

Visualisierung und Analyse dynamischer Geodaten am Beispiel von Schiffsbewegungen in begrenzten Fahrwassern

INGRID JAQUEMOTTE, Oldenburg

Keywords: Geoinformatics, 3D computer graphics, visualization, virtual environments, vessel motion

Abstract: *Visualization and analysis of dynamic geographic information, here of vessel motion in restricted waterways.* Nowadays computer graphics provides a great variety of software products for visualizing and analyzing three-dimensional information. Recent developments in the fields of computer games and animation generate new applications in sciences, which are capable to handle both static scenes and dynamic processes in 3D. Examples are aviation, climatology and 3D city modeling.

The following article discusses different ways of visualizing and analyzing dynamic geographical data such as precise measurements of position and orientation of a moving vessel. Different solutions, evaluated within several student projects, will be compared.

Zusammenfassung: Die Computergrafik liefert heute eine Vielzahl von Softwareprodukten zur Visualisierung und Analyse dreidimensionaler Informationen. Jüngste Entwicklungen aus dem Bereich der Computerspiele und Animationen führen auch im wissenschaftlichen Bereich zu neuen Anwendungen, die neben statischen Szenen auch dynamische Vorgänge im 3D-Raum verarbeiten können. Beispiele dafür findet man in der Luftfahrt, der Klimaforschung oder auch in Teilbereichen der 3D-Stadtmodellierung.

Der folgende Beitrag diskutiert verschiedene Möglichkeiten der Visualisierung und Analyse dynamischer Geodaten am Beispiel hochpräziser Messdaten zur Schwimmelage von Seeschiffen. Dazu wurden im Rahmen mehrerer studentischer Projekte verschiedene Lösungsansätze getestet, die hier vergleichend dargestellt werden sollen.

1 Einführung

Als Beispiel für eine komplexe räumlich-zeitliche Fragestellung dienen Naturmessungen zur Schwimmelage eines fahrenden Schiffes. An der Fachhochschule Oldenburg wird seit 1998 das Schwimmverhalten von Seeschiffen im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte untersucht. Von Interesse sind dynamische Veränderungen des Tiefgangs und dabei insbesondere das „Einsinken“ eines Schiffes im eigenverursachten Wellensystem, der sog. Squat (REINKING & HÄRTING 2002).

Eine ganze Reihe von Einflussfaktoren für dieses Phänomen wurde bereits identifiziert, primär die Geschwindigkeit und die Unterkielfreiheit des Schiffes, aber auch die Breite eines Gewässers und geomorphologi-

sche Strukturen der Flusssohle. Nicht bekannt ist bisher aber, welche Größe Sohlstrukturen erreichen müssen, um das Squatverhalten von Seeschiffen zu beeinflussen, und welche Rolle spezielle Oberflächenformen der Sohle (z. B. Barren oder Riffel) spielen. Um solche Effekte näher untersuchen zu können, sollen die Bewegungen eines Schiffes über der Flusssohle am 3D-Modell simuliert und analysiert werden. Detaillierte Oberflächendaten für die Fahrrinne sind mit einer Gitterweite von 1–2 m bei den Wasser- und Schifffahrtsbehörden verfügbar. Informationