

Rüdiger GLASER, Freiburg i.Br., Markus JUNG, Freiburg i.Br.
Stephanie GLASER, Freiburg i.Br., Helmut SAURER, Freiburg i.Br.
Rainer GLAWION, Freiburg i.Br., Klaus BRAUN, Freiburg i.Br.
Marco LECHNER, Freiburg i.Br., Daniela VOGELLEHNER, Ehrenkirchen

Geography goes Cyber Space? – Landschaftsvisualisierungen als Teil einer virtuellen Geographie

Summary

After establishing the criteria for virtual reality, expectations on new paths of awareness based on the medium are expressed. Thereafter an overview of previous approaches is given, in which virtual worlds are playing an important role in reconstructing or forecasting the situation of a landscape. Afterwards technical aspects are discussed, with a focus on different scales and required data and expertise. Visualisation is difficult in those circumstances where expertise is fragmentary or where it is interpreted controversially.

Visualisation means to ‘show colours’. Two examples depict possible applications. They show that textual fuzziness has to be clarified. Therefore visualisation can also contribute to the quality of science and research. Geography as the classical science of space should gain competence in the new digital space, contributing to developing requirements and standards. Thusly digital space and virtual landscapes can be used as a didactical and scientific tool.

1 Einleitung

In weltweit erfolgreichen cineastischen Inszenierungen wie „The Day after Tomorrow“ oder „Twister“ werden nicht nur geographische Themenkreise einem breitem Publikum näher gebracht, sie imponieren auch durch ihre Darstellungstechnik. Spektakuläre Landschaftsszenen, imposante Effekte und Tricks vermitteln eine neue Dimension multimedialer Erlebniswelten, bieten Einblicke in den Mikrokosmos oder intergalaktische Reisen, schaffen aber auch Raum für Manipulationen und fantastische Welten. Gegenwärtig werden Filme zunehmend nicht mehr an realen Schauplätzen gedreht, sondern am Computer gerendert¹.

Wie können die neuen Techniken in der Geographie genutzt werden? Welche Fragen, aber auch welche Möglichkeiten ergeben sich für die Geographie? Welche Potentiale werden für die Geographie als Wissenschaftsdisziplin und Fach mit besonderer gesellschaftlicher Relevanz neu erschlossen? Der vorliegende Beitrag

¹ Unter *rendern* versteht man in der 3D-Grafik die Erzeugung eines Bildes aus einer Bildbeschreibung. Dabei werden vordefinierte 3D-Objekte, Farben und Muster verwendet.

vermittelt Denkanstöße zu dieser neuen Technik. Er illustriert die vielseitigen Möglichkeiten und Vorteile der Geovisualisierung und insbesondere der Landschaftsvisualisierung wie auch deren Grenzen.

An zwei Fallbeispielen wird gezeigt, wie unter Einbeziehung konventioneller Geodaten Landschaftsszenen berechnet werden können, um Planungsszenarien oder landschaftsogenetische Entwicklungen intuitiv zu vermitteln. Die Visualisierung zur Landschaftsogenese der Schichtstufenlandschaft der Haßberge ist eine Reise in die geologisch-geomorphologische Vergangenheit. Einen Blick in die Zukunft vermittelt ein ökologisches Planungsszenario für Agrarlandschaften der Schweiz. Damit wird in den Beispielen vor allem die zeitliche Dimension veranschaulicht. Denn gerade wenn es darum geht, langandauernde Prozesse zu (re-)konstruieren, gerät die menschliche Vorstellungskraft rasch an Grenzen.

2 Visualisierungstechnologien – die Welt mit anderen Augen sehen

„Visualisierung im Sinne der Informatik ist die zielgerichtete Transformation von Daten in ein sichtbares Bild zur Unterstützung der Exploration (Erkundung), Kognition (Erkennen) und Explanatıon (Erklärung) von Strukturen und Prozessen.“ (www.geoinformation.net, 30.10.2005). Die Visualisierung ist somit eine wichtige Methode des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses.

2.1 Faktoren der Virtualität

Die Darstellungsmöglichkeiten der Virtuellen Realität bieten ein großes Potential für eine innovative und effiziente Übermittlung komplexer Daten. Grundlagen und Elemente der virtuellen Welten sind:

- Die realitätsnahe Darstellung: Sie erlaubt die Identifikation der Darstellung mit dem persönlichen (Landschafts-)Erlebnis.
- Die Möglichkeit, die „Informationsintensität“ nach Abstraktionsgraden zu variieren, gestattet eine spezifische Anpassung der Komplexität der Darstellung an unterschiedliche Nutzergruppen. Didaktische Vereinfachungen auf verschiedenen Niveaus sind leicht realisierbar.
- Die „Interaktion der Benutzer“ mit der virtuellen Umgebung gelingt beispielsweise mit der Steuerung prozesshafter Entwicklungen über Modellparameter. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, Entwicklungen zu vergleichen und deren Bewertung vorzunehmen.
- Die „Ausstattung von Objekten“ mit Intelligenz ist die mächtigste Erweiterung virtueller Darstellung gegenüber der realen Erlebniswelt. Sie zieht in Betracht, dass Nutzer der virtuellen Darstellung Objekte greifen und Veränderungen daran vornehmen können. Dabei kann sich das Objekt äußern, ob die beabsichtigte Veränderung überhaupt möglich oder sinnvoll ist. Ein Beispiel aus der Landschaftsentwicklung, für das methodisch noch Forschungsarbeit zu leisten wäre, kann diese Perspektive illustrieren: Ein Tal, das aufgrund eines Nutzerwunsches einem Prozess der glazialen Überformung ausgesetzt werden soll, kann rückmelden, dass die beabsichtigte Formung nicht plausibel ist, weil andere Parameter (Temperatur, Niederschlag, Vegetation) nahe legen, dass sich kein Gletscher ausbilden würde.

2.2 *Kognitive Aspekte der Visualisierung*

Die Fähigkeit des Menschen räumlich zu sehen ist ein vielschichtiger Vorgang, der intuitiv im Gehirn abläuft. Die Primärinformation, welche die Augenlinse auf der Netzhaut abbildet, ist zunächst ein zweidimensionales Bild. Jedes Auge empfängt dabei ein Netzhautbild vom gleichen Objekt in eigener Perspektive. Stereoskopisches Sehen basiert auf der Fusion dieser beiden Bilder zu einem Raumbild. Von Bedeutung für die Tiefenwahrnehmung ist neben dem räumlichen Sehen auch die Texturinformation. Licht-, Reflektions- und Verschattungsphänomene tragen zudem zur räumlichen Wahrnehmung bei. Beim Visualisieren einer Landschaft werden genau diese Parameter festgelegt. Vor dem Rendering-Verfahren werden Objektoberflächeneigenschaften wie Reflektivität, Texturierung etc. sowie eine Beleuchtungssituation definiert. Dadurch ergibt sich für den Betrachter die Dreidimensionalität der Landschaft und der darin liegenden Objekte auch ohne spezielle 3D-Ausgabegeräte.

3D-Visualisierungen sprechen also sowohl das sensorische System als auch unsere kognitiven Stärken an. Der Nutzer wird in die virtuelle Welt integriert. Solche Virtual Reality Systeme (VRS) sprechen das natürliche Problemlöseverhalten des Menschen weit mehr an als bisherige Benutzerschnittstellen, da hier ein Bezug zu realen Verhältnissen hergestellt werden kann und die Möglichkeit des intuitiven und erfahrungsbasierten Handelns besteht. Verknüpft man ein VRS mit einem Datenbanksystem können Geodaten in ein virtuelles geographisches Informationssystem (VRGIS) eingebunden werden (vgl. BECK 2003). Daraus können sich neuartige und weiterführende Analysemöglichkeiten dieser erweiterten Form einer GIS-Anwendung ergeben, die mit klassischen GIS-Systemen nicht realisiert werden. Eine vergleichbare Diskussion wird auch schon in Bezug auf die eng verknüpften 3D-Datenmodelle geführt.

3 Landschaftsvisualisierungen – synthetisch generierte Umwelten

In unserer Alltagswelt haben sich computeranimierte Filme und Darstellungen auf breiter Front durchgesetzt. Visualisierungen, manipulierte Abbildungen realer Welten bzw. virtuelle Welten sind heute beinahe ubiquitär. Aufgabe dieser Visualisierungen ist es, Bilder im Kopf und vor Augen zu erzeugen, um in Phantasiewelten einzutauchen.

Im Gegensatz dazu sehen wir die (3D-)Geovisualisierung. Es ist nicht beabsichtigt eine Vision aufzubauen. Vielmehr steht die Rekonstruktion vergangener realer Welten oder die Konstruktion künftiger Welten im Fokus. Die Geovisualisierung stellt damit eine Spezialform des wissenschaftlichen Visualisierens dar. Alleinige Kennzeichen der Geovisualisierung sind der dreidimensionale Darstellungsraum sowie die georeferenzierte Verortung der zu visualisierenden Geoobjekte. Dabei hat die dreidimensionale Darstellung raumbezogener Information eine lange Tradition und ist gerade in der Geographie im Grunde nicht neu. Alle Arten von Abbildungen sind Abstraktionen der Wirklichkeit, die zweckgebunden eingesetzt werden. Kaum ein Aufsatz, in dem nicht durch Blockbilder, Schnitte und Profile, 2D-Bilder und Zeichnungen fachwissenschaftliche Inhalte visualisiert werden. In Planungsprozessen werden häufig Fotomontagen eingesetzt. Der Vorteil der genannten klassischen

Möglichkeiten liegt in ihrer schnellen und meist kostengünstigen Erstellung. Zahlreiche Standards und Konventionen der Darstellung etwa bei den Signaturen geomorphologischer Karten erleichtern dem Ersteller das Ausarbeiten und dem Betrachter das Lesen und Interpretieren. Gleichwohl werden in Form von Karteninterpretationskursen bestimmte Techniken der Betrachtung geübt. Nachteilig sind die begrenzten Darstellungsmöglichkeiten – etwa die nicht änderbare Standortwahl, u.U. auch der Generalisierungsgrad, die Einmaligkeit der Produktion oder die eingeschränkten Fortführungsmöglichkeiten. Vor allem sind aber landschaftsprägende Prozesse nur rudimentär darstellbar.

Heute sind digitale Geodaten in Form von GIS-Daten, hochaufgelösten Luft- und Satellitenbildern sowie Geländemodellen weit verbreitet. Werden sie zu einer interaktiven dreidimensionalen Landschaft (Landschaftsvisualisierung) verschmolzen, können Informationen in den verschiedensten Anwendungsbereichen plastisch vermittelt werden.

In der Geographie gibt es mittlerweile zahlreiche Ansätze, die verfügbaren Techniken der Landschaftsvisualisierung zu nutzen.

Im Zentrum stehen dabei die Darstellung des Landschaftszustandes zu einem oder mehreren Zeitpunkten (Rekonstruktion) oder die Darstellung eines Raumes nach geplanten Eingriffen (Konstruktion oder Prognose) mit dem Ziel, ein realitätsnahes Abbild der Landschaft zu erzeugen.

Beispiele hierfür sind etwa der Aufbau von 3D-Bilddatenbanken zu spezifischen geographischen Themen, Visualisierung und Animation von Landschaft und Landschaftswandel oder Realtime-3D-Visualisierungen von Geodaten. Die folgende Aufzählung gibt einen kurzen Überblick über derzeitige Entwicklungen.

Basis für solche Arbeiten ist neben den oben genannten Geodaten und dem Beherrschen der technischen Werkzeuge das Wissen von Fachleuten über die potentielle Ausprägung eines Raumes zu einer bestimmten Zeit. Ohne Kenntnis grundlegender Zusammenhänge und ohne Überprüfung einer Darstellung im Hinblick auf deren Plausibilität bleibt die Landschaftsvisualisierung Stückwerk oder führt zu fehlerhaften Darstellungen. Bilder wie sie beispielsweise von Filmen wie „Ice Age“ vermittelt werden, können aufgrund ihrer Breitenwirkung in der Öffentlichkeit Wirkungen hervorrufen, die jeder wissenschaftlichen Grundlage entbehren. Ggf. wird durch die Breitenwirkungen solcher fachlich nicht haltbarer virtueller Realitäten das öffentliche Interesse und damit die Forschungspolitik in einem aus fachlicher Sicht nicht zu wünschenden Maße beeinflusst.

3.1 Neue Werkzeuge

Für digitale Visualisierungen hält der Markt inzwischen eine große Auswahl spezifischer Software bereit, die aufwändige Darstellungen ermöglicht. Unterscheiden kann man zwischen Anwendungen, die lediglich Standbilder, zum Teil auch vorgerenderte Animationen erzeugen und solchen, die eine Darstellung der virtuellen Welt in Echtzeit erlauben.

Die modernen Renderer für Standbilder erreichen einen sehr hohen Realitätsgrad. Allerdings eignen sich nicht alle für geographische Darstellungen. Visualisierungsprogramme wie „Bryce“ oder „Vue d’ Esprit“ zum Beispiel gestatten weder das Einladen von Digitalen Höhenmodellen noch von Vektoren aus GIS Anwen-

Projektname	Universität	Inhalt	Ansprechpartner
GeoVIS	Berlin	Interaktive 3D-Visualisierung von Oberflächenformen und Klimaparametern zur Veranschaulichung in der Lehre	Prof. Dr. H. SCHRÖDER
ELmm	Freiburg	Internetbasierte Module zur Landschaftsentwicklung Südwestdeutschlands	Prof. Dr. R. GLASER, Dr. H. SAURER
WEBGEO	Freiburg	Internetbasierte E-Learning Module zu ausgewählten Themen der Physischen Geographie	Dr. H. SAURER, Prof. Dr. R. GLASER Dr. K. BRAUN
GEOvLEx	Halle	Geovisualisierungen, virtuelle Landschaften und virtuellen Exkursionen für die geowissenschaftliche Aus- und Weiterbildung	Prof. Dr. C. GLÄßER
Geosynthesis	Hannover	Multimediale Kartenpräsentationen zu ausgewählten Themen	Prof. Dr. T. MOSIMANN
GEIST	Heidelberg	Computergenerierte 3D-Modelle historischer Gebäude	European Media Laboratory, Heidelberg
LVis	Kiel	Realtime-3D-Visualisierungen von Geodaten	Prof. Dr. R. DUTTMANN
GIMOLUS	Stuttgart	Internetbasierte virtuelle Landschaft für fachbezogene naturwissenschaftliche Lerneinheiten und Lernmodule	Prof. Dr. G. KAULE
GISMO	Stuttgart	Visualisierung unter Verwendung von 3D game engines	Prof. Dr. D. FRITSCH

dungen. Eine gute Anbindung an GIS sowie vielfältige Importmöglichkeiten für Höhendaten bietet Visual Nature Studio 2 (VNS) von 3D Nature Studio. Die damit erzeugten Standbilder sind von hoher Qualität. Animationen lassen sich ebenfalls erzeugen, allerdings nur auf vordefinierten Kamerapfaden. Aktueller Zielpunkt vieler Softwareentwicklungen sind Programme, die eine virtuelle Welt in Echtzeit darstellen und eine Interaktion des Benutzers zulassen. Aktuelle GIS wie ArcGIS Oder VirtualGIS erlauben dies in Ansätzen, sind aber im Hinblick auf die Darstellungsqualität wenig zufriedenstellend. Die sehr teuren Modeller „Creator Pro“ oder „Blueberry 3D“ zeigen eine deutlich bessere Qualität. Neben den Kosten ist auch nachteilig, dass sie nur auf High-End Maschinen einsetzbar sind. Interessante Ansätze zeigt die Player Software „Lenné 3D“, die sich allerdings noch im Betastadium befindet.

3.2 *Parameter der Konstruktion virtueller Welten*

3.2.1 *Point of view*

Eine Visualisierung ist, wie realistisch sie auch sein mag, immer ein Abbild und deshalb zugleich auch eine Abstraktion oder Veränderung der Realität. Abhängig von der gestellten Visualisierungsaufgabe gilt es geeignete Standorte, richtige Perspektiven, Seitenverhältnisse und Bildwinkel zu finden, um eine entsprechende Bildaussage zu schaffen (vgl. JESSEL et al. 2003). Bei der Wahl der Perspektive muss auch die Entfernung zum Betrachter einbezogen werden, da von ihr zum einen der Gesamteindruck des Ergebnisses, sprich der Visualisierung, zum anderen der zu wählende Detailgrad abhängt. Unter Berücksichtigung der zu treffenden Aussagen unterscheiden JESSEL et al. (2003) drei relevante Entfernungen. Wesentliches Merkmal der Mikroebene (0–50m) ist die Detailtreue. Dies bringt einen erheblichen Arbeitsaufwand mit sich, denn die „ecosystems“ in VNS müssen entsprechend aufgearbeitet werden. Durch die Nähe zu den Objekten müssen die Pflanzen der Ökosysteme exakt der realistischen Anordnung entsprechen. Saisonale Variabilitäten der Vegetation wie z.B. unterschiedliche Bewirtschaftungsintensitäten sind in dieser Maßstabebene deutlich zu erkennen. Die Detailtreue darf in der Mesoebene (50–500m) etwas abnehmen, dennoch gelten hier die Aussagen der Mikroebene nahezu analog. In der Makroebene (über 500m) erfolgt die Wahrnehmung allerdings großflächiger. Einzelne Pflanzen werden hier nicht mehr erkannt. Die Einzelobjekte verschmelzen zu Farbflächen.

3.2.2 *Level of Detail Management*

Ein weiterer wichtiger Parameter ist der Detailgrad, dessen Problematik als Level of Detail (LOD) seit langem ein fester Begriff für computererzeugte Graphiken, 3D-Modelle etc. ist. Beim level-of-detail-Konzept (LOD) werden mehrere distanzabhängige Auflösungsstufen in Abhängigkeit vom Betrachtungsstandort verwaltet. Je näher man einem Objekt ist, desto detaillierter ist dessen Darstellung. Vorteil dieses Verfahrens ist das Einsparen von Rechenzeit während des Renderns. Bei Echtzeit-Visualisierungen wird der level-of-detail allerdings durch den Arbeitsspeicher und die Ladezeit der Auflösungsstufen begrenzt. Allgemein wird der LOD in verschiedene Stufen aufgeteilt. Sie reicht von zwei (low, high) bei APPLETON u. LOVETT (2003) über drei (hoch, mittel, niedrig), wie z.B. bei HOFSCHEUDER (2004) bis hin zu fünf bei BRENNER u. KOLBE (2005). Besonders in Kombination mit streamingtauglichen Formaten (z.B. X3D) ist hier in näherer Zukunft ein Schritt in Richtung webbasierter Visualisierungen zu erwarten.

3.3 *Datengrundlage*

3.3.1 *Digitales Höhenmodell (DHM)*

Zu einer Visualisierung bedarf es neben der geeigneten Software entsprechender Datengrundlagen. Eine *conditio sine qua non* für die Landschaftsvisualisierung sind digitale Höhenmodelle (DHM), die sich mit geeigneten, aufbereiteten Sachdaten verknüpfen lassen. Enthält die Datei noch zusätzliche Daten zur Geländestruktur (z.B. Exposition, Neigung, Einzugsgebiet etc.) oder Interpolationsalgorithmen, so spricht man von einem Digitalen Geländemodell (DGM) oder „Digital Terrain Model“ (DTM). Allerdings werden diese Begriffe in der Literatur häufig nebenein-

ander verwendet (BILL 1999b). Die Auflösung des zu verwendenden DHM sollte in Abhängigkeit von der jeweiligen Perspektive gewählt werden. Für den Vordergrund ist eine möglichst hohe Auflösung vorzuziehen, für den Mittelgrund und erst recht den Hintergrund kann sie aber abnehmen, was die Bearbeitungs- und die Rechenzeiten erheblich verkürzt. Grundsätzlich stehen vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie und von den Landesvermessungsämtern verschieden aufgelöste DHM zur Verfügung. Diese lassen sich in VNS 2 auch zu Multiresolution-DHM zusammenfügen und ermöglichen so einerseits eine speicherplatzsparende Darstellung der Höheninformation, bieten aber auch die im Vordergrund notwendige Detailauflösung.

3.3.2 *Vom digitalen Geländemodell zur virtuellen Landschaft*

Für die Erschaffung einer virtuellen Landschaft ist nun letztendlich das Zusammenspiel verschiedener Datenstrukturen notwendig. Als erster Schritt muss ein passendes Höhenmodell (DHM) erstellt werden, welches dann in ein entsprechendes Geländemodell (DGM) weiterverarbeitet wird. Dieses DGM wird in die Software zur Landschaftsvisualisierung (Rendering-Software) eingeladen. Danach wird das Geländemodell mit Dateien verknüpft, die Angaben zur Oberflächenbedeckung und den zugehörigen Farben und Texturen enthalten. Dabei stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Als einfachste Lösung bietet es sich an, ein entsprechendes Orthofoto in Echtfarbe auf das Gelände zu projizieren. Oft werden auch Satellitenbilder als Texturen verwendet (vgl. DECH et al. 2005). In der Mikroebene ist höchste Detailtreue erforderlich, so dass Einzeldarstellungen von Pflanzen notwendig sind. Die einzelnen Bestandteile der virtuellen Welt sind:

- Geländehintergrund – „ground effect“: Hier legt man den Hintergrund des Geländes, welches nicht von Vegetation, Wasser oder auch Bebauung überdeckt ist, fest. Mithilfe geeigneter Texturen simuliert man Fels, Bodenstrukturen und vieles mehr. Diese „ground effects“ lassen sich über verschiedene Parameter wie zum Beispiel Hangneigung, Exposition oder absolute Höhe steuern und erlauben eine detaillierte Darstellung des Geländehintergrundes.
- Oberflächenbedeckung – „ecosystems“ und „rules of nature“: Zur Darstellung der Oberflächenbedeckung werden „ecosystems“ generiert, welche die charakteristischen Florenelemente oder sonstige Bodenbedeckungstypen einer Landschaft repräsentieren, also Wälder, Wiesen, Äcker, Straßen oder Häusergruppen. Zur Generierung der „ecosystems“ können Fotografien entsprechender Pflanzen der Bibliothek von VNS entnommen werden oder Fotos selbst angefertigt, aufbereitet und eingebunden werden. Ecosystems lassen sich auf zwei Weisen, welche auch miteinander kombinierbar sind, verteilen. Zum einen kann man ihre Lage und Ausdehnung mit Hilfe von Vektoren bestimmen. Diese Vektoren werden entweder direkt in VNS digitalisiert oder lassen sich z.B. aus einem GIS importieren. Für Visualisierungen der Gegenwart bietet es sich an, aufbereitete ATKIS-Daten einzuladen und die Vektoren den einzelnen „ecosystems“ über „search queries“ zuzuordnen. „Search queries“ sind frei definierbare Suchabfragen, mit denen auch eine grosse Anzahl von Daten samt ihren Attributen komfortabel aus der VNS-Datenbank abgefragt werden kann. Die „rules-of-nature“ bestimmen die Lage und Verteilung der „ecosystems“ über einstellbare

Parameter. Diese Parameter umfassen die minimale und maximale absolute Höhe und Neigung, die Exposition sowie die „relative elevation“. Diese bezeichnet die Exponiertheit des Geländes und erlaubt es, z.B. Vegetation nur in Senken, Nischen und Tiefenlinien oder auf Kuppen und Gipfeln wachsen zu lassen. Jedem „ecosystem“ lassen sich eigene „rules-of-nature“ zuweisen. Dies erlaubt eine sehr feine und naturgetreue Steuerung der Vegetation, beispielsweise durch Festlegung der Bestandsdichte der Vegetation in der virtuellen Landschaft.

- Einzelobjekte – foliage effects: Auch vereinzelt stehende Objekte wie Bäume, Büsche etc. lassen sich in einer virtuellen Landschaft platzieren. Über „foliage effects“ wird das Erscheinungsbild der Einzelobjekte beschrieben.
- Gewässer, Himmel, Klimaeinflüsse: Fluss- und Bachläufe in der virtuellen Welt lassen sich mit Hilfe des „stream-editors“ mit virtuellem Wasser, der Struktur des Flussbetts und gewässerbegleitender Vegetation versehen. Gewässer stellen, auf Grund ihrer Reflexionseigenschaften, eine besondere Herausforderung an die fotorealistische Landschaftsvisualisierung dar und haben in jüngster Zeit deutliche Verbesserungen erfahren. Zuletzt wird ein Himmel eingefügt, dessen Farbe, Dunst und Bewölkung dem entsprechenden Klima der jeweils darzustellenden Raum- und Zeitsituation angepasst wird. Bei Bedarf ist die Darstellung von Schnee über den „snow effect“ möglich. Dessen Steuerung erfolgt über entsprechend adaptierte „rules-of-nature“ der jeweiligen „ecosystems“.



Abb. 1: Die Landschaft der heutigen Haßberge im Mittelmiozän

4 Landschaftsvisualisierungen zur Rekonstruktion von Paläolandschaften – Eine Zeitreise in Bildern am Beispiel der Schichtstufenlandschaft der Haßberge

4.1 Landschaftsentwicklung

Schichtstufen sind als weit verbreitete, landschaftsprägende Reliefform Gegenstand von zum Teil kontroversen Diskussionen (BEYER u. SCHMIDT 2003). Dies gilt auch für die Reliefgenese der Haßberge, zu der mehrere morphologische und geologische Arbeiten vorliegen (BÜDEL 1957; SPÄTH 1973; RUTTE u. WILCZEWSKI 1983; SEMMEL 1996; MÜLLER 1996; BOLDT 2001), auf die sich die vorgestellte Rekonstruktion stützt. Ohne an dieser Stelle die umfassende Genese dieser Keuperschichtstufe wiedergeben zu wollen, dient als Grundlage der Visualisierung folgende Arbeitshypothese: In einer ersten Phase, in der die Verhältnisse im Tertiär wiedergegeben sind, wird von einer „weitgehend undifferenzierten Flächenbildung“ unter tropoidem Klima ausgegangen, die bis ins ausgehende Mittelmiozän wirksam war (Abb. 1, bzw. Abb. 3-1 auf der CD).

In der Folgezeit wurde das Klima trockener und kühler. Der fortschreitenden Aridisierung und der damit einhergehenden rampenartigen Überarbeitung der Hänge entspricht in einer sogenannten „finalen“ Gäuflächenphase im Unterpliozän eine weitere „Reliefgeneration“ (Abb. 2, bzw. Abb. 3-2 auf der CD; Abb. 3, bzw. Abb. 3-3 auf der CD).



Abb. 2: Die Landschaft der heutigen Haßberge im Obermiozän



Abb. 3: Die Landschaft der heutigen Haßberge im Pliozän.

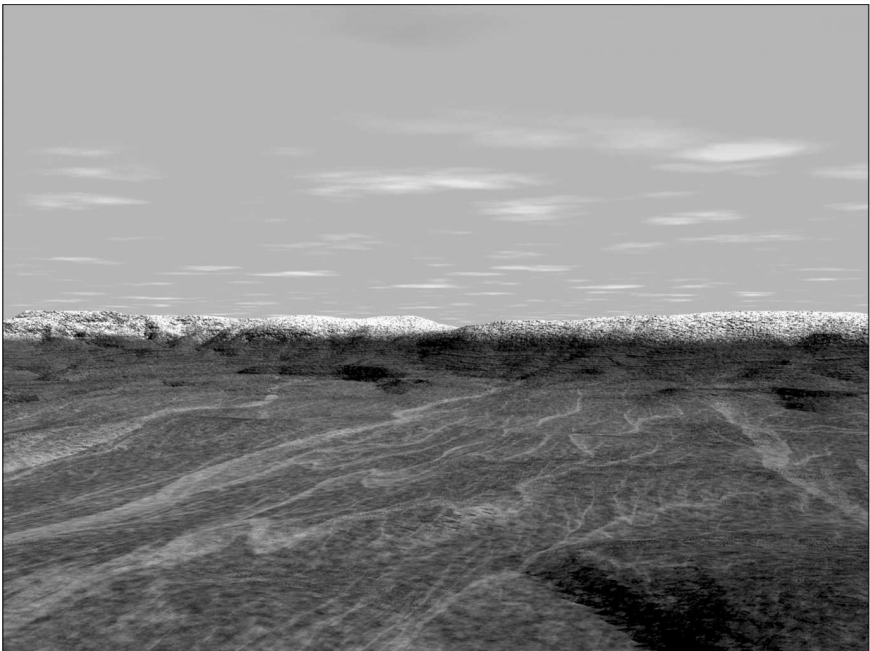


Abb. 4: Die Landschaft der heutigen Haßberge im späten Pleistozän. (=Abb. 3-4 auf CD)

Im Quartär erfuhr das Gebiet unter periglazialen Bedingungen weitere im Sinne des Wortes einschneidende Veränderungen durch akzentuierte Talbildungsprozesse.

Abgerundet wird die Zeitreise durch die rezente Zeitscheibe, welche das aktuelle Landschaftsbild zeigt. Auskunft über die entsprechende Vegetation und deren Entwicklung geben u.a. die Arbeiten von OVERBECK (1975), KLINK u. MAYER (1983), RUTTE u. WILCZEWSKI (1983), FRENZEL (1990) sowie LIEDTKE u. HERGET (1999). Die Rekonstruktion orientierte sich ferner an zeitlich und morphologisch vergleichbaren Studien und Darstellungen (u.a. EITEL 2002).



Abb. 5: Die Landschaft der Haßberge heute (= Abb. 3-5 auf der CD)

Sicherlich muss die zugrunde liegende Literaturlage kritisch betrachtet werden, zumal weiter zurückliegenden Zeiträume und Landschaftszustände einer zunehmenden Unschärfe unterliegen.

4.2 Datengrundlage

Ganz entscheidend für das Gelingen der Visualisierung ist die Qualität der zur Verfügung stehenden Datengrundlagen.

Topographische Daten (DGM): Für das Untersuchungsgebiet lag ein DHM mit einer Gitterweite von 50m vor, welches Höhenabweichungen von 2–3m aufwies. Vor allem für die angestrebten Nahansichten genügte diese Unschärfe den hohen Anforderungen an die Genauigkeit nicht. Aus diesem Grund wurde ein eigenes Höhenmodell äußerst zeit- und kostenaufwändig per Hand aus der DGK5 digitalisiert.

Vegetations-, Landnutzungs- und Klimadaten: Als weitere Informations- und Datenquelle für die angestrebte Visualisierung der Landschaftsgenese und Vegetationsentwicklung diente die angesprochene Literatur. Bei fehlender Information zum lokalen Landschaftsbild wurde aus benachbarten Gebieten extrapoliert. Für die Darstellung der spezifischen Paläo-Vegetationsbedeckung wurden auch rezente Gebiete mit ähnlichem Klima miteinbezogen. Bei den Fluss- und Bachläufen wurde analog vorgegangen.

