezeigt und erläutert, um die Qualität der erzeugten Landschaftsbildsimulationen und die Variationsmöglichkeiten zu illustrieren. Der Ergebnisteil wird von einem Diskussionsteil gefolgt, der sich der Evaluierung der Ergebnisse und möglicher Verbesserungen und Anwendungen widmet. Schließlich wird noch ein Ausblick gegeben. Ein Quellenverzeichnis und Kartenanhänge vervollständigen den Bericht.

2 Grundlagen

Im folgenden werden relevante Grundlagen für das Verständnis des Projektes zusammenfassend dargestellt. Das Kapitel gliedert sich in vier Abschnitte. Im ersten Abschnitt wird kurz die Entwicklung des Biomasseanbaus in Deutschland während der letzten Jahren skizziert. Der zweite Abschnitt fasst den Stand der Forschung der Echtzeit Landschaftsvisualisierung zusammen. Die Abschnitte drei und vier stellen die Verbindung zum DBU Projekt „Übertragbare Strategien einer naturverträglichen Biomassebereitstellung auf Landkreisebene“ her und enthalten eine Kurzcharakterisierung der Testgebiete.

2.1 Entwicklung des Biomasseanbau in Deutschland

Wie bereits in der Einleitung angeführt, hat sich die Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe seit 1997 auf rund 2 Millionen Hektar vervünffacht. Abbildung 1 verdeutlicht diese Entwicklung. Diese Ausweitung der Anbauflächen ist im wesentlichen auf die Einführung einer staatlichen Einspeisevergütung für Strom aus erneuerbaren Energien durch das Erneuerbare Energien Gesetz , das Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien und die steuerliche Begünstigung von Biokraftstoffen zurückzuführen. Das im Jahr 2006 beschlossene Biokraftstoffquotengesetzes (BGBl, 2006), das eine Beimischung von Biokraftstoffen zu Diesel- und Benzin festschreibt, wird die Nachfrage zukünftig zusätzlich stützen. Neben diesen rechtlichen und fiskalischen Steuerungsinstrumenten, wird der anhaltende Bioenergieboom durch politische Programme und gesellschaftliche Meinungsbilder, sowie ökonomische Rahmenbedingungen gefördert. So ist die Entwicklung einer nachhaltigen Energiepolitik eine der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung, 2002) und der EU Politik (vgl. „Fahrplan für erneuerbare Energien - Erneuerbare Energien im 21. Jahrhundert: Größere Nachhaltigkeit in der Zukunft“, KOM(2006) 848). Der Ausbau der Erneuerbaren Energien wird nicht nur unter dem Aspekt der Versorgungssicherheit, sondern insbesondere auch im Hinblick auf den Klimaschutz, den Arbeitsmarktpolitik und der Technologieentwicklung (Innovation) gefordert und gefördert. Die Preisschwankungen auf den Rohstoffmärkten und insbesondere die Entwicklung des Rohölpreises sind weitere Argumente, die für einen weiteren Ausbau erneuerbarer Energien angeführt werden. Das die verschiedenen Steuerungsmechanismen wirken, lässt sich mit wenigen Zahlen illustrieren. So stieg der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch von 2,1 Prozent im Jahr 1998 auf 5,6 Prozent im Jahr 2006. Ebenfalls 2006 erreichte der Anteil erneuerbarer Energien in der Elektrizitätsversorgung 11,5

Prozent (BMU 2007). Damit ist das Ziel der Bundesregierung, den Anteil von erneuerbaren Energien in der Stromversorgung auf 12,5 Prozent bis 2010 zu steigern in greifbare Nähe gerückt und auch das Ziel der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch auf 10 Prozent im Jahr 2020 befindet sich auf gutem Weg.

Energie aus Biomasse stellt einen zunehmenden Anteil am Mix der erneuerbaren Energien dar. Insbesondere die Einführung des NawaRo-Bonus im EEG von 2004 hat zu einem Anstieg des Energiepflanzenanbaus für die Biogasnutzung geführt. 2005 wuchs die installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen gegenüber dem Vorjahr um 70 Prozent und die Anzahl von Biogasanlagen verdoppelte sich von 2003 bis 2006 auf rund 3000 Anlagen (FvB 2006). Als Gärsubstrate kommen dabei in der Regel Ganzpflanzensilagen aus Getreide und Mais, biogene Abfälle und Ackergräser zum Einsatz. Besonders der Anbau von Mais hat auf Grund hoher Methanhektarerträge und etablierter Anbau- und Erntetechnologien stark zugenommen. Laut DMK (2006) hat sich die Anbaufläche für Energiemais innerhalb eines Jahres auf 160.000 Hektar verdoppelt. Insgesamt wurden in Deutschland nach Prognose der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe Energiepflanzen für die Biogasproduktion auf 400.000 Hektar und für die Bioethanolproduktion auf 250.000 Hektar angebaut. Vom Flächenanteil dominiert aber weiterhin der Rapsanbau als Rohstoff für die Biodieselproduktion mit einer Anbaufläche von 1,12 Millionen Hektar. Verschiedene Szenarien zum Ausbau der Biomassenutzung prognostizieren in den nächsten zwei Jahrzehnten eine Flächeninanspruchnahme von knapp 2 bis 4,4 Millionen Hektar (Ökoinstitut e.V., 2003). Das entspricht rund 25 bis 40 Prozent des deutschen Ackerlandes.

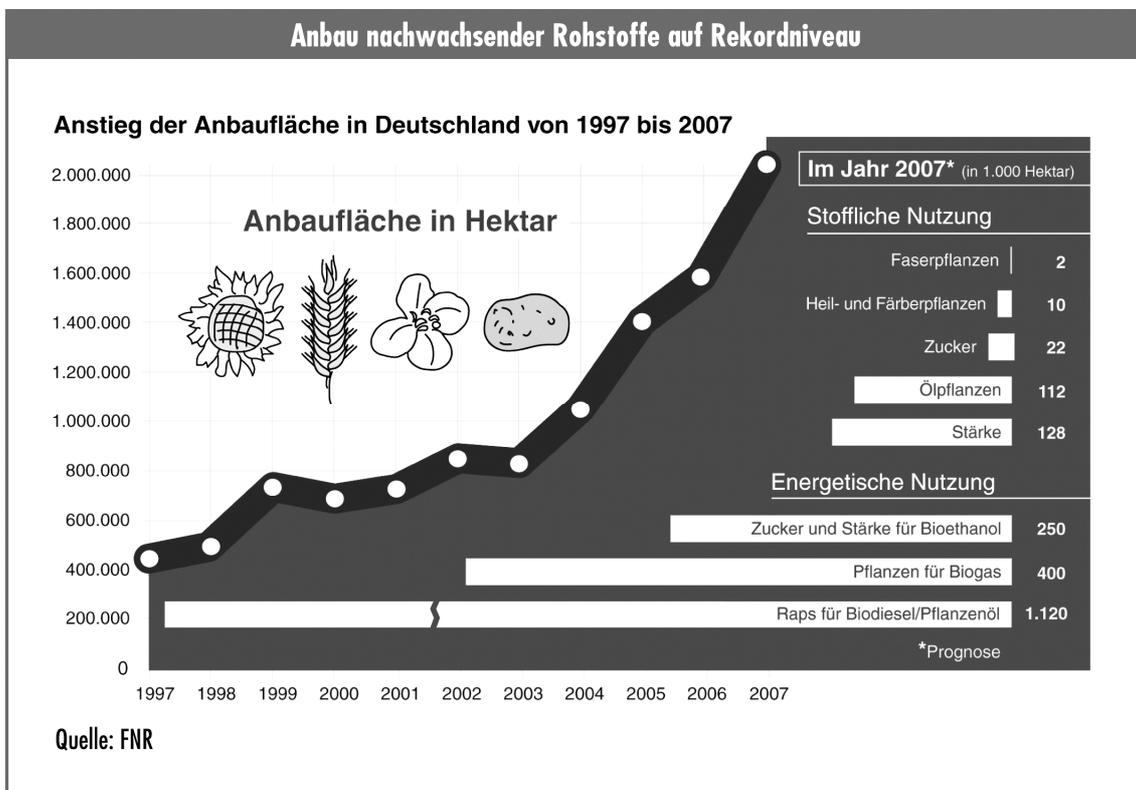


Abbildung 1: Entwicklung der Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe seit 1997, Quelle: FNR 2008

2.2 Stand der GIS gestützte Echtzeit Landschaftsvisualisierung

Das Feld der Echtzeit Landschaftsvisualisierung hat sich in den letzten zehn Jahren entwickelt. Von ersten Versuchen der Landschaftsvisualisierung auf Basis von Hochleistungsrechnern, digitalen Geländemodellen und Geotexturen in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts bis zu modernen Visualisierungssystemen, die eine Landschaftsvisualisierung bis auf die Ebene der Einzelpflanze mit normalen Grafikworkstations erlauben, hat es nur wenige Jahre gedauert. Ein zentraler Aspekt dieser Entwicklung war die Einführung und stetige Verbesserung von 3D-Grafikkarten, die im Wesentlichen durch die Computerspielindustrie vorangetrieben wurde. Die zunehmende Verfügbarkeit von Geodaten, 3D-Modellen, Algorithmen und Softwaresystemen für die Modellierung und Visualisierung virtueller Landschaften und Landschaftselementen führte zu regen Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet der Landschaftsvisualisierung zu Beginn des 21. Jahrhunderts (u.a. Appleton et al., 2002 und 2003; Bishop 2001; Lange 2001; Bishop & Lange, 2005). Obwohl die erreichten Ergebnisse für damalige Verhältnisse bereits eine sehr hohe visuelle Qualität hatten, stellte sich heraus, dass photorealistische Darstellungen von detaillierten Vegetationsstrukturen in Echtzeit mit den am Markt verfügbaren Systemen nicht umsetzbar sind. Vielmehr bereitete bereits die Erzeugung von photorealistischen Standbildern, die eine realistische Vegetation darstellen, Schwierigkeiten. Ein Problem stellen die enormen Textur- und Geometriemengen dar, die für eine Modellierung von realistischen Vegetationsmodellen und Geländedaten benötigt werden. Erschwerend kommt der Umstand hinzu, dass bis vor wenigen Jahren kaum 3D-Pflanzenbibliotheken am Markt erhältlich waren, so dass jedes geplante Vorhaben zunächst entsprechende Modelle erstellen musste, was mit hohen Kosten und einem großen Zeitaufwand verbunden war. Eine 2003 in Deutschland durchgeführte Studie zur Evaluierung des Bedarfs einer realistischen Vegetationsvisualisierung und den Anforderungen an eine solche Software, zeigte dann auch das 3D-Darstellungen zwar von Fachleuten als hilfreich angesehen wurden, aber selten eingesetzt werden. Als Gründe wurden u. a. fehlende bzw. zu teure Software, zu hohe Zeit- und Arbeitskosten, fehlendes Fachwissen, komplizierte Bedienung und fehlende Geodatenanbindung genannt (Buhmann & Jünemann, 2000). Die Studienergebnisse führten zu dem DBU Projekt „Sehen, Verstehen, Umsetzen - computergrafisch unterstützte Akteursbeteiligung in Landschaftsplanungsprozessen. Entwicklung und Erprobung eines GIS- und CAD-kompatiblen Werkzeugs zur echtzeitbasierten 3D-Landschaftsvisualisierung aus Spaziergängersicht“ (DBU AZ 14209) mit dem Ziel einen Prototypen für ein geodatenbasiertes Visualisierungssystem zu entwickeln, das eine hochqualitative Darstellung von Vegetationsstrukturen in Echtzeit erlaubt. Aus dem Projekt ist ein prototypisches Visualisierungssystem, bestehend aus dem *Lenné3D-Player*, einer 3D-Pflanzenbibliothek und einem Modul zur Berechnung von Vegetationsverteilungen (*OIK*) entstanden, mit dem realistische Visualisierungen von Vegetationsstrukturen in Echtzeit generiert werden können. Die in dem Projekt erzielten Ergebnisse haben international Beachtung gefunden und zu einer Reihe von Publikationen geführt (u. a. Rekitke & Paar, 2007; Paar & Rekitke, 2005). Aus dem Forschungsprojekt ist die Lenné3D GmbH ausgegründet worden, die die Technologie zur Marktreife weiterentwickeln will und Dienstleistungen auf dem Feld der Landschaftsvisualisierung anbietet. Als Kooperationspartner des hier vorgestellten Vorhabens ist die Lenné3D GmbH für die Realisierung der visuellen Simulationen auf Basis der entwickelten digitalen Landschaftsmodelle verantwortlich.

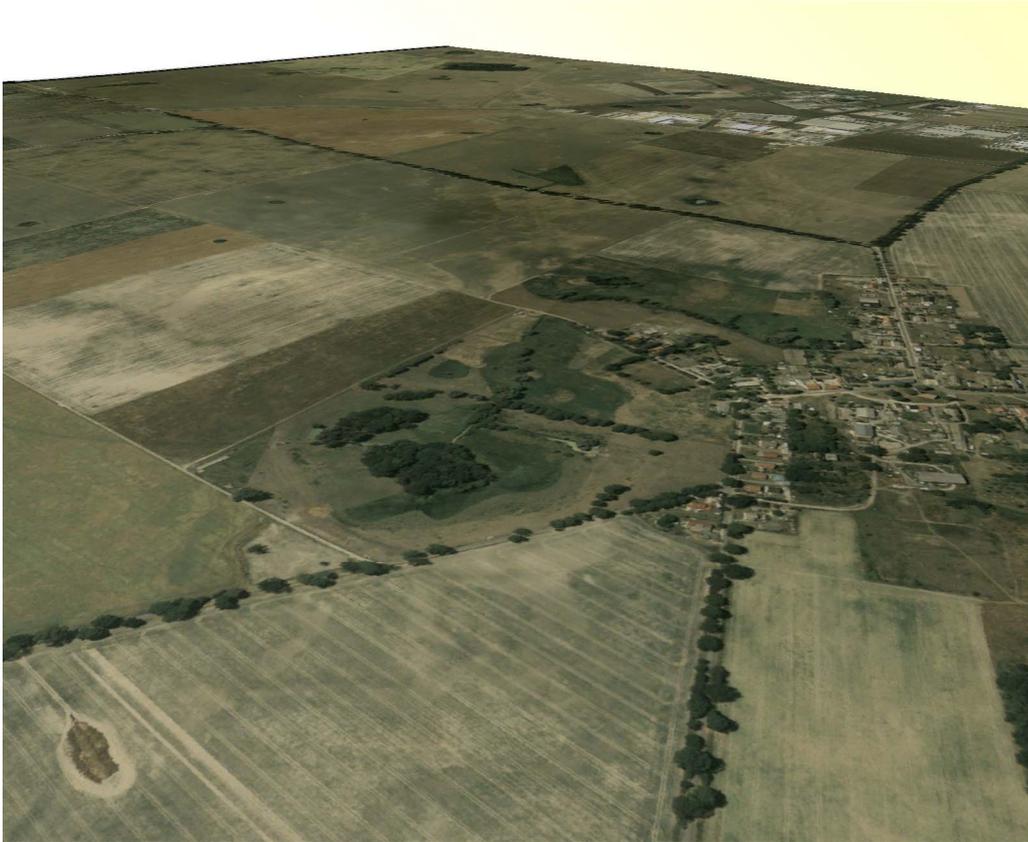


Abbildung 2: Kombination eines Geländemodells mit einem Orthophoto

Wie bei alle anderen am Markt erhältlichen Visualisierungssysteme werden für den *Lenné3D-Player* digitale Geländemodelle als Basisdaten benötigt. Aus diesen werden Darstellungen der Geländeoberfläche in einem dreidimensionalen kartesischen Koordinatenraum erzeugt. Durch die Verwendung von Luftbildern als Textur der Geländemodelle werden zusätzliche Details abgebildet. Wenn ein solches Modell aus einiger Distanz (Vogelperspektive) betrachtet wird, erhält man bereits eine gute Vorstellung von der Landschaft wie Abbildung 2 beispielhaft zeigt. Wenn aber die virtuelle Landschaft detaillierter modelliert werden soll, müssen zusätzlich 3D-Modelle zur Repräsentation von Pflanzen, Gebäuden, Infrastruktureinrichtungen und allen weiteren abzubildenden Objekten auf dem Gelände platziert werden. In Abbildung 3 wird dies anhand von einfachen Gebäudemodellen und Bäumen exemplarisch umgesetzt. Derartige Funktionalitäten sind heutzutage Standard in vielen 3D-GIS oder Visualisierungsanwendungen und stehen auf der Basis virtueller Globen und kommerzieller wie freier Software zur Verfügung. Die beiden beispielhaften Abbildungen 2 und 3 wurden beispielsweise im Vorfeld der eigentlichen Visualisierung mit dem Programm *LandXplorer Studio Professional* (3D Geo GmbH) erzeugt.



Abbildung 3: Beispielhafte Ergänzung des Modells in Abbildung 2 um 3-D Objekte

Die Visualisierung von Anbaukulturen und Szenarien eines Landnutzungswandels durch den zunehmenden Anbau von Energiepflanzen aus einer menschlichen Perspektive dagegen stellt viel höhere Anforderungen an die Modellierung und Visualisierung. Das ist zum Teil auf die bereits erwähnte geometrische Komplexität der benötigten 3D-Pflanzen zurückzuführen, vielmehr aber noch auf die schiere Anzahl benötigter 3D-Pflanzen und das Problem der Verteilung auf dem Gelände. Um dies zu illustrieren sei ein Acker mit 1 Hektar angenommen. Bei Bestellung dieser Fläche mit Getreide wird von Saatstärken von 200 bis 500 Körnern/m² ausgegangen. Daraus ergibt sich für die Gesamtfläche eine Zahl zwischen 2 bis 5 Millionen Individuen, die auf der Fläche verteilt werden müssen. Dies ist im Falle von Ackerkulturen relativ leicht zu modellieren, da hier konkrete Reihenabstände und Saadichten vorgegeben sind und von einer relativ homogenen Verteilung ausgegangen werden kann. Bei anderen Vegetationstypen gestaltet sich die Modellierung von Pflanzenverteilungen dagegen oftmals schwieriger, weil sie inhomogener sind und ein größeres Alters- und Artenspektrum umfassen. Methodisch gibt es verschiedene Ansätze um mit dieser Problematik umzugehen. Eine Lösung besteht darin, das Auftreten bestimmter Pflanzen von Gelände- oder Bodenparametern abhängig zu machen. So bietet etwa Visual Nature Studio (3DNature, LCC) die Option das Auftreten von Pflanzen über die Geländehöhe oder die Hangneigung zu steuern. Gleichzeitig können Geodaten genutzt werden, um die Flächennutzung bzw. Vegetationsformen zu differenzieren. Die im Lenné3D-Projekt entwickelte Lösung dagegen erfordert eine Unterteilung der Flächen in mehr oder weniger homogene Teilflächen (Polygone), denen so genannte *Relevees* zugeordnet werden. *Relevees* sind digitale Vegetationsaufnahmen, die in einem definierten XML-Schema gespeichert sind. Sie enthalten Angaben zu den Arten, Straten, zur Deckung, zu Ausbreitungsmustern und

Konfigurationsparameter für Verteilungsalgorithmen. Gleichzeitig enthält jedes *Relevee* Referenzen zu den 3D-Pflanzenmodellen, die für die Visualisierung verwendet werden sollen. Aus den Eingangsdaten (Polygonen und *Relevees*) werden Vegetationsverteilungen berechnet. Eine ausführlichere Darstellung dieser Methode erfolgt in Kapitel 3.4.

Unabhängig davon welche Methoden zur Anwendung kommen, um die Pflanzenmodelle auf dem Gelände zu verteilen, bleibt festzuhalten, dass zur Abbildung einer realistischen Vegetation schnell mehrere Millionen Pflanzenmodelle pro Hektar benötigt werden. Für jede Pflanze wird ein Koordinatentupel, ein Skalierungsfaktor, ein Rotationsfaktor und eine Referenz zum 3D-Modell gespeichert. Außerdem müssen die 3D-Modelle, die aus komplexen Geometrien und hochauflösenden Texturen bestehen, verarbeitet werden. So entstehen bei einem Visualisierungsprojekt schnell sehr große Datenmengen.

2.3 Anknüpfungspunkt zum DBU-Projekt: „Übertragbare Strategien zur naturverträglichen Biomassebereitstellung“

Die Idee Szenarien eines zunehmenden Biomasseanbaus zu visualisieren entstand aus dem DBU-Projekt „Übertragbare Strategien zur naturverträglichen Biomassebereitstellung auf Landkreisebene“ (im Folgenden: Strategienprojekt genannt), das gemeinsam von der TU München und der TU Berlin bearbeitet wurde (DBU AZ 23633). Das Ziel des Strategienprojektes war die Entwicklung einer Methodik mit der Handlungsempfehlungen für einen naturverträglichen Biomasseanbau auf regionaler Ebene entwickelt werden können. Dazu wurden die möglichen Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf eine gesamte Region und deren naturräumliche Ausstattung erfasst und dargestellt. Als ein zentrales Ergebnis des Projektes entstanden pflanzenspezifische Empfehlungskarten in denen Flächen identifiziert wurden, die sich für den Anbau spezifischer Energiepflanzenkulturen eignen, die sich eingeschränkt eignen oder die ungeeignet sind. Diese Ergebniskarten wurden durch Verschneidung von Daten zur Anbaueignung und Daten zur Empfindlichkeit der Standorte gegenüber schadhafte Veränderung wie beispielsweise Erosion oder Verdichtung erzeugt. Gleichzeitig wurden im Projekt Szenarien zur zukünftigen Entwicklung des Biomasseanbaus entwickelt. Für die Szenarien wurden die prognostizierte Substratnachfrage, die sich aus geplanten und antizipierten Anlagen zur Energiegewinnung ergibt, auf die Fläche umgerechnet. Dadurch wurde es möglich abzuschätzen, ob eine potentiell höhere Nachfrage nach Biomassesubstraten in der Zukunft zu Konflikten mit den Zielen des Natur- und Ressourcenschutzes führen kann. Zur Szenarientwicklung fanden unter anderem Workshops mit lokalen Akteuren statt, um das lokale Wissen und die Absichten der Betroffenen zu integrieren. Obwohl ursprünglich geplant war, die Visualisierung als Illustrationen innerhalb der Workshops einzusetzen, konnte dies nicht realisiert werden. Die Gründe hierfür lagen an dem engen Zeitplan des Projektes, der dazu führte, dass die Eingangsdaten für die Szenarientwicklung und ausformulierte Szenarien erst zu den Veranstaltungen fertig gestellt wurden, so dass keine Zeit mehr blieb, um diese visuell umzusetzen. Die dennoch erfolgte visuelle Umsetzung der Szenarien baut auf den Ergebnissen und Szenariinformationen des Strategienprojektes auf und wäre ohne die durch das Projekt verfügbaren Daten und das Fachwissen nicht realisierbar gewesen. Tabelle 1 gibt eine Übersicht der übernommenen Daten und ihrer Verwendung innerhalb des Visualisierungsprojektes.

Tabelle 1: Verwendete Daten aus dem Strategienprojekt zur Visualisierung

Daten	Art	Verwendung
Biotop- und Nutzungstypenkartierung	Shapefiles	Übernahme der semantischen Informationen zu den Biotoptypen
Anbaueignungen	Geodatenbank	Grundlage für die Verteilung der Anbaukulturen
Empfindlichkeitskarten	Geodatenbank	Grundlage für die Visualisierung von Gefährdungen
Anbauempfehlungen	Geodatenbank	Grundlage für die Verteilung der Anbaukulturen
Bodendaten	Geodatenbank	Grundlage für die Verteilung von Anbaukulturen und Abschätzung der Erosionsempfindlichkeit
Szenarieninformationen	Tabellen	Grundlage für die Festlegung der Flächenanteile
Anbauparameter	Literatur	Grundlage für die Vegetationsmodellierung

2.4 Charakterisierung der Testgebiete

Die Testgebiete für das vorliegende Vorhaben wurden aus den beiden Untersuchungsregionen des Strategienprojektes, der Region Ostprignitz-Ruppin in Brandenburg und dem Chiemgau in Bayern, ausgewählt. Innerhalb des Strategienprojektes wurden, wie bereits beschrieben, Landschaftsempfindlichkeiten, Standorteigenschaften und Standortempfehlungen auf Landkreisebene bearbeitet und Szenarien formuliert. Um eine übertragbare Methode zu entwickeln, wurden gezielt zwei sehr unterschiedliche Landschaftsräume als Testgebiete definiert. Für eine Visualisierung der erarbeiteten Szenarien müssen diese auf eine lokale Ebene übertragen werden. Deshalb wurden aus den beiden Untersuchungsgebieten des Strategienprojektes wiederum Teilausschnitte gewählt, die einerseits typisch für die jeweilige Landschaft sind und die andererseits eine gewisse Variationsbreite hinsichtlich der potentiellen Kulturen und der Landschaftsempfindlichkeiten aufweisen. Die Auswahl erfolgte durch visuelle Auswertung der Ergebnisse des Strategienprojektes.

Eine ursprünglich geplante Visualisierung eines Gebietes aus Niedersachsen, die in Kooperation mit dem Sunreg II Projekt der Universität Hannover geplant war, konnte wegen fehlender Grundlagendaten nicht durchgeführt werden.

2.4.1 Ostprignitz-Ruppin

Als erste Testregion wurde ein Ausschnitt aus dem Landkreis Ostprignitz-Ruppin ausgewählt, da dieser innerhalb des Strategienprojektes zuerst bearbeitet wurde und somit die Daten zur Verfügung standen. Damit innerhalb der zu entwickelnden Visualisierungen ein Landschaftseindruck entsteht, wurde festgelegt, dass ein Gebiet von 4 km² bearbeitet werden soll. Abbildung 4 zeigt ein Orthofoto des ausgewählten Testgebietes. Es handelt sich dabei um ein Gebiet südlich von Neuruppin, das eine für die Region typische, offene Agrarlandschaft zeigt.

Die Ackerschläge sind zum Teil sehr groß (1,3 ha bis zu 38 ha) und bis auf zwei straßenbegleitende Alleen und die für die Region typischen Sölle ist die Landschaft strukturarm. Im östlichen Teil des Gebietes findet sich eine Senke in der Landschaft, die durch Feldgehölze und Baumgruppen geprägt ist. In diesem Bereich finden sich vorwiegend

Grünländer und ein Graben, was auf eine Vernässung hindeutet. Innerhalb der Ackerflächen sind Strukturen zu erkennen, die Erosionsproblem durch Wasser vermuten lassen.

Für das ausgewählte Testgebiet wurden neben dem abgebildeten Orthofoto ein digitales Geländemodell und Daten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) erworben, um die verfügbare Datenbasis zu ergänzen. Damit die späteren visuellen Simulationen nicht direkt am Rand des Testgebietes aufhören wurde der Ausschnitt für das Geländemodell und das Luftbild größer gewählt, so dass die umgebende Landschaft durch ein texturiertes Geländemodell (vgl. dazu Kapitel 2.2) dargestellt werden kann.



Abbildung 4: Orthofoto der Untersuchungsregion in Ostprignitz-Ruppin, Maßstab 1:15.000

2.4.2 Chiemgau

Das zweite bearbeitete Gebiet liegt in der Gemeinde Feldkirchen-Westerham im Chiemgau westlich von Rosenheim im Mangfalltal. Die zu visualisierende Region grenzt im Westen und Süden an Ausläufer des Mangfallgebirges. Gegenüber dem Gebiet in Brandenburg ist eine sehr viel höhere Reliefenergie gegeben. Wie Abbildung 5 zeigt, wird auf den Hängen Forstwirtschaft betrieben und im Tal findet Grünlandwirtschaft und Ackerbau statt. Während

im westlichen Teil auf den an die forstlich genutzten Flächen anschließenden Feldern Grünlandwirtschaft vorherrscht, wird das Tal durch vorwiegend ackerbauliche Nutzung geprägt. Im Bereich der Grünländer finden sich mehr Feldhecken und Bäume, die das Gebiet strukturieren, als im ackerbaulich genutzten Teil. Im Zentrum des Gebietes kann man zwei landwirtschaftliche Betriebsstandorte erkennen. Die landwirtschaftlich genutzten Flächen sind deutlich kleiner als in Ostprignitz-Ruppin (ab ca. 0,2 ha bis 5 ha).

Auch für diese Testregion wurde neben dem Orthofoto ein Geländemodell und die ATKIS-Daten bezogen, die eine etwas größere Region als das eigentliche Testgebiet umfassen, damit das Umfeld durch ein texturiertes Geländemodell abgebildet werden kann.



Abbildung 5: Orthofoto der Untersuchungsregion im Chiemgau, Maßstab 1: 7.500

3 Methodik und Diskussion

Zunächst werden mit Methoden der Geoinformationsverarbeitung die verfügbaren Geodatenätze ausgewertet und kombiniert, um digitale Landschaftsmodelle in einem großen Maßstab für die Visualisierungsgebiete aufzubauen. Dazu werden in sich homogene Vegetationseinheiten geometrisch erfasst und semantisch beschrieben. In diese Basis-Landschaftsmodelle werden die in den Szenarien entwickelten Landnutzungen integriert, die

die Grundlage für die Berechnung von Vegetationsverteilungen im Sinne der Szenarien sind. Die anschließende Vegetationsmodellierung basiert auf einem heuristisch-algorithmischen Verfahren und erfordert u. a. Angaben zu den vorkommenden Pflanzenarten, der Deckung oder Saaddichten. Aus den berechneten Vegetationsverteilungen und einer Bibliothek von 3D-Pflanzenmodellen werden letztlich Echtzeitcomputergrafiken berechnet, die eine interaktive visuelle Exploration der Landnutzungsszenarien erlauben. Abbildung 6 stellt den Datenfluss und die Arbeitsschritte dar und verweist auf erläuternde Unterkapitel 3.1 bis 3.4, die die Bearbeitung am Beispiel des Landschaftsmodells von Ostprignitz-Ruppin genauer beschreiben.

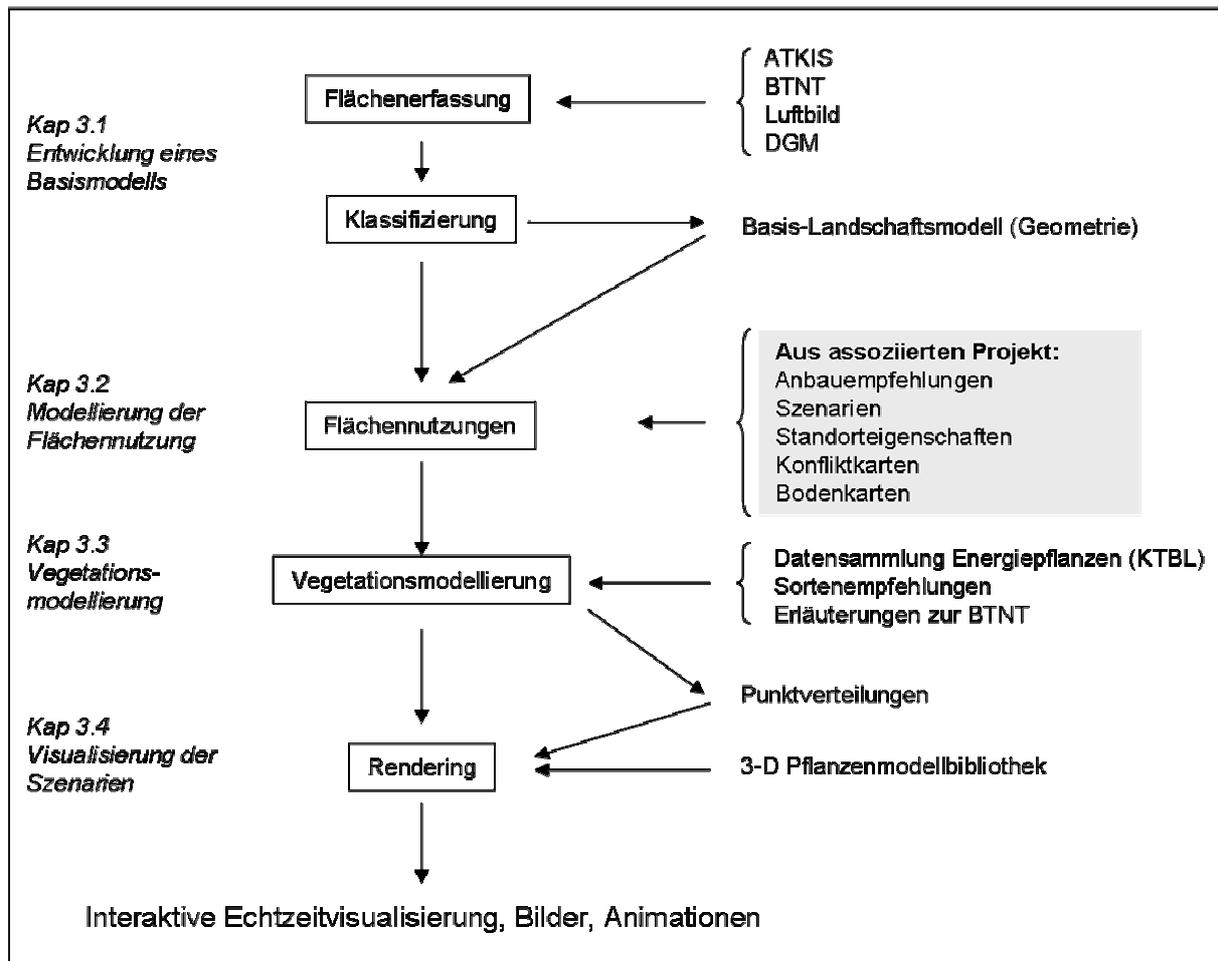


Abbildung 6: Flowchart zur Erläuterung des methodischen Vorgehens

In den anschließendem Kapitel 3.5 werden Modifikationen der Methodik vorgestellt, die auf das Landschaftsmodell der Chiemgauer Testregion angewendet wurden.

Kapitel 3.6 dokumentiert die Methodik einer integrierten Informationsvisualisierung mit Hilfe von Farboverlays und „non photorealistic rendering“-Techniken (NPR) und Kapitel 3.7 beschreibt die Erfahrungen, die bei Präsentationen beispielhafter Visualisierungen gemacht wurden.

Die grundlegenden Arbeitsschritte zur Erzeugung der Visualisierungen sind für die beiden exemplarischen Landschaften dieselben, weshalb im Folgenden die Methodik am Beispiel von Ostprignitz-Ruppin erläutert wird. Allerdings stellte sich die ursprünglich avisierte Flächengröße als zu ambitioniert heraus, weshalb die Gebietsgrößen im Laufe des Projektes

reduziert werden mussten. Dies führte auch zu einer Modifikation der Methodik für die Region Chiemgau. Die identifizierten Restriktionen und die Methodenmodifikationen für die Region Chiemgau werden im Kapitel 3.5 ausführlich dargestellt und zu diskutieren sein.

3.1 Modellierung von digitalen Landschaftsmodellen

Grundlage GIS-gestützter Landschaftsvisualisierungen bilden digitale Landschaftsmodelle mit denen die Flächennutzungen bzw. die Anbaukulturen innerhalb der zu visualisierenden Landschaftsausschnitte beschrieben werden. Obwohl in Deutschland mit dem Amtlichen Topographischen-Kartographischen Informationssystem (ATKIS) und den länderspezifischen Biotop- und Nutzungstypenkarten (BTNT) bereits digitale Landschaftsdaten vorliegen, bedarf es zusätzlicher Arbeitsschritte, um eine für die Visualisierung geeignete Datengrundlage zu entwickeln. Dies liegt daran, dass die verfügbaren Basisdaten geometrisch und semantisch generalisiert und damit nicht direkt für visuelle Simulationen aus menschlicher Perspektive geeignet sind. Zudem sind



Abbildung 7: Überlagerung des Orthofotos der brandenburgischen Testregion mit der BTNT

insbesondere die BTNT Kartierungen oftmals nicht aktuell, beinhalten keine Schlaggrenzen und sind geometrisch ungenau (vgl. Abbildung 7). Deshalb wurde die Landnutzung innerhalb der gewählten Landschaftsausschnitte anhand der Orthofotos aus dem Jahr 2006 zum größten Teil neu erfasst (digitalisiert), bzw. Flächen (Polygone), die aus dem ATKIS und der BTNT übernommen wurden, geometrisch nachbearbeitet. In einem weiteren Schritt wurden die erfassten Polygone semantisch beschrieben. Dazu wurde eine zweigliedrige Klassenhierarchie definiert. In der ersten Stufe wurden landwirtschaftliche Nutzflächen einerseits und alle anderen Flächen andererseits differenziert. Hintergrund dieser Unterscheidung ist, dass auf den Landwirtschaftsflächen später die szenarienspezifischen Anbaukulturen verteilt werden müssen, es handelt sich also um Flächen, deren Nutzung eine Variable im Modell darstellt. Die Restflächen wurden dagegen als statische Elemente innerhalb der Szenarien definiert. Für die letztgenannten Elemente, die im folgenden **Strukturelemente** genannt werden, erfolgte auf der zweiten Hierarchiestufe eine Objektdefinition. Diese Objektdefinition ist die Grundlage für die spätere Visualisierung von Landschaftsstrukturen wie Sölle, Wälder, Wege und Straßen, Raine und Hecken. Basis der entwickelten Objektklassen sind die vorhandenen Klassen der Biotopkartierungen, die erweitert wurden, so dass Unterklassen mit spezifischen, in sich homogenen Vegetationsstrukturen entstehen. So kann eine annähernd realistische Modellierung der Vegetation eines Solls eine Unterteilung in Verlandungszonen erfordern, um eine möglichst gute Approximation der Realität zu erreichen. Das bedeutet, dass allgemeine Klassen wie beispielsweise „02120 – perennierende Kleingewässer, SKU“ aufgeteilt werden müssen in Subklassen (z. B. „SKU“ für den wasserführenden Teil und „SPB_D20“ für den Randbereich in dem ein Gehözaufwuchs mit 20-prozentiger Deckung vorliegt). Das so entstandene Landschaftsmodell besteht aus einem flächendeckenden Polygonlayer des Testgebietes bei dem jedes Polygon durch seine Attribute näher beschrieben wird. Eine kartographische Darstellung beider Landschaftsmodelle liegt dem Bericht im Kartenteil des Anhangs (Karte 1

und Karte 6) bei. Aufbauend auf diesem Basis-Landschaftsmodell wurden die im Strategienprojekt erarbeiteten Landnutzungsszenarien integriert.

3.2 Integration der entwickelten Landnutzungsszenarien in das Basis-Landschaftsmodell

Das Ziel, die Visualisierung von Szenarien vom Anbau nachwachsender Rohstoffe, erfordert die Erweiterung des digitalen Basis-Landschaftsmodells um Szenarienparameter. D. h. für die im Strategienprojekt definierten Szenarien (Referenzszenario 2008, A-Szenario, B-Szenario) müssen die ermittelten Flächenanteile der einzelnen Anbaukulturen den landwirtschaftlichen Nutzflächen zugewiesen werden. Neben den Szenariendaten gehen die erarbeiteten Standorteigenschaften und Anbauempfehlungen in diesen Modellierungsschritt ein.

Das Referenzszenario stützt sich auf die Zahl der bereits errichteten und der beantragten Anlagen zur Energiegewinnung aus Biomasse in den Jahren 2007/2008. Aus den Angaben zum Substratbedarf der Anlagen konnte der Flächenbedarf abgeleitet werden. Es ist mit einer verstärkten Nachfrage, die durch neue lokale Biogasanlagen, ein neues Biodieselwerk und eine großindustrielle Bioethanolanlage in Schwedt/Oder erzeugt wird, zu rechnen. Die Anbaufläche für Energiepflanzen wird in OPR etwa 34 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche einnehmen. Das A-Szenario geht von einer Weiterentwicklung der aktuellen Tendenzen über die nächsten zehn bis 20 Jahre aus. Es wird angenommen, dass mittelfristig das Interesse an Biogasanlagen weiter zunimmt und dass diese wirtschaftlich betrieben werden können. Die Anlagenzahl würde sich dann nochmals verdoppeln. Demgegenüber wird angenommen, dass die Biodieselproduktion nicht signifikant ansteigen wird. Grund für die Annahme ist, dass bereits heute die Anbaukapazitäten für Raps als ausgereizt gelten, dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Raps nicht selbstverträglich ist. Bei der Bioethanolproduktion wird durch die Verpflichtung zur Beimischung von Ethanol zu Kraftstoffen von einer sich verstärkenden Nachfrage ausgegangen. Weiterhin erscheint es wahrscheinlich, dass einzelne Landwirte auf Grund der steigenden Nachfrage für Hackschnitzel und Pellets und dem damit verbundenen Preisanstieg, Kurzumtriebsplantagen anlegen werden, um die Nachfrage zu befriedigen. Für den Landkreis OPR wird angenommen, dass im A-Szenario etwa 59 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche für den Anbau von Energiepflanzen genutzt wird. Das B-Szenario folgt im Gegensatz zum A-Szenario anderen Annahmen und führt die Entwicklungstrends auf den Schwerpunkt des Ausbaus und der Nachfrage durch Großanlagen zurück. Es wird davon ausgegangen, dass Großanlagen mit überregionalen Einzugsbereich große Mengen von Ethanolroggen nachfragen. Zudem wird von einem Ausbau von Kurzumtriebsplantagen zur Herstellung biogener Festbrennstoffe ausgegangen. Eine signifikante Erhöhung der Zahl lokaler Biogasanlagen gegenüber dem Referenzszenario wird nicht erwartet. Insgesamt wird vor allem ein verstärkter Anbau von Roggen für die Bioethanolproduktion angenommen, der zu einer Ausweitung des Flächenbedarfs auf ca. 64 Prozent führen wird.

Der veranschlagte Flächenbedarf im Landkreis (z. B. Referenzszenario 2008 „Mais CCM+Silo“ auf 20.000 Hektar, vgl. Tabelle 2) wurde disaggregiert und auf konkrete Schläge verteilt. Dies erfolgte in drei Schritten. Als erstes erfolgte eine Umrechnung der absoluten Flächenwerte in Flächenanteile, was am Beispiel von Mais für das Referenzszenario einen Flächenanteil von knapp 22 Prozent bedeutet. In einem zweiten Schritt wurden die für die

spezifizierten Kulturen am Besten geeigneten Ackerschläge identifiziert und im letzten Schritt wurde aus den geeigneten Schlägen eine Auswahl getroffen, so dass die geforderten Flächenanteile möglichst genau erreicht wurden. Die Standorteignung wurde dabei direkt aus dem Strategienprojekt übernommen. Sie ist mit Werten von 1 bis 5 bewertet, wobei 1 für „sehr gut geeignet“ und 5 für „nicht geeignet“ steht. Da in der Regel der Flächenanteil der Äcker, die am besten für eine Kultur geeignet sind, nicht den szenariospezifischen Flächenanteilen entspricht, kam es dabei teilweise zu Flächenkonkurrenzen. Zudem ist der Flächenanteil „sehr gut geeigneter“ Standorte für einzelne Kulturen aufgrund der leichten, sandigen Böden im Gebiet a priori eingeschränkt. Vereinzelt mussten daher Kulturen auch auf „gut geeigneten“ und „weniger geeigneten“ Flächen verteilt werden. Ein Vergleich der Tabelle 2 und Tabelle 3, die die definierten Flächenanteile und die zugewiesene Flächennutzungen enthalten, zeigt, dass die geforderten Flächenanteile in dem gewählten Landschaftsausschnitt insgesamt recht gut erreicht wurden. Einige wenige Kulturen wurden aber auch gar nicht in die Szenarien übernommen, weil entsprechende Pflanzenmodelle nicht verfügbar waren oder die Böden dem Anbau entgegenstanden.

Tabelle 2: Berechnung der Flächenanteile in den Szenarien für OPR

Kulturart	Flächenbedarf im Landkreis [Hektar]			Flächenanteil an der Gesamtackerfläche [Prozent]		
	Referenz- szenario	A-Szenario	B-Szenario	Referenz- szenario	A-Szenario	B-Szenario
Mais (CCM+Silo)	20000	25000	45000	22,0	27,2	48,9
Raps	20000	15000	22000	22,0	16,3	23,9
Roggen	20000	20000	20000	22,0	21,7	21,7
Brachflächen	10000	5000	0	11,0	5,4	0,0
Weizen	5000	6000	2000	5,5	6,5	2,2
Gerste	4000	5000	0	4,4	5,4	0,0
Triticale	4000	5000	0	4,4	5,4	0,0
Grasanbau auf Acker	3000	4000	2000	3,3	4,3	2,2
Futterbsen	1000	1000	0	1,1	1,1	0,0
Hafer	1000	1000	0	1,1	1,1	0,0
Kartoffeln	1000	1000	0	1,1	1,1	0,0
Lupinen	1000	1000	0	1,1	1,1	0,0
Öllein	500	1000	0	0,5	1,1	0,0
Sonnenblumen	500	1000	0	0,5	1,1	0,0
KUP	0	1000	1000	0,0	1,1	1,1
Zuckerrüben	0	0	0	0,0	0,0	0,0
Summe	91000	92000	92000	100,00	100,0	100,0

Neben den Szenarienvorgaben und den Anbauempfehlungen flossen auch Fruchtfolgeüberlegungen in die Landnutzungsszenarien ein, so dass ein Ackerschlag in der Regel in jedem Szenario eine individuelle und plausible Nutzung erhält. Da aber keine

jährlichen Zeitschnitte modelliert werden, wurden Fruchtfolgen nicht zwingend einbezogen. Eine kartographische Darstellung der landwirtschaftlichen Flächennutzung in den Szenarien ist den Karten 2 bis 5, 7 und 8 im Anhang zu entnehmen.

Zu beachten ist, dass die in Tabelle 2 und 3 erarbeiteten Flächenanteile der Kulturarten in Ostprignitz-Ruppin nicht zwischen Kulturen für die Energiegewinnung und Kulturen für die Futtermittel- und Nahrungsmittelproduktion differenzieren. Dies ist auf die Übernahme von Daten des Strategienprojektes zurückzuführen, die als Grundlage für lokale Workshops verwendet wurden. Erst später wurde die Methode um eine Berechnung der konkreten Flächenanteile der Energiepflanzen erweitert. Für die Erzeugung von visuellen Simulationen spielt dies aber weniger eine Rolle, weil die Kulturen, gleich ob sie der Energieproduktion dienen oder als Grundstoff der Lebensmittelindustrie, gleich aussehen.

Zusätzlich kam es im Laufe des Strategienprojektes noch zu Erweiterungen und Abänderungen der Szenarien, die im Kontext der Visualisierungen nicht mehr angepasst wurden. Dies liegt aber in der Begrenzung der Projektlaufzeit begründet und ist nicht auf methodische Probleme zurückzuführen.

Tabelle 3: Übersicht der zugewiesenen Flächennutzung für das Landschaftsmodell von OPR

Kulturart	Fläche [Hektar]			Flächenanteil an der Ackerfläche [Prozent]		
	Referenz- szenario	A-Szenario	B-Szenario	Referenz- szenario	A-Szenario	B-Szenario
Mais (CCM+Silo)	82,1	104,7	179,9	22,1	28,2	48,4
Raps	77,6	60,7	87,0	20,9	16,3	23,4
Roggen	86,8	84,4	88,0	23,4	22,7	23,7
Brachflächen	42,1	17,6	0,0	11,3	4,7	0,0
Weizen	21,2	23,5	7,7	5,7	6,3	2,1
Gerste	20,7	20,5	0,0	5,6	5,5	0,0
Triticale	17,0	20,7	0,0	4,6	5,6	0,0
Grasanbau auf Acker	17,6	15,1	5,2	4,7	4,0	1,4
Futterbsen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hafer	5,2	5,1	0,0	1,4	1,4	0,0
Kartoffeln	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lupinen	1,3	8,6	0,0	0,4	2,3	0,0
Öllein	0,0	5,4	0,0	0,0	1,5	0,0
Sonnenblumen	0,0	1,6	0,0	0,0	0,4	0,0
KUP	0,0	4,0	4,0	0,0	1,1	1,1
Zuckerrüben	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	371,8	371,8	371,8	100,00	100,0	100,0

3.3 Vegetationsmodellierung

Die Modellierung der Vegetation für die Visualisierungen basiert auf einem heuristischen Ansatz, der von Röhricht (2005) beschrieben wurde. Die Idee ist, Vegetationsstrukturen durch digital gespeicherte Vegetationsaufnahmen, im folgenden *Relevee* genannt, zu beschreiben, die von einer Software (OIK) gelesen und interpretiert werden können. Die in OIK implementierten Verteilungsalgorithmen berechnen Punktverteilungen, die auf 3D-Pflanzenmodelle verweisen. Dazu werden die *Relevees* über einen Identifikator mit den Objekten (Polygonen) des Landschaftsmodells verknüpft, so dass das Programm weiß, welche Vegetationsaufnahme welcher Fläche zugeordnet ist. Abbildung 8 verdeutlicht dies anhand einer Fläche, die ein Gerstenacker darstellt. In der zugehörigen Attributtabelle findet sich der Eintrag „Gerste ID12“. Dieser verweist auf ein *Relevee*, in dem Parameter für die Vegetationsverteilung abgelegt sind.

In den digitalen Vegetationsaufnahmen werden die vorkommenden Arten, ihre Soziabilität, die Deckung und das Stratum sowie Eingabeparameter für die Verteilungsalgorithmen angegeben. Zu den Eingabeparametern gehören die Dateinamen der zu verwendenden 3-D Pflanzenmodelle und die „bounding box“ der Modelle, d. h. ihre Grundfläche. Weiterhin gibt es Algorithmen für die Erzeugung von Saatverteilungen, für die spezielle Eingabeparameter nötig sind, wie etwa die Richtung der Aussaat, der Reihenabstand oder auch die Saatmenge pro Hektar. Die in den *Relevees* angegebenen Parameter werden algorithmisch ausgewertet und daraus die Verteilungen berechnet.

Dies Verfahren wurde in dem DBU Projekt „Lenné3D“ entwickelt und führt bei entsprechend sorgfältiger Modellierung zu realistischen Darstellungen von Vegetationsbeständen. Es handelt sich aber um eine reine Verteilungsmodellierung, die reale Vegetationsstrukturen approximativ darstellen kann, der aber keine Wachstumsmodelle, Konkurrenzmodelle oder Physik zugrunde liegen. Die Ergebnisse sind daher wesentlich von der Qualität der verfügbaren Geodaten, Vegetationsaufnahmen und vom Fachwissen des Modellierers abhängig.

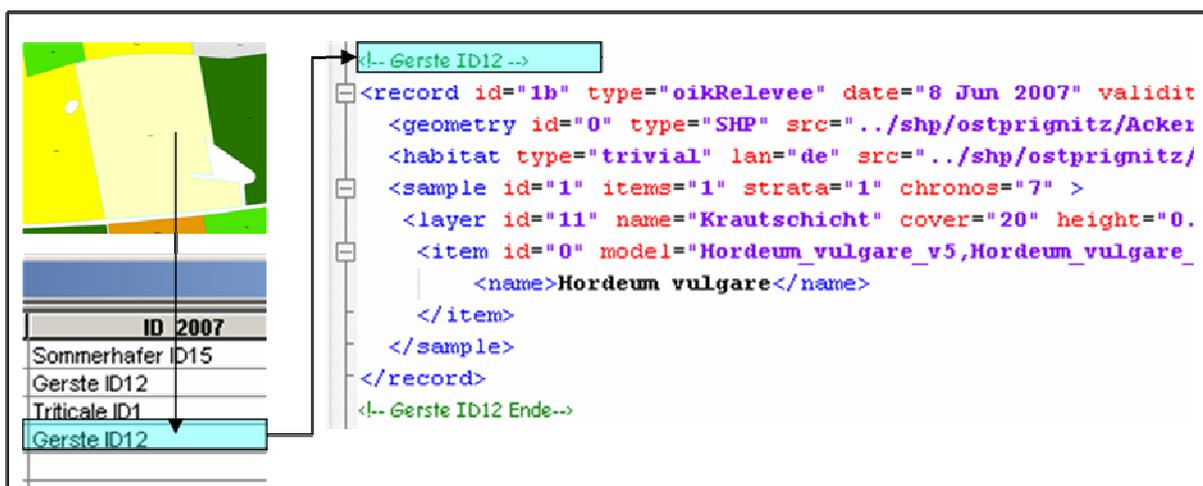


Abbildung 8: Referenzierung der Relevees durch Attribute in den Sachdaten der Geobjekte

Da es sich um einen Softwareprototypen handelt, traten bei diesen Arbeitsschritt wiederholt Probleme auf. Unter anderem unterstützten die Algorithmen nicht alle Geometrietypen der Eingangsdaten. So werden Multipartpolygone und Donut-Polygone (Polygone, die ein Loch

haben) nicht unterstützt, weshalb die Geometrien des Landschaftsmodells mehrfach überarbeitet werden mussten. Ein weiteres Problem betraf die Größe der Flächen bzw. die Anzahl der darauf zu verteilenden Pflanzen. So gab es bei sehr großen Flächen das Problem, dass das Programm abstürzte, weil der Arbeitsspeicher nicht ausreichte. In diesem Fall mussten die Flächen unterteilt werden. Ein letztes Problem betrifft die Erstellung der Relevees. Diese müssen mit einem Texteditor direkt im XML-Syntax bearbeitet werden. Dadurch ist der Zeitaufwand hoch und die Methode ist fehleranfällig. Nach mehreren Iterationen gelang es, Verteilungen für das Landschaftsmodell von Ostprignitz-Ruppin zu erzeugen.

3.4 Visualisierung von Szenarien

Die Visualisierung schließlich findet mit dem Lenné3D-Player statt, der aus den vorliegenden Eingangsdaten (Geländemodell, 3D-Pflanzenmodelle, Punktpositionen und Geotexturen) eine 3D-Darstellung berechnet. Um die enorme Herausforderung zu verstehen, ist es wichtig zu wissen, dass ein 3D-Pflanzenmodell, das botanischen Ansprüchen genügt, eine sehr komplexe Geometrie aufweist, die bis zu hunderttausend einzelner Dreiecke aufweisen kann. Gleichzeitig enthält eine virtuelle Landschaft potentiell pro Hektar viele Zehntausend dieser Pflanzenmodelle, so dass für eine Visualisierung Milliarden von Dreiecken und große Texturmengen verarbeitet werden müssen. Dies ist ein rechenintensiver Prozess, der bis vor wenigen Jahren Hochleistungscomputer und viel Zeit brauchte. Die im Projekt verwendete prototypische Software Lenné3D-Player ist extra zum Zwecke der Echtzeitvisualisierung von Vegetation entwickelt worden und verfügt über integrierte Level-of-Detail Algorithmen, die eine Visualisierung solcher Datenmengen nach einer Datenvorprozessierung annähernd in Echtzeit erlaubt. Dadurch können die entwickelten Szenarien aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet und interaktiv angesteuert werden.

Es musste jedoch festgestellt werden, dass das erarbeitete Landschaftsmodell aus der Region Ostprignitz-Ruppin nicht photorealistisch in Echtzeit dargestellt werden konnte. Eine Verdichtung der Vegetationsdecke wiederum scheiterte daran, dass der Arbeitsspeicher bei aktuellen 32-Bit Computersystemen begrenzt ist und die Vegetationsverteilungen nicht berechnet werden konnten. Deshalb musste das Landschaftsmodell in der Flächen reduziert werden. Dies geschah in zwei Schritten. Zunächst wurde die Kantenlänge des Ausschnittes auf einen Kilometer reduziert und dann noch mal auf 500 Meter. Dies bedeutet in der Konsequenz, dass das tatsächlich visualisierte Testgebiet um den Faktor 16 kleiner ist, als geplant. Es umfasst eine Fläche von 25 Hektar.

3.5 Anpassung der Methodik für das Gebiet im Chiemgau

Wegen der Erfahrungen aus der Modellierung und Visualisierung für Ostprignitz-Ruppin, nach der eine Visualisierung eines 25 Hektar großen Ausschnittes einer Agrarlandschaft an die Leistungsgrenze des Lenné3D-Players grenzt, wurde für das Gebiet im Chiemgau die Gebietsgröße von Anfang an reduziert. Gleichzeitig wurde auf eine explizite Umsetzung der vorgegebenen Szenarien im Kontrast zu dem Vorgehen im ersten Gebiet verzichtet. Es wurden stattdessen nur zwei Szenarien modelliert, die sich am Referenzszenario und am B-Szenario orientieren, wobei die Flächenvorgaben nicht strikt eingehalten wurden. Der Grund hierfür liegt darin, dass sich auf einem so kleinen Landschaftsausschnitt die prozentualen Flächenanteile der einzelnen Kulturen nicht abbilden lassen. Vielmehr wurde im zweiten

Szenario eine ausgewählte Ackerfläche mit verschiedenen Anbaukulturen bestellt. Durch eine Option die 3D-Pflanzen an Darstellungslayer zu binden, wird es möglich in der Visualisierung interaktiv zwischen verschiedenen Anbaukulturen umzuschalten. In der Folge lässt sich die Wirkung unterschiedlicher Kulturen auf das Landschaftsbild an einem Standort simulieren, wodurch ein direkter Vergleich möglich wird. Die zweite Variation betrifft eine Fläche, die bisher als Grünland genutzt wird, auf der aber Maisanbau möglich wäre. Für diese Fläche wurde deshalb ebenfalls ein zusätzlicher Layer definiert, um zu zeigen, dass auch eine Ausdehnung der Ackerflächen zu Lasten von Grünländern erfolgen könnte. Obwohl nach Aussage der Akteure vor Ort nicht mit einem Grünlandumbruch zu rechnen ist, ist diese Option nicht auszuschließen. Als dritte Variation wurde zu Ende der Projektlaufzeit noch Miscanthus in den Kulturartenvergleich einbezogen. Diese Option bot sich dadurch, dass die Lenné3D GmbH im Rahmen einer Kooperation mit der University of East Anglia ein Projekt bearbeitete, in dem es um die Visualisierung eines Miscanthusfeldes geht.

Neben diesen Modifikationen, die die Aufbereitung der Szenariendaten betreffen, wurden zusätzlich zwei weitere Aspekte bewusst bei der Erarbeitung des Chiemgauer Landschaftsmodells einbezogen. Zum einen wurde der Visualisierungsausschnitt so gewählt, dass am Rand des Gebietes ein Forst liegt. So sollte zum einen erprobt werden, wie forstlich genutzte Flächen visualisiert werden können und zum anderen bietet ein Waldrand eine natürliche Sichtbarkeitsgrenze, wodurch gewissermaßen eine Kulisse oder Bühne entsteht. So kann ein regionaltypisches Landschaftsmodell erstellt werden, das durch Äcker und Wiesen im Tal und Berg- und Schluchtwälder an den Hängen geprägt ist.

Abgesehen von diesen Änderungen ist die Vorgehensweise zur Erstellung der Visualisierungen die gleiche. Zuerst erfolgte die geometrisch semantische Modellierung eines Basis-Landschaftsmodells, dann wurden die Flächennutzungen festgelegt und Vegetationstypen definiert. Die anschließende Vegetationsmodellierung wurde dadurch erleichtert, dass für die in Frage kommenden Ackerkulturen auf die bereits erarbeiteten *Relevees* zurückgegriffen werden konnte, so dass nur die Strukturelemente neu modelliert werden mussten. Die Erstellung und Visualisierung des Chiemgauer Modells konnte im Ergebnis deutlich schneller umgesetzt werden.

3.6 Informationsvisualisierung

Unter Informationsvisualisierung wird die integrierte Visualisierung von Umweltinformationen oder Fachinformationen verstanden, die die Kognition bestimmter Zusammenhänge oder Fakten unterstützt. Der Lenné3D-Player unterstützt im Wesentlichen zwei Methoden, um Informationen in die Visualisierungen zu integrieren. Zum einen können einzelne Layer oder Visualisierungselemente eingefärbt werden, zum anderen können Visualisierungselemente mit Methoden des nicht fotorealistischen Renderings verfremdet, bzw. abstrahiert werden. Dazu sind im Lenné3D-Player Algorithmen implementiert, die aus den fotorealistisch modellierten Pflanzenmodellen durch Kantenextraktion und Flächenfüllungen abstrakte Darstellungen erzeugen. Auf diese Art und Weise können Bilder erzeugt werden, die an Bleistiftskizzen oder Kreidezeichnungen erinnern. Gleichzeitig können Rasterdaten geladen werden, deren Farbwerte zur Einfärbung der abstrahierten Vegetationsdarstellungen genutzt werden können. Diese Technologie sollte anhand einer Bewertung der Erosionsgefährdung durch Wasser erprobt werden. Mittels einer einfachen Bewertung der Erosionsgefährdung

nach dem Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS) und aus dem Geländemodell extrahierten Tiefenlinien wurden Rasterkarten der Erosionsgefährdung (vgl. Anhang) erstellt, die in den Lenné3D-Player eingespielt wurden.

3.7 Einsatz der Visualisierungen in Experten- und Kommunikationsworkshops

Konstruktive Kritik erfuhren die Visualisierungen bei einem Statusseminar mit zahlreichen Experten bei der DBU Ende November 2007. Dazu wurden aus den Landschaftsmodellen hochauflösende Standbilder gerechnet und in Power Point Folien integriert. Obwohl die Bilder im Kontext eines Projektberichtes vorgestellt wurden und es mehr um die Präsentation des Projektfortschrittes ging, zeigte sich, dass die teilnehmenden Experten durch die Bilder den Einstieg in fachlich-inhaltliche Diskussionen fanden. Obwohl dieser Teil des Arbeitspaketes nicht tiefer bearbeitet wurde, weisen die regen Diskussionen, die im Rahmen des DBU-Statusseminars entstanden darauf hin, dass durch die Visualisierung von Szenarien einen Beitrag zur Diskussion zum Ausbau des Energiepflanzenanbaus geleistet werden kann.

4 Ergebnisse

Primäre Ergebnisse sind die erzeugten **digitalen Landschaftsmodelle**, die **Relevees** und die daraus entstandenen **Visualisierungen**. Da das Hauptaugenmerk der Untersuchung auf den visuellen Simulationen von Anbauszenarien nachwachsender Rohstoffe liegt, werden diese auf den nächsten Seiten durch exemplarische Bilder illustriert. Dazu wurden drei Bildreihen des brandenburgischen Modells erzeugt und vier des bayrischen Modells. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die dem Bericht beiliegenden Abbildungen, der verwendeten Perspektive und dem Thema, bzw. den Besonderheiten der einzelnen Beispiele. Die genauen Kamerastandorte sind in den Karten 5 und 6 im Anhang verzeichnet.

Tabelle 4: Übersicht der erzeugten Visualisierungen für den Bericht

Abbildung	Standort	Perspektive	Thema / Besonderheiten
Abbildung 9	Ostprignitz-Ruppin Standort 1	Fußgängerperspektive	Szenarienvergleich
Abbildung 10	Ostprignitz-Ruppin Standort 2	Fußgängerperspektive	Szenarienvergleich
Abbildung 11	Ostprignitz-Ruppin Standort 3	Vogelperspektive	Thematische Einfärbung
Abbildung 12	Ostprignitz-Ruppin Standort 3	Vogelperspektive	Nichtfotorealistische Darstellung
Abbildung 13	Chiemgau Standort 1	Fußgängerperspektive	Szenarienvergleich
Abbildung 14	Chiemgau Standort 2	Fußgängerperspektive	Szenarienvergleich
Abbildung 15	Chiemgau Standort 2	Fußgängerperspektive	Kulturartenvergleich
Abbildung 16	Chiemgau Standort 3	Vogelperspektive	Grünlandumbruch



Abbildung 9: Szenarienvergleich am Standort 1 für die Region Ostprignitz-Ruppin

Die Abbildung zeigt den Blick von einer Straße aus über die offene Feldlandschaft. Im Referenzszenario (oben) wird Winterroggen auf dem hier sichtbaren Feld angebaut. Im A-Szenario (Mitte) wird Raps für die Biodieselproduktion angebaut und im B-Szenario (unten) eine spezielle Maiszüchtung für die Gewinnung von Biomasse, die bis zu 5,50 Meter hoch wird. Durch die ungewöhnliche Wuchshöhe wird die Sicht an diesem Standort stark eingeschränkt.



Abbildung 10: Szenarienvergleich am Standort 2 für die Region Ostprignitz-Ruppin

Diese Abbildung zeigt das Landschaftsmodell fast am selben Standort wie Abbildung 9 mit einem anderem Blickwinkel. Das Feld im linken Vordergrund ist in den drei Szenarien mit Mais, Öllein und einer Ackergrasmischung bestellt. Der gegenüberliegende Schlag entspricht den Nutzungen aus Abbildung 9. Im Hintergrund ist im A-Szenario und B-Szenario eine Kurzumtriebsplantage aus Pappeln zu sehen. Deutlich wird in diesem Beispiel, dass sehr hohe Kulturen einen starken Einfluss auf das Landschaftsbild haben.

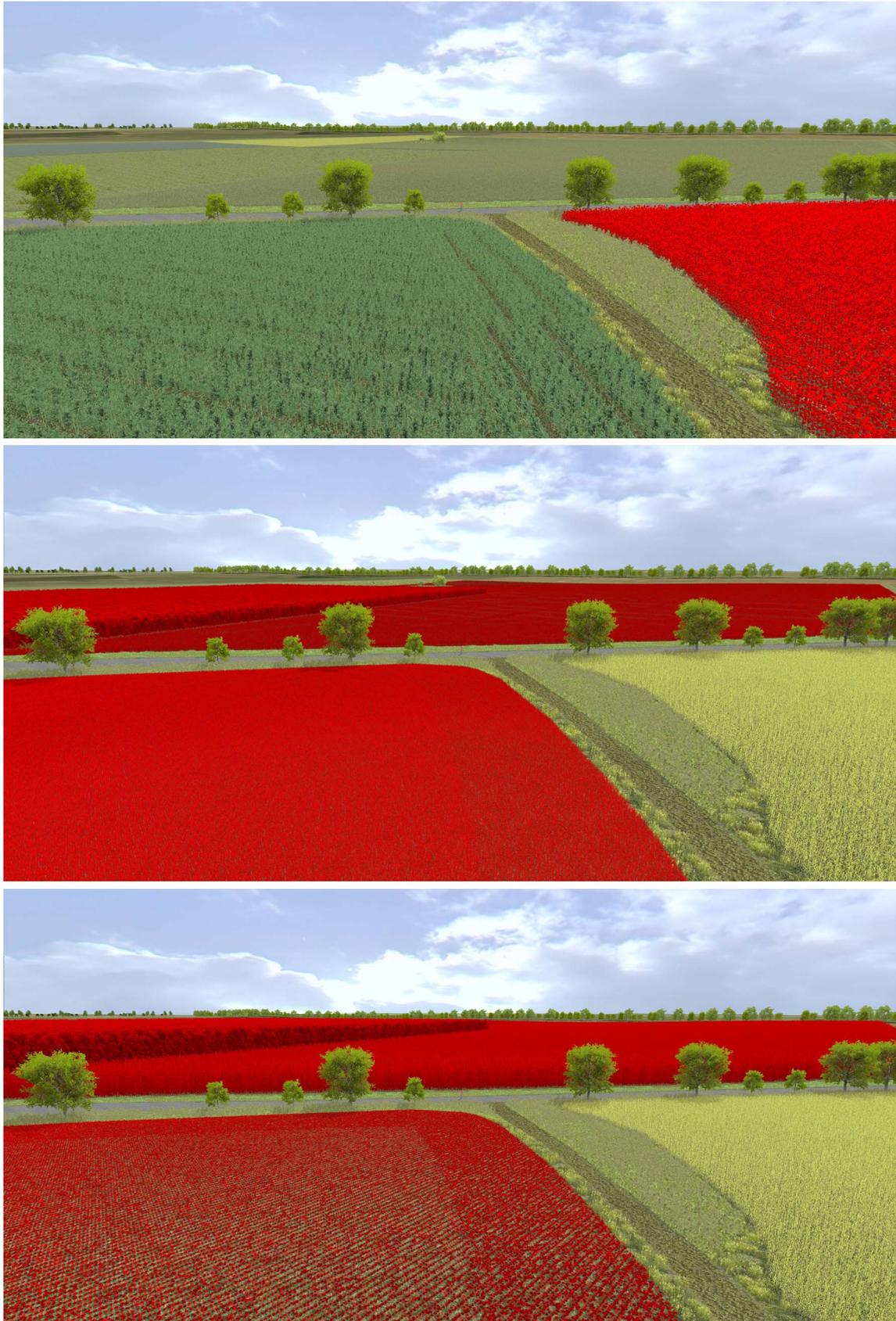


Abbildung 11: Szenarienvergleich aus der Vogelperspektive (Standort 3) mit Einfärbung der Biomassekulturen

Diese Abbildung illustriert beispielhaft die Möglichkeit einer attributabhängigen Einfärbung von Landschaftselementen. Im vorliegenden Beispiel wurden Kulturen, die für eine energetischen Nutzung vorgesehen sind, rot eingefärbt. Deutlich zu sehen ist dabei eine Zunahme der roten Flächen vom Referenzszenario zum A-Szenario. Die Zunahme vom A- zum B-Szenario ist dagegen weniger auffällig, weil nur ein im Hintergrund liegendes Feld hinzukommt.

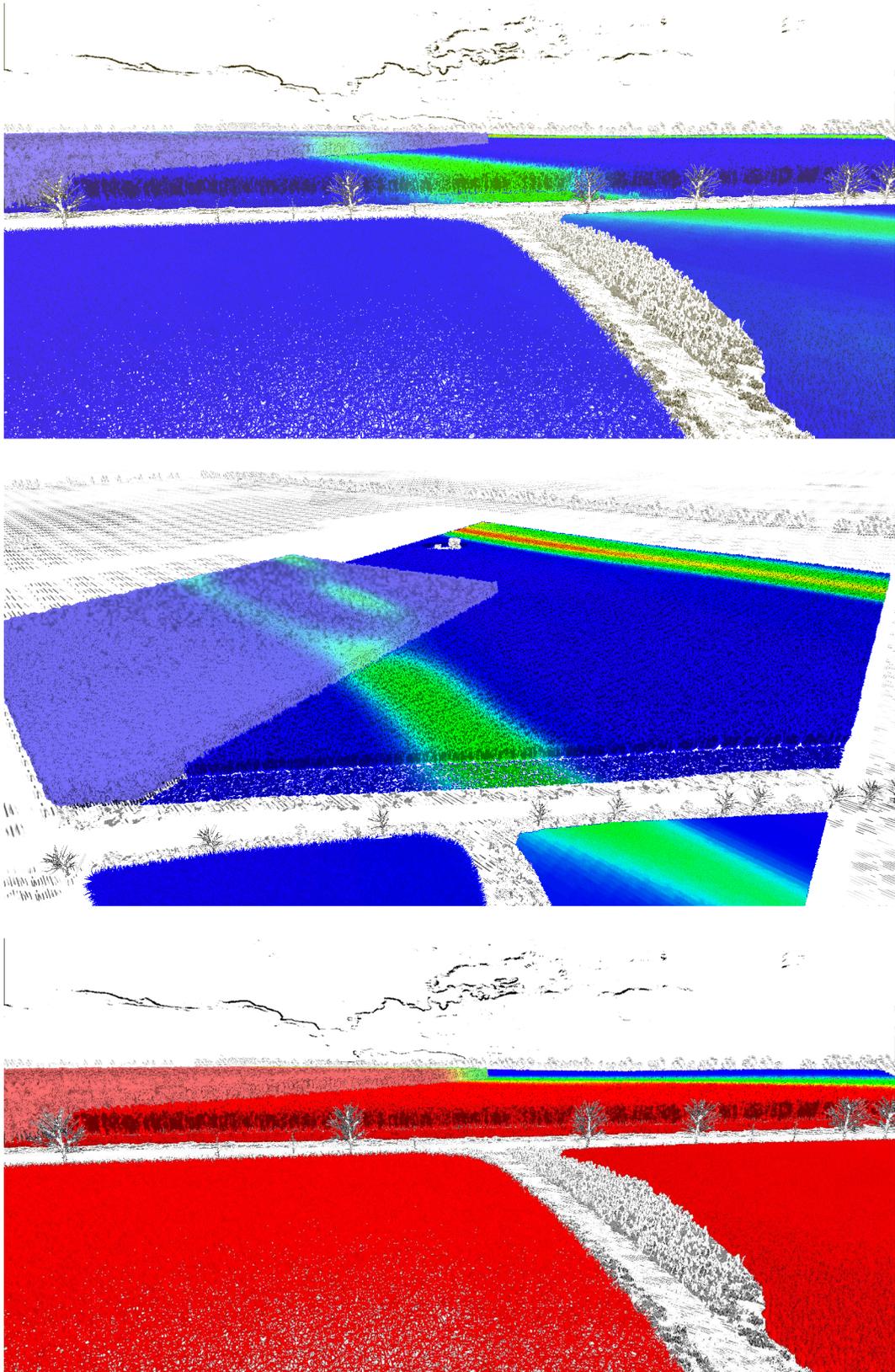


Abbildung 12: Beispielhafte Informationsvisualisierung mittels non-photorealistic rendering Techniken am Beispiel des Landschaftsmodells von OPR

Die gezeigten Bilder entstehen durch Reduktion der fotorealistischen Modelle, so dass skizzenhafte Darstellungen entstehen. Durch die Integration einer Rasterkarte können diese „Landschaftsskizzen“ thematisch eingefärbt werden.



Abbildung 13: Szenarienvergleich am Standort 1 für die Region Chiemgau

Die Abbildung zeigt das Landschaftsmodell der Chiemgauer Region vom Standort 1 aus. Durch das stärkere Relief, die Feldhecken und den Forst entsteht ein Landschaftsbild, welches durchaus typisch für die Region ist. Im Referenzszenario ist rechts des Weges ein Weizenacker und dahinter steht Raps, die linke Fläche stellt Grünland dar, dass nicht ausmodelliert wurde. Die stattdessen gewählte Bodentextur ist nicht sehr wirklichkeitsnah. Im modifizierten Modell steht auf der linken Seite eine Kurzumtriebsplantage aus Pappeln. Rechts im Vordergrund wächst Weizen. Dahinter folgt ein Sonnenblumenfeld und ein Schlag der mit hochwachsendem Biomassemais bestellt ist.



Abbildung 14: Szenarienvergleich am Standort 2 für die Region Chiemgau

In dieser Abbildung wurde ein Grünlandumbruch simuliert. Um einen starken Kontrast hervorzurufen wurde im modifizierten B-Szenario (unten) wieder auf den 5,5 Meter hohen Biomassemais zurückgegriffen. Durch die adulte Feldhecke auf der rechten Seite und den hohen Mais auf der linken Seite entsteht eine Art Tunnel, der freie Sicht in die Landschaft nicht mehr zulässt.

Der extreme Effekt zwischen einer sehr niedrigen Kultur und einer sehr hohen, initiierte die Idee an diesem Standort einen Kulturartenvergleich zu visualisieren, um beurteilen zu können, wie unterschiedlich die Kulturen das Landschaftsbild beeinflussen. Dieser Kulturartenvergleich wird auf den folgenden zwei Seiten illustriert.



Abbildung 15 (diese und folgende Seite): Vergleich unterschiedlicher Kulturarten am Standort 2 für die Region Chiemgau

Am Standorte 2 wurden unterschiedliche Kulturen dargestellt. Auf dieser Seite oben Raps, darunter Weizen. Auf der folgenden Seite sind von oben nach unten Mais, Miscanthus und Sonnenblumen zu sehen. Die beiden zuerst gezeigten Kulturen – Raps und Weizen – erlauben aufgrund ihrer geringen Höhe einen offenen Ausblick in die Landschaft, der bei den drei anderen Kulturen ein Stück weit eingeschränkt wird. Der in Abbildung 14 dargestellte Tunneleffekt tritt aber nicht so deutlich hervor.





Abbildung 16: Szenarienvergleich am Standort 3 für die Region Chiemgau aus der Vogelperspektive

Diese Abbildung zeigt den Blick aus der Vogelperspektive auf das Chiemgauer Modell. Wieder ist der Biomassemais im Vordergrund des modifizierten Szenarios (unten) dominant. Aber auch die KUP im linken Mittelgrund ist auffällig.

5 Zusammenfassende Diskussion und Ausblick

Anhand der eingangs formulierten Forschungsfragen soll das Projekt und die Ergebnisse diskutiert werden, bevor eine Zusammenfassung und ein Ausblick gegeben wird.

Die **erste Forschungsfrage** lautete: Lassen sich interaktive und (foto-)realistische Darstellungen von agrarischen Landschaftssystemen realisieren? Betrachtet man die hier präsentierten Visualisierungen ist das primäre Ziel des Antrages, die Erstellung von visuellen Simulationen von Agrarlandschaften, erreicht. Die abgebildeten Landschaftsbilder erreichen eine hohe visuelle Qualität, die Szenen sind annähernd in Echtzeit visualisierbar und durch die Bindung einzelner Kulturen an Darstellungslayer, können die Szenen interaktiv manipuliert werden. Es gibt aber eine Reihe von Einschränkungen und Restriktionen, die zum Teil durch eine Anpassung der Methodik beseitigt werden konnten, zum Teil aber auch unbeantwortet bleiben müssen und weiterer Forschung und Entwicklung bedürfen. Die sicherlich zentrale Einschränkung betrifft dabei die Limitierung auf relativ kleine Landschaftsausschnitte, die dazu führte, dass statt der geplanten 400 Hektar nur 25 Hektar große Gebiete visualisiert wurden. Sie ist auf eine Reihe von Faktoren zurückzuführen, die im folgenden diskutiert werden.

1. **Die Zahl der Pflanzen in einer Landschaft:** Eine annähernd realistische Abbildung realer Vegetationsstrukturen erfordert einen Abbildungsmaßstab, der im Nahbereich des Betrachters nahe 1:1 liegt. Bei der vorgestellten Methode müssen dafür diskrete Pflanzenstandorte bestimmt werden, denen die Pflanzenmodelle zugewiesen werden. Je nach Vegetation die abgebildet werden soll, können dabei einige wenige Punkte und Modelle pro Quadratmeter nötig sein oder ein paar hundert, wie am Beispiel eines Getreidefeldes gezeigt wurde. Bei einem angenommenen Wert von 200 Pflanzen pro Quadratmeter wären das für 400 Hektar 800 Millionen diskrete Punkte. In diesem Fall ergibt sich ein Speicherbedarf von 2,4 Gigabyte alleine für die Vegetationsverteilungen. Bezieht man in diese Überlegung die Tatsache mit ein, dass die Pflanzenmodelle, das Geländemodell und die Texturen auch Speicherplatz benötigen und aktuelle 32 Bit Windows Systeme nur 3 Gigabyte Arbeitsspeicher ausnutzen können, wird deutlich, dass hier technische Grenzen erreicht sind. Die Modellierung einer ganzen Region mit mehreren tausend Hektar würde sogar ein vielfaches an Speicher benötigen, weshalb klar ersichtlich ist, dass der vorliegende Ansatz einer diskreten Pflanzenliste nicht skaliert.
2. **Die Komplexität der Geometrien:** Bereits in den Kapiteln 2.2 und 3.4 wurde die geometrische Komplexität der verwendeten Pflanzenmodelle angesprochen. Induziert durch den Anspruch realistische Landschaften zu visualisieren, werden von der Lenné3D GmbH 3D-Pflanzenmodelle verwendet, die botanischen Mindestansprüchen genügen. Dazu wird jedes Modell einzeln durch Biologen begutachtet. Die dabei entstehenden Modelle können geometrisch aus wenigen Polygonen modelliert sein aber bei größeren Pflanzen ebenso aus mehreren zehntausend oder auch hunderttausend. Dazu kommen noch hochauflösende Bilder zur Texturierung der Modelle. Eine 1:1 Umsetzung dieser Informationen für eine Landschaft auf der Grafikkarte ist technisch nicht möglich. Bei der Visualisierung werden deshalb nur die Modelle im Vordergrund in voller Auflösung gezeigt, Modelle die im Mittel- oder Hintergrund stehen, werden dagegen in geringeren Detailstufen

eingebildet. Durch dieses LoD-Verfahren wird die Echtzeitvisualisierung der dargestellten Landschaftsmodelle erst möglich. Durch die schiere Masse an Pflanzen, werden aber schon bei der Verwendung einfacher Modelle für den Hintergrund die Grenzen moderner Grafikkarten ausgereizt. Das menschliche visuelle System nimmt Objekte im Hintergrund aber gar nicht als einzelne geometrische Pflanzen dar, sondern abstrahiert beispielsweise eine Ansammlung von Gräsern und Kräutern im Hintergrund zu einer Wiese, die als Textur wahrgenommen wird.

3. **Forderung nach einer Echtzeitvisualisierung:** Dieser Faktor hängt eng mit den vorgenannten zusammen und verschärft das Problem. Durch den Wunsch, interaktive und frei navigierbare Modelle zu erstellen, müssen die Szenen wenigstens 15-mal pro Sekunde berechnet werden. Unterhalb dieser „frame rate“ wird die Bewegung nicht als flüssig wahrgenommen. Durch die beiden vorgenannten Punkte wird aber bereits deutlich, dass dies bei einer annähernd realistischen Pflanzendichte insbesondere für Gräser, Getreide und Kräuter kaum erreichbar ist. Die erstellten 3-D Landschaftsmodelle lassen sich dann auf aktuellen High-End 3-D Grafikkarten (Nvidia GeForce 8800 GTX, GeForce 7900) zwar noch navigieren, eine flüssige Bewegung wird aber erst bei Reduzierung des Detailgrades möglich.

Fasst man alle drei Faktoren zusammen, befindet sich die Echtzeitvisualisierung von fotorealistischen Landschaften hier an ihrer Leistungsgrenze. Zwar lässt sich die Performance durch geschickte Szenengestaltung, d. h. dem bewussten Weglassen von Vegetationsformen wie es am Chiemgauer Beispiel mit den Grünländern gemacht wurde, oder durch die Reduzierung der Pflanzendichte (alle Getreideäcker wurden nur mit halber Saatstärke modelliert) deutlich steigern, eine dauerhafte Lösung bringen solche Manipulationen aber nicht. Hier werden weitere Forschungen nötig sein, um Algorithmen zu entwickeln, die Pflanzenverteilung bei Bedarf („on demand“) erzeugen oder die komplexe Vegetationsstrukturen im Szenenhintergrund durch Texturen oder andere abstrahierte Darstellungen ersetzen. Lösungsvorschläge für dieses Problem werden aktuell im Rahmen einer Doktorarbeit am Conrad-Zuse-Institut in Berlin in Kooperation mit der Lenné3D GmbH entwickelt.

Die **zweite Forschungsfrage**, ob sich aus den erstellten Visualisierungen Aussagen zu möglichen Veränderungen des Landschaftsbildes treffen und kommunizieren lassen, kann ebenfalls beantwortet werden. Betrachtet man die vorliegenden Abbildungen, kann man zwei Aussagen treffen:

1. Unkonventionelle Biomassekulturen, deren Auftreten in der heutigen Agrarlandschaft bisher selten ist, fallen deutlich ins Auge. Besonders deutlich wird das an den abgebildeten Kurzumtriebsplantagen (KUP) und dem hochwüchsigen Biomassemais. Durch ihre spezifischen Wuchshöhen haben solche Kulturen einen starken Einfluss auf das Landschaftsbild. Zu recht wurde in diesem Zusammenhang das Fehlen einer Darstellung im Jahresgang bemängelt, denn einjährige Kulturen wie Mais zeigen den abgebildeten Phänotypen nur wenige Wochen im Jahr.
2. Die meisten anderen verwendeten Kulturen fallen dagegen nicht als Energiepflanzen in der Landschaft auf, da es sich um Kulturen handelt, die seit vielen Jahrzehnten und Jahrhunderten angebaut werden. Deshalb wurde auch eingangs die These aufgestellt, dass erst eine massive Verschiebung der Flächenanteile wahrnehmbare Auswirkungen haben wird. Innerhalb der präsentierten Landschaftsmodelle, die nur

einige wenige Ackerschläge umfassen, lassen sich solche Verschiebungen der Flächenanteile nur begrenzt abbilden, so dass sich bezüglich der Auswirkungen auf das Landschaftsbild keine verlässlichen Aussagen treffen lassen.

Es ist zusammenfassend festzuhalten, dass die vorgestellte Methode geeignet ist, um potentielle Änderungen des Landschaftsbildes zu visualisieren. Wie diese aber von der Öffentlichkeit wahrgenommen und bewertet werden, lässt sich abschließend nicht bewerten. Ein zentraler Kritikpunkt, fehlende Jahreszeiten und eine fehlende Darstellung der Vegetation im Jahresgang, wurde aber bereits auf dem DBU Statusseminar identifiziert. Gerade bei Kulturen, die innerhalb eines Jahres ein starkes Höhenwachstum aufweisen, führt die derzeitige Beschränkung der 3D-Pflanzenbibliothek auf den Vollfrühling bzw. Sommer zu einer einseitigen Darstellung. Hier gilt es 3D-Pflanzenmodelle und Methoden zu entwickeln, die eine differenzierte Darstellung im Jahresgang ermöglichen.

Zur **dritten Frage**, wie abstrakte Informationen, beispielsweise Flächenanteile, Erosions- oder Verdichtungsempfindlichkeiten, mit Hilfe der visuellen Simulationen integrativ dargestellt werden können, lassen sich nur vorläufige Antworten geben. Durch das Einfärben der Ackerschläge, deren Kulturen für die Energieproduktion bestimmt sind, können a) Energiepflanzen von Kulturen für Nahrungs- und Futtermittel abgegrenzt werden und b) die Flächenanteile betont werden. Das Verfahren eignet sich somit grundsätzlich für die Integration von Fachinformationen. Ob und wie gut diese Nachricht von Betrachtern der Bilder entschlüsselt werden kann, können aber nur empirische Studien zeigen.

Als zweite Technik wurde NPR-Techniken eingesetzt um die Landschaftsmodelle abstrakt-skizzenhaft darzustellen und Umweltinformationen durch Einfärbung dieser Skizzen auf der Basis von Rasterdaten zu integrieren. Hierbei handelt es sich um eine neue, noch nicht erprobte Technologie, die einerseits viel versprechende Ergebnisse liefert, andererseits aber weit von der Marktreife entfernt ist. Die Abbildung 12 zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Tests und der Eingangsdaten. Auffällig ist, dass die Strukturen und Farben des Eingangsdatensatzes nicht direkt in den Visualisierungen erkennbar sind. Hier gibt es offensichtlich Probleme mit der Georeferenzierung und eine fehlerhafte Farbstreckung bzw. Farbzuzuweisung. Abgesehen von diesen technischen Problemen, können mit dieser Methode Umweltinformationen integrativ auf Basis eines realistischen 3D-Landschaftsmodells dargestellt werden. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass sich mit dem verwendeten System innovative Informationsvisualisierungen erstellen lassen, die aber technisch nicht vollständig ausgereift sind, bzw. für die noch keine Daten- und Benutzerschnittstellen existieren. Zukünftige Konzepte sollten hier einen direkten Zugriff auf Geodaten aus der Visualisierung heraus zulassen, so dass die Einfärbungen über Abfragen erfolgen und georeferenzierte Rasterdaten direkt eingebunden werden können.

Können die im Projekt entwickelten Visualisierungen letztlich Diskussionsprozesse unterstützen und zum besseren Verständnis der Entwicklung des Biomasseanbaus und möglicher Auswirkungen auf das Landschaftsbild beitragen?

Diese Frage kann nicht abschließend geklärt werden. Laut Projektantrag sollten die erzeugten Visualisierungen in den geplanten Workshops der DBU-Projekte der TU München in Kooperation mit der TU Berlin (Strategienprojekt) und der Universität Hannover (Sunreg II) als Hilfsmittel in der Diskussion eingesetzt werden. Aus Zeitgründen konnte eine Abstimmung nicht erfolgen. Zwar wurden erste Visualisierungsergebnisse auf dem Workshop des Strategienprojektes in Ostprignitz-Ruppin gezeigt, es gab aber zu wenig

Bildmaterial, um für alle Diskussionspunkte passende Visualisierungen bereitzuhalten. Durch die versetzte Laufzeit von Sunreg II gab es zeitliche Verzögerungen in der Methodenentwicklung, so dass die Visualisierungen dort bisher nicht eingesetzt wurden. Die Visualisierungen werden dem Projekt aber bereitgestellt. Die aussagekräftigste Begutachtung erfuhren die Visualisierungsergebnisse demnach bei dem bereits in Kapitel 3.7 erwähnten DBU-Statusseminar im November. Die dabei entstandenen inhaltlichen Diskussionen, zeigen, dass die Bilder zumindest ein guter Einstiegspunkt in Diskussionsprozesse sein können. Zudem lässt sich unweigerlich belegen und illustrieren, dass bestimmte Kulturen (insbesondere spezielle Biomassemaissorten und KUP) einen deutlichen Einfluss auf das Landschaftsbild haben. Die hierbei geäußerte Kritik, dass der Mais ja nur wenige Wochen im Jahr so hoch steht, ist natürlich berechtigt, bedeutet aber trotzdem, dass in einer bestimmten Zeit im Jahr, landschaftliche Sichtbeziehungen gestört werden können.

Fasst man die Ergebnisse abschließend zusammen, so lässt sich festhalten, dass die vorgestellte Methode geeignet ist, um Szenarien eines Landschaftswandels durch einen zunehmenden Biomasseanbau qualitativ hochwertig, d. h. fotorealistisch, zu visualisieren. Die Erprobung der Methodik an zwei Gebieten zeigt, dass sie übertragbar ist. Bei der Übertragung können sogar Synergien entstehen, weil digitale Vegetationsaufnahmen (*Relevees*) wieder verwendet werden können. Auf lange Sicht könnten sich Nutzer umfangreiche Vegetationsbibliotheken aufbauen, wodurch die Modellierung und Visualisierung deutlich beschleunigt werden kann. Allerdings beschränken die bisher verwendeten Rendering-Algorithmen bzw. das Systemdesign des Lenné3D-Players die Größe des Landschaftsausschnittes, weil zur Zeit alle Pflanzen durch diskrete Punkte beschrieben werden. An der Lösung dieses Problems wird bereits gearbeitet und die Ergebnisse sollen in den Softwarenachfolger des Prototypen einfließen. Laut aktueller Systemkonzeption wird der Nachfolger auch eine Reihe weiterer Neuerungen mitbringen, die derzeit bei der Arbeit mit dem Prototypen noch nicht sauber implementiert sind. So sollen georeferenzierte Raster und Vektordaten zur direkten Integration unterstützt werden und die Verteilungssoftware OIK in das Nutzerinterface integriert werden. Zudem sollen zukünftige Versionen auch von Computern mit 64-Bit Betriebssystemen unterstützt werden, so dass potentielle Speicherrestriktionen wegfallen.

Betrachtet man die Ergebnisse vom langfristigen Ziel des Projektes her, einen Beitrag für die Bewertung zukünftiger Energielandschaften zu leisten, so muss offen bleiben, wie groß dieser sein kann. Wie berichtet zeigen erste Erfahrungen, dass die erzeugten Bilder Diskussionsprozesse anregen können. Ob und wie weit sie aber für die Entwicklung von Leitbildern einer zukünftigen Biomassenutzung beitragen können oder ob der Einsatz solcher Bilder in umweltsychologischen Untersuchungen zur Wahrnehmung von Energielandschaften erfolgreich sein kann, bleiben offene Frage, die nur anhand empirischer Studien bearbeitet werden können. Das Projekt stellt die erzeugten Ergebnisse in diesem Sinne Frau Prof. Schweitzer-Ries von der Universität Marburg zur Verfügung.

Quellenangaben

Gesetze und Programme

- KOM (2006) 848: Fahrplan für erneuerbare Energien - Erneuerbare Energien im 21. Jahrhundert: Größere Nachhaltigkeit in der Zukunft. Mitteilung der Kommission an den Rat und das europäische Parlament. Im Internet unter: http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/03_renewable_energy_roadmap_de.pdf. Zuletzt besucht am 24.01.2007.
- Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 29.03.2000. Online verfügbar im Juristischen Informationssystem für die Bundesrepublik Deutschland (JURIS): <http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/eeg/gesamt.pdf>
- BGBl (2006): Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerlicher Vorschriften – BioKraftQuG vom 18. Dezember 2006. Bundesgesetzblatt 2006, Teil I, Nr. 62. 3180-3188.
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Im Internet unter: <http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Politikthemen/Umwelt/NachhaltigeEntwicklung/nachhaltige-entwicklung.html>. Zuletzt besucht am 24.01.2007.

Literatur

- Appelton, K., Lovett, A., Sünnenberg, G & T. Dockerty (2002): Rural landscape visualisation from GIS databases: a comparison of approaches, options and problems. In: Computers, Environment and Urban Systems, 26: 141-162.
- Appleton, K. & A. Lovett (2003): GIS-based visualization of rural landscapes: defining ‚sufficient‘ realism for environmental decision-making. Landscape and Urban Planning, 65, 117-131.
- Bishop, I. & Lange, E. (2005): Visualization in Landscape and Environmental Planning – Technology and Applications. Taylor & Francis. London and NewYork.
- BMU (2007): Erneuerbare Energie in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung (Stand: November 2007). Im Internet unter: <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/2720/20012/>. Zuletzt besucht am 24.01.2007.
- Buhmann, E. & Jünemann, P. (2000). Umfrage zur Machbarkeitsstudie für ein Visualisierungstool, Auswertung der eingegangenen Antworten und Einschätzung des Marktpotentials, Abschlussbericht – 25.10.2000 im Auftrag des Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V. Müncheberg, unveröffentlicht.
- DMK (2006): Pressemeldung 07/2006 des Deutsches Maiskomitee e.V., Bonn; download unter www.maiskomitee.de.
- FNR (2007): Entwicklung des Anbaus von Rohstoffpflanzen. Auf den Internetseiten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, <http://www.fnr.de/> unter dem Punkt Daten und Fakten. Zuletzt besucht am 24.01.2007.
- FvB (2006): Biogas – Das Multitalent für die Energiewende, Ausgabe März 2006, Fachverband Biogas e.V. Im Internet unter: http://www.biogas.org/datenbank/file/notmember/medien/Fakten_Biogas_2006_03.pdf. Zuletzt besucht am 24.01.2007.
- Lange, E. (2001): The limits of realism: perceptions of virtual landscapes. In: Landscape and Urban planning, 54(1-4): 163-182.

- Ökoinstitut e.V. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Im Internet unter: http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biomasse_vorhaben_endbericht.pdf. Zuletzt besucht am 24.01.2007.
- Paar, P. & Rekittke, J. (2005): Lenné3D - Walk-through Visualization of Planned Landscapes. -In: Bishop, I. & Lange, E. (eds.), *Visualization in landscape and environmental planning*, Spon Press, London: 152–162.
- Rekittke, R. & Paar, P. (2006): Digital Botany. Thinking Eye. *Journal of Landscape Architecture*, 2: 10 pp. & cover.
- Röhricht, W. (2005): oik – nulla vita sine dispensatio. Vegetation Modelling for Landscape Planning. - In: Buhmann, E., Paar, P., Bishop, I.D. & Lange, E. (eds.), *Trends in Real-time Visualization and Participation*. Proc. at Anhalt University of Applied Sciences, Wichmann, Heidelberg: 256–262.
- Schroth, O., Lange, E. & W. A. Schmid (2005): From Information to Participation – Applying Interactive Features in Landscape Visualization. In: Buhmann, E., Paar, P., Bishop, I. & E. Lange (Hrsg.): *Trends in Real-Time Landscape Visualization and Participation*. Proc. at Anhalt University of Applied Science 2005. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Tress, B. & Tress, G. (2003): Scenario visualization for participatory landscape planning – a study from Denmark. *Landscape and Urban Planning* 64 (2003). 161–178.
- Warren-Kretzschmar, B. & S. Tiedtke (2005): What Role Does Visualization Play in Communication with Citizens. In: Buhmann, E., Paar, P., Bishop, I. & E. Lange (eds.): *Trends in Real-Time Landscape Visualization and Participation*. Proc. at Anhalt University of Applied Science 2005. Wichmann Verlag, Heidelberg.

Software

- LandXplorer Studio Professional - 3D Geo GmbH, im Internet unter: <http://www.3dgeo.de>.
- Lenné3D - Lenné3D GmbH, im Internet unter: <http://www.lenne3d.de>
- Visual Nature Studio - 3D Nature, LLC, im Internet unter: <http://3dnature.com/>

Anhang

A *Karten*

- Karte 1: Darstellung des Basis-Landschaftsmodells für OPR
- Karte 2: Darstellung des Referenzszenarios
- Karte 3: Darstellung des A-Szenarios
- Karte 4: Darstellung des B-Szenarios
- Karte 5: Darstellung des visualisierten Ausschnittes
- Karte 6: Darstellung des Basis-Landschaftsmodells für den Chiemgau
- Karte 7: Darstellung des Referenzszenarios
- Karte 8: Darstellung des B-Szenarios mit Grünlandumbruch und Kulturartenvergleich