Nutzung und Oberflächenbedeckung: Für die rezente Zeitscheibe konnte auf Vektordaten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) zurückgegriffen werden. Die Vektordaten für das Untersuchungsgebiet umfassten Lage und Ausdehnung von Straßen (Haupt- und Nebenstraßen), Bodenbedeckung (Wald, Acker, Wiese etc), Bebauung sowie hydrographische Informationen (Flüsse, Bäche). Ergänzt wurden diese Informationen durch Luftbilder der Region, die letzten Aufschluss über die rezente Bodenbedeckung gaben. Darüber hinaus wurde die Kenntnis der lokalen Verhältnisse noch durch Ortsbegehungen und entsprechende Fotografien ergänzt.

4.3 Darstellungsform und Format

Als geeignetste Art der Darstellung wurde in der vorliegenden Studie die 3D-Visualisierung in fotorealistischer Qualität gewählt, um maximale Aufmerksamkeit und einen hohen Informationstransport beim Betrachter zu erzielen. Ein Seitenverhältnis von 4:3 mit einem horizontalen Bildwinkel von 45° schien am besten geeignet, um sowohl einen hohen Realitätsgrad als auch eine zufriedenstellende Ausgabe in üblichen Seitenformaten zu erreichen. Die ausgewählten Beispiele stellen nur Momentaufnahmen im Sinne von „Reliefgenerationen“ einer kontinuierlichen Entwicklung dar. Die Ergebnisse können aus den oben beschriebenen Gründen keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit erheben. Es wurde versucht, maximalen Fotorealismus mit einem gerade noch vertretbaren Aufwand auf handelsüblicher Hardware zu erzeugen und die technische Machbarkeit aufzuzeigen.

5 Landschaftsvisualisierungen als Planungsszenarien – Modellierung der Agrarlandschaftsentwicklung in der Schweiz

Fotorealistische Landschaftsvisualisierungen haben sich in jüngster Zeit auch als überzeugendes Darstellungsmittel im Zusammenhang mit Planungsszenarien bewährt und lösen zunehmend die klassischen Fotomontagen ab. Zukünftige Entwicklungen lassen sich damit realitätsnah vermitteln, was vor allem in partizipativen Entscheidungsprozessen ein wesentlicher Vorteil sein kann.

Einer breiten Öffentlichkeit sind wissenschaftliche Resultate, die als Text, in Tabellen und Grafiken präsentiert werden, oft nicht stringent zu vermitteln. So ist der Stimmbürger oder auch der Ausstellungsbesucher nach LEHMKÜHLER (2001) ein passiver, fachlicher Laie, welcher nicht bereit ist, beziehungsweise nicht das Wissen hat, abstrakte Darstellungen zu erfassen. Da der Mensch einen Großteil der Eindrücke visuell wahrnimmt, sind Darstellungen, die sich am realen Erscheinungsbild orientieren und das Vorwissen der Betrachter einbeziehen, die beste Art, um

zukünftige Entwicklungen „vor-Augen-zu-führen“ (LANGE 2001). Diese Technik führt zu sogenannten legendenlosen Karten, die sich der Laie ohne Fachkenntnis erschließen kann. Für Laien ist dabei ein hoher Realitätsgrad anzustreben, wie es mit fotorealistischen Landschaftsvisualisierungen möglich ist.



Abb. 6: Planung Schweiz, Beispiel 1 (= Abb. 3-6 auf der CD)

Mit diesem Verfahren konnten ZGRAGGEN et al. (2005) zeigen, wie die landwirtschaftliche Strukturentwicklung in der Schweiz das Erscheinungsbild der Landschaft verändert. Das „Vor-Augen-Führen“ ist ein wichtiges didaktisches Moment, um bei langwierigen Planungsprozessen frühzeitig für planerische Fragen zu interessieren und zu sensibilisieren.



Abb. 7: Planung Schweiz, Beispiel 2 (= Abb. 3-7 auf der CD)

6 Das Projekt ELmm („Erd- und Landschaftsgeschichte Südwestdeutschlands multimedial“) – ein Beitrag zur multimedialen Vermittlung und Visualisierung landeskundlicher Inhalte

6.1 Zielsetzung und Konzeption von ELmm

ELmm ist das Ergebnis eines Verbundprojektes im Rahmen des Programms „Innovative Projekte in der Lehre“ an den Universitäten des Landes Baden-Württemberg. Die Koordination des Projekts und Pflege der online-Lernmodule liegt beim Institut

für Physische Geographie der Universität Freiburg. ELmm entwickelt multimediale webbasierte Lerneinheiten zur Erd- und Landschaftsgeschichte Südwestdeutschlands für verschiedene geowissenschaftliche Studiengänge. Sie vermitteln ein Verständnis der wichtigsten erd- und landschaftsformenden Prozesse an ausgewählten Beispielen. Die Themen von ELmm lassen sich in drei große Bereiche untergliedern:

1. Methodische Grundlagen (Zeitvorstellung, Raumorientierung),
2. Geologisch-physiogeographischer Bereich (Geologie, Geomorphologie, Vegetationsgeographie),
3. Historisch-kulturgeographischer Bereich (Siedlungsgeographie, Historische Geographie).

Ziel des Einsatzes „neuer Medien“ in ELmm ist vor allem die Visualisierung von natürlichen und vom Menschen verursachten raumprägenden Prozessabfolgen. Graphisch aufbereitete Darstellungen, Animationen, interaktive Karten sowie begleitende Übungen und Tests sollen zu einem verbesserten Verständnis der komplexen Zusammenhänge in unserer Umwelt beitragen. Charakteristisch für ELmm sind raumbezogene Verknüpfungen der Darstellung von Prozessen und des dazugehörigen Erscheinungsbilds in der Landschaft im Sinne von virtuellen Exkursionen.

Wesentliche Elemente der didaktischen Struktur, so z.B. die Modularisierung, verschiedenartige Zugänge (Guided Tour, freie Navigation) sowie die Navigationselemente beruhen auf der bereits erfolgreich eingesetzten Konzeption von WEB-GEO, einem Verbundprojekt zur Entwicklung von Lernmodulen zur Physischen Geographie. Für die Visualisierung werden in ELmm zusätzlich vor allem Satellitenaufnahmen, topographische und thematische Karten sowie auf 3D-Basis beruhende Animationen eingesetzt.

6.2 Beispiele zu Lernmodulen von ELmm

6.2.1 Modul „Mesozoikum in Südwestdeutschland“ (Teilbereiche Geologie und Geomorphologie)

In Südwestdeutschland finden sich 186 Mio. Jahre Erdgeschichte auf weniger als 36.000 km². Hauptteil des Moduls ist eine spezielle Navigationsstruktur, die das Verständnis der komplexen Problematik des mesozoischen Schichtstapels erleichtern soll. Zur Bearbeitung stehen vier Blickrichtungen: Paläogeographie, Stratigraphie, Verbreitung und heutiges Landschaftsbild. Der Lernende hat zwei Möglichkeiten: er kann sich entweder für einen Aspekt (z.B. Paläogeographie) entscheiden und die Entwicklung über die Zeit hinweg verfolgen, oder er wählt einen Zeitraum (z.B. Jura) und erarbeitet sich diesen unter den vier Aspekten.

6.2.2 Modul „Stadtentwicklung Freiburg“ (Teilbereich Siedlungsgeographie und Historische Geographie)

Die Entwicklung der Stadt Freiburg ist exemplarisch für viele mittelalterlichen Städte. Schwerpunkt ist eine interaktive Zeitauswahl, anhand derer das Wachstum der Stadt in definierten Phasen erarbeitet werden kann. Dabei verändert sich nicht nur der Stadtplan, vielmehr sind nach Interesse und Bedarf individuell Zusatzinformationen zuschaltbar. Das Modul ist ein Beispiel der zahlreichen Möglich-

keiten zur Aufarbeitung von Karten, die nicht nur für die räumliche Orientierung, sondern insbesondere als Grundlage für die Darstellung räumlicher und zeitlicher Veränderungen gesehen werden müssen.

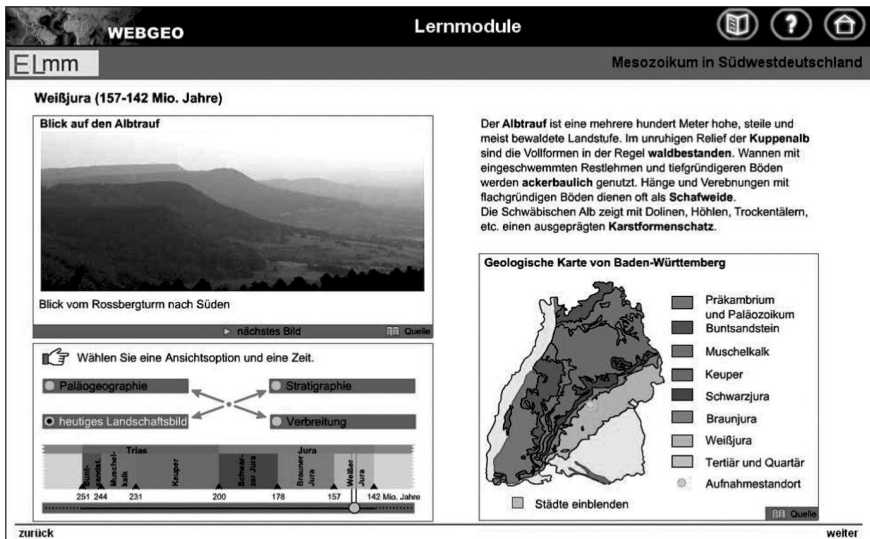


Abb. 8: Screenshot aus dem ELmm-Modul „Mesozoikum in Südwestdeutschland“ (= Abb. 3-8 auf der CD)

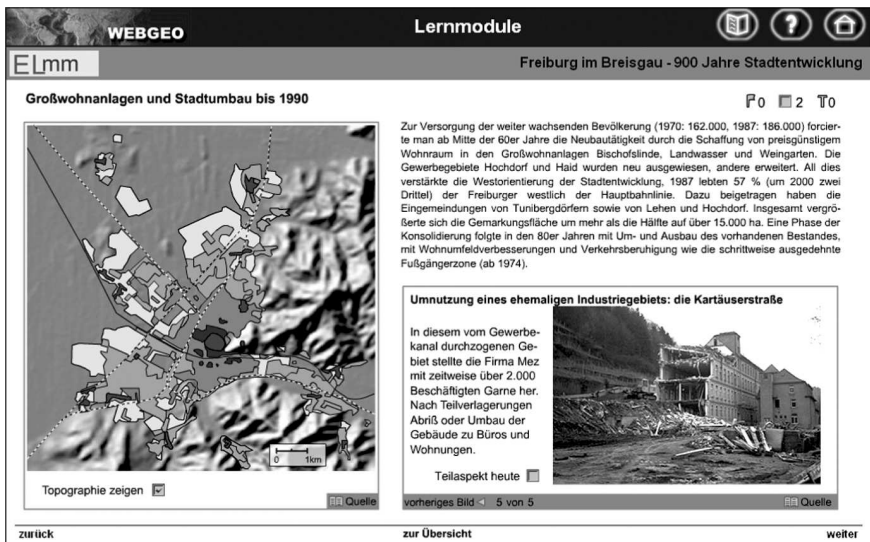


Abb. 9: Screenshot aus dem ELmm-Modul „Stadtgeschichte Freiburg“ (= Abb. 3-9 auf der CD)

6.3 Einsatz von ELmm und Ausblick

Die Module von ELmm sind im Internet für alle Interessierten frei verfügbar. Aufgrund der engen konzeptionellen Verwandtschaft mit WEBGEO sind die ELmm-Module über das WEBGEO-Portal (www.webgeo.de) erreichbar. Der Einsatz an der Hochschule erfolgt als Ergänzung zur Präsenzlehre in Vorlesungen und Seminaren. Die Module dienen zudem den Studierenden zur selbständigen Vorbereitung bzw. Nachbereitung von Lehrveranstaltungen und Prüfungen. Auf längere Sicht ist eine Zusammenarbeit mit der touristischen Bildungsarbeit geplant, indem Module für die besucherorientierte Landschaftsinterpretation aufbereitet werden.

7 Warum virtuelle 3D-Welten? – eine Diskussion

7.1 Was bieten virtuelle 3D-Welten letztendlich?

Der Einsatz von 3D-Visualisierungen nimmt immer breiter werdenden Raum ein. Für den langfristigen Erfolg einer neuen Technologie muss neben der technischen Machbarkeit aber auch der tatsächliche Nutzen hinterfragt werden.

Es gibt eine ganze Reihe von Gründen, die für den Einsatz von 3D-Visualisierungen in allgemeinem Kontext, speziell aber in Fragen der vergangenen wie künftigen Landschaftsentwicklung sprechen. 3D-Ansichten ermöglichen ein besseres Verständnis räumlicher Zusammenhänge. Die Form der Erdoberfläche, Abschattungseffekt, Luv-Lee-Lagen usw. sind besser vermittelbar als in traditionellen 2D-Darstellungen. Auf einen Blick können zudem Richtung, Distanz und Topographie mit hohem Detailgrad im Nahbereich und generalisierter Information im Fernbereich visualisiert werden. Betrachtungsstandort und -richtung sind frei wählbar. 3D-Geovisualisierungen können sowohl ein symbolisiertes kartographisches aber auch ein fotorealistisches Abbild der Realwelt sein. Sinne und Auffassungsvermögen des Menschen können so besser angesprochen werden. Gerade bei der Darstellung raum-zeitlicher Prozesse kommt die menschliche Vorstellungskraft an ihre Grenzen und bedarf zu einem raschen Verständnisgewinn der Unterstützung. Besonders, wenn man wie im Beispiel der Haßberge eine Landschaft über einen Zeitraum von Millionen Jahren rekonstruieren möchte, der jenseits der Erfahrungswelt des Menschen steht.

Ein weiterer Vorteil der 3D-Visualisierung gegenüber klassischen Darstellungen ist die Möglichkeit der Interaktion. Objektgeometrien können modifiziert werden, Darstellungsparameter lassen sich immer wieder ändern bis hin zum Durchwandern einer Landschaft.

Für die Geographie von besonderem Interesse ist natürlich die GIS-Funktionalität und GIS-Kompatibilität der Visualisierungsprogramme. Haben in der Vergangenheit einige Autoren wie z.B. DOBLER (2002) die mangelnden Schnittstellen zwischen GIS-Software und Software zum Landschaftsrendering angeführt, so ist heute ein einfaches Arbeiten mit den aktuellen Produkten möglich. Der Im- und Export von Daten bei den in den Beispielen verwendeten Programmen ArcView 3.3 und VNS 2 ist problemlos ohne großen Qualitäts- und Zeitverlust möglich. Durch die Autoimportfunktion für GIS-Daten in VNS 2 wurde eine gute Verzahnung erreicht, die jede Änderung im GIS ohne Aufwand in den Renderer importiert.

Technische Machbarkeit und ihre Durchsetzung auf breiter Front sind Voraussetzung für die Etablierung der Visualisierungstechniken. Heute reichen bereits handelsübliche PCs mit einfachen OpenGL-basierten Grafikkarten aus, um Anwendungen zur Geovisualisierung ablaufen zu lassen. Spezielle Grafik-Workstations sind nur selten erforderlich. Auch rechenaufwändige Effekte wie reflektierendes Wasser, lichtstreuende Atmosphäre oder Licht-Schatteneffekte sind in VNS inzwischen sehr gut und realistisch implementiert.

7.2 Geovisualisierung – Grenzen und Herausforderungen

Die genannten Gründe sprechen für einen verstärkten Einsatz von Visualisierungstechniken. Dennoch sind zum heutigen Zeitpunkt noch einige Rahmenbedingungen zu beachten, die dieser Zielsetzung widersprechen.

Im Bereich der Softwareentwicklung wäre eine schnelle, intuitive Bedienung mit kürzerer Einlernzeit wünschenswert. Momentan ist die Erstellung virtueller Landschaften noch sehr aufwändig und umständlich. Viele Effekte können nur durch Trial-and-Error-Verfahren erzielt werden.

Auch die Beschaffung der für die 3D-Szenen benötigten Daten kann im Einzelfall aufwändig sein. In Deutschland sind z.B. DHM-Daten und ATKIS-Daten sehr teuer. Oft liegen die Datensätze nicht in der erwünschten Qualität vor und müssen nachbearbeitet, in der Auflösung geändert oder ergänzt werden.

Allein die Verfügbarkeit der benötigten Daten sowie leistungsfähige Hard- und Software muss nicht immer gleich zu guten Visualisierungen führen. Michael FRIENDLY (1999) stellt dazu fest: „Like good writing, good graphical displays of data communicate ideas with clarity, precision, and efficiency. Like poor writing, bad graphical displays distort or obscure the data, making it harder to understand or compare.“ Insofern sagt ein Bild nicht per se „mehr als hundert Worte“. Der kritische Betrachter wird immer wieder auf schwer verständliche, wenig aussagekräftige oder auch falsche Darstellungen stoßen. Insofern ist die Beachtung (erweiterter) kartographischer Grundsätze auch für den Aufbau interaktiver 3D-Visualisierungen unabdingbar.

Diskutiert werden sollte auch die Darstellung der Ergebnisse in Standbildern. 3D-Visualisierung in fotorealistischer Qualität erweckt zwar eine maximale Aufmerksamkeit und einen hohen Informationstransport beim Betrachter, muss aber kritisch gesehen werden (vgl. APPLETON u. LOVETT 2003 oder LANGE 2001). Eine detailreduzierte, didaktisch aufbereitete Darstellung führt in der Regel zur Konzentration auf das Wesentliche, verringert die Ablenkung und sorgt daher für einen besseren, effizienteren Informationsfluss. Die Frage der geeigneten Darstellungsformen ist noch Gegenstand der Forschung. Unbestritten ist jedoch die Gefahr der Manipulation des Betrachters. Je (vermeintlich) realistischer eine Darstellung wirkt, desto mehr Glaubwürdigkeit und Wahrheit wird ihr beigemessen (vgl. HEARNshaw u. UNWIN 1994).

Echtzeit-Darstellungen geometrischer Objekte sind in vielen Fachbereichen inzwischen „state-of-the-art“. Die Modellierung von dreidimensionaler Vegetation in Echtzeit stößt allerdings immer noch, trotz ständig leistungsfähiger werdender Hardware, an Grenzen. So ist die ausgewählte Software VNS 2 nur in der Lage, Standbilder auszugeben oder eine Animation zu erzeugen, die einen Kameraflug

entlang eines vorgegebenen Pfades zeigt. Animationen mit einer kontinuierlichen Änderung gewisser Parameter wie z.B. Schneegrenzen, Wasserstände oder Vegetationsfarben sind möglich. Eine solche Animation ist aber in einer den Standbildern vergleichbaren Qualität mit vertretbarem Aufwand kaum möglich und gelänge nur bei reduzierter Auflösung, welche wiederum die Qualität beeinträchtigt. Hier liegen also durchaus Grenzen der Visualisierung.

Designierte Echtzeitrenderer haben derzeit das Problem, nur eine eingeschränkte Darstellungsqualität zu liefern oder wie im Fall der Game-Engines (Software zur Erstellung von Computerspielen) untauglich für wissenschaftliche Anwendungen zu sein. Größtes, aber entscheidendes Manko von Game-Editoren ist – zumindest bislang – die Tatsache, dass sich lediglich Phantasielandschaften erstellen lassen. Der Import von realen DTMs oder gar GIS-Daten ist bisher nicht möglich. Die Entwicklung leistungsfähigerer Systeme ist aber sicher nur noch eine Frage der Zeit. In Zukunft könnten Game-Engines aufgrund der weiten Verbreitung eine Alternative zu teurer Visualisierungs-Software werden und ggf. mit entsprechenden Produkten verschmelzen.

Ein Blick auf das noch im Beta-Stadium befindliche Projekt „Lenné3D“ und auf den Pflanzenmodellierer „Xfrog“ zeigt, was in Zukunft zu erwarten sein wird. Erste Produkte wie das 2005 gestartete „Google Earth“ deuten auch schon auf eine Massentauglichkeit dieses Mediums hin.

Was bei Visualisierungsprojekten allerdings nie außer Acht gelassen werden sollte, ist der Kostenfaktor. Die Erstellung solcher qualitativen Szenarien ist zeit-, personen- und kostenintensiv. Vor Arbeitsbeginn sollte eine genaue Planung von der Beschaffung des Datenmaterials, der Verarbeitung bis hin zum gewünschten Ergebnis erfolgen, um das Kosten-Nutzen-Verhältnis abschätzen zu können.

8 Fazit

Die Geographie hat durch die digitalen Medien und Techniken vielfältig nutzbare Tools an die Hand bekommen, um sowohl fachwissenschaftliche Inhalte etwa zur Landschaftsogenese didaktisch stringenter aufzuarbeiten, wie im Bereich des E-Learnings bereits vielfach geschehen. Es bietet sich die Möglichkeit, Szenarien im Rahmen von Planungsvorhaben bürgerfreundlich zu visualisieren und Planungsverfahren damit zu erleichtern. Breiten Raum nehmen auch touristische Präsentationen und virtuelle Exkursionen ein.

Dabei ist nicht nur die verwendete Technik, sondern auch der visualisierte Zeitraum noch erweiterbar. Zeigen viele Arbeiten nur den vielleicht planerisch interessanten Blick in die nahe Zukunft, so kann, wie im Beispiel Haßberge belegt, der landschaftsogenetische interessante Rückblick auf Abläufe vieler Millionen Jahre gerichtet werden.

Neben der fachwissenschaftlichen und didaktischen Richtigkeit und Integrität ist auch die Entwicklung und Analyse neuer digitaler Räume von besonderem Interesse, wie sie in den Filmwelten bereits Realität geworden sind. Die Geographie sollte dieses Medium weit stärker nutzen und vor allem Kriterien, Anforderungen und Standards – ähnlich den Konventionen in der Kartographie – mit entwickeln, nach denen digitale Räume und virtuelle Landschaften gestaltet werden können.

Dies muss sich neben technischen vor allem auf inhaltliche Aspekte beziehen. Zu deren Festlegung besteht ein Kenntnisdefizit, das nur durch entsprechende Forschungsvorhaben behoben werden kann. Und gilt darüber hinaus vor allem auch für die Oberflächenstrukturen und Texturen. Eine Visualisierung fällt in den Fällen besonders schwer, in denen die fachwissenschaftliche Kenntnislage lückenhaft oder gar kontrovers ausfällt. Teilweise stützen sich die Aussagen nur auf Vermutungen und Annahmen oder interpolieren über größere Räume hinweg, bleiben also weitgehend spekulativ. Wenn zum Beispiel in der Literatur die Entwässerungsrichtung mit Nord-Süd angegeben ist, mag diese Aussage zwar richtig sein, lässt aber weiten Interpretationsspielraum für die konkrete Umsetzung. Insofern stellen die Ausarbeitungen einen subjektiven Blick auf die Vergangenheit dar, die einer kritischen Hinterfragung bedürfen

Visualisieren heißt daher auch „Farbe bekennen“. Textliche Unschärfen müssen dabei auf den Punkt gebracht werden. Visualisierung kann deshalb auch zu einer Qualitätssteigerung wissenschaftlicher Untersuchungen beitragen und dient damit bei weitem nicht nur der Darstellung von Forschungsergebnissen und von Planungsvorhaben.

Die Geographie muss es als klassische Raumwissenschaft schaffen, auch Kompetenzen für die neuen, digitalen Räume zu erlangen.

9 Literatur

- APPLETON, K. u. A. LOVETT 2003: GIS-based visualisation of rural landscapes: defining 'sufficient' realism for environmental decision-making. In: *Landscape and Urban Planning* 65, 3, S. 117–131.
- BECK, M. 2003: Virtuelle Geoinformationssysteme – Grundlagen und Anwendungsszenarien mit Terra View. In: ASCHE, H. u. C. HERRMANN (Hrsg.): *WebMapping 2*. Heidelberg, S. 133–143.
- BERTUCH, M. u. C. A. LOEWE 2005: Welten schaffen. In: c't 12/2005, S. 156–163.
- BEYER, I. u. K.-H. SCHMIDT 2003: Schichtstufenlandschaften. In: LIEDTKE, H., R. MÄUSBACHER u. K.-H. SCHMIDT (Hrsg.): *Relief, Boden und Wasser*. Heidelberg, S. 84–87. (= *Nationalatlas der Bundesrepublik Deutschland*, Bd. 2)
- BILL, R. 1999a: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*, Band 1. Heidelberg.
- BILL, R. 1999b: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*, Band 2. Heidelberg.
- BOLDT, K.-W. 2001: Känozoische Geomorphogenese im nordöstlichen Mainfranken. Würzburg (= *Würzburger Geographische Arbeiten* 96).
- BRATT, S. u. B. BOOTH 2000: Using ArcGIS 3D Analyst. ArcGIS 8. Redlands.
- BREMER, H. 1971: Flüsse, Flächen- und Stufenbildung in den feuchten Tropen. Würzburg (= *Würzburger Geographische Arbeiten* 35).
- BREMER, H. 1989: *Allgemeine Geomorphologie*. Berlin.
- BREMER, H. 1995: *Boden und Relief in den Tropen*. Berlin.
- BRENNER, C. u. T. KOLBE 2005: Neue Perspektiven. Wie 3D Stadtmodelle erstellt und verwendet werden. In: c't, 15/2005, S. 106–111.
- BÜDEL, J. 1957: *Grundzüge der klimamorphologischen Entwicklung Frankens*. Würzburg.
- BUHMANN, E. u. S. ERVIN (Hrsg.) 2001: *Trends in Landscape Modeling*. Heidelberg.
- DECH, S., R. MESSNER, R. GLASER u. P. MÄRTIN 2005: *Berge aus dem All*. München.
- DOBLER, M. 2002: *Visualisierung Mount Hood*. Diplomarbeit Vermessungsingenieur, ETH Zürich. Zürich.
- EITEL, B. 2002: *Flächensystem und Talbild im östlichen Bayerischen Wald (Großraum*

- Passau-Freyung). In: RATUSNY, A. (Hrsg.): *Flußlandschaften an Inn und Donau*. Passau, S. 19–34 (= Passauer Kontaktstudium Erdkunde, 6).
- FRENZEL, B. 1990: Die Vegetationsentwicklung im Eiszeitalter. In: LIEDTKE, H. (Hrsg.): *Eiszeitforschung*. Darmstadt, S. 69–90.
- FRIENDLY, M. 1999: Extending Mosaic Displays: Marginal, Conditional, and Partial Views of Categorical Data. In: *Journal of computational and graphical Statistics* 8, 3, S. 373–395.
- GEIER, B.; K. EGGER u. A. MUHAR 2001: Integrierte 3D-Visualisierungs-Systeme für die Landschaftsplanung: Konzepte und Marktrealität. In: SCHRENK, M. (Hrsg.): *Computergestützte Raumordnung – Beiträge zum 6. Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der und für die Raumplanung – CORP2001*. Wien, S. 231–235.
- GLEICH, C. 2005: Schöpferische Kräfte. In: *c't*, 12/2005, S. 164–175.
- HEARNSHAW, H. u. D. UNWIN (Hrsg.) 1994: *Visualisation in Geographical Information Systems*. Chichester.
- HOFSCHEIDER, J. 2004: Visual Criteria in Detail – Correlation between the required level of detail of 3D-landscape visualisations and the readability of visual criteria. Zürich.
- JESSEL, B., P. HÜFTLE-FISCHER, D. JENNY u. A. ZSCHALISCH 2003: Erarbeitung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen für Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes. Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 89982130 des Bundesamtes für Naturschutz. Bonn (= *Angewandte Landschaftsökologie* 53).
- JUNG, M. 2005: *Zeitreise in Bildern – 3D Visualisierung mit Visual Nature Studio*. Diplomarbeit am FB Geographie der Uni Heidelberg. Heidelberg.
- KLINK, H.-J. u. E. MAYER 1983: *Vegetationsgeographie*. Braunschweig.
- LANGE, E. 2001: The limits of realism: perceptions of virtual landscapes. In: *Landscape and Urban Planning* 54 (1–4), S. 163–182.
- LEHMKÜHLER, S. 2001: Landscape planning and visualisation – World Construction @ Frankfurt. In: SCHRENK, M. (Hrsg.): *Computergestützte Raumordnung – Beiträge zum 6. Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der und für die Raumplanung – CORP2001*. Wien, S. 237–244.
- LIEDTKE, H. u. J. HERGET 1999: Eiszeitforschung in Mitteleuropa heute. In: *Geographische Rundschau* 51, 1, S. 12 – 17.
- MÜLLER, J. 1996: Grundzüge der Naturgeographie von Unterfranken. *Landschaftsökologie – Landschaftsgenese – landschaftsräumlicher Vergleich*. Gotha.
- OVERBECK, F. 1975: *Botanisch-geologische Moorkunde*. Neumünster.
- RUTTE, E. u. N. WILCZEWSKI 1983: *Mainfranken und Rhön*. Berlin (= *Sammlung Geologischer Führer*, 74).
- SCHÄFER, R., F. HÖCHTL u. A. REINBOLZ 2005: *Fantastische Landschaften – zur Rolle der Landschaft im Film „Der Herr der Ringe – Die Gefährten“*. Freiburg (= *Culterra*, 42).
- SEMMELE, A. 1996: *Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland*. Stuttgart (= *Erdkundliches Wissen*, 30).
- SPÄTH, H. 1973: Morphologie und morphologische Probleme in den Haßbergen und im Coburger Land. Würzburg (= *Würzburger Geographische Arbeiten*, 39).
- SPÄTH, H. 1976: Die Reliefgenerationen der Haßberge und des Coburger Landes. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F. 20, S. 448–467.
- www.geoinformation.net (Stand: 30.10.2005).
- www.webgeo.de (Stand: 30.10.2005).
- ZEH, M. 2001: Photorealistische 3D-Visualisierung am Beispiel der spät- und postglazialen Landschafts- und Vegetationsentwicklung im Südschwarzwald. Diplomarbeit am Fachbereich Geographie der Uni Heidelberg. Heidelberg.
- ZGRAGGEN, K., C. FLURY, M. JUNG u. P. RIEDER 2005: Agrarpolitik 2011 – verharren, liberalisieren oder sparen? In: *AGRARForschung* 12, 4, S. 156–161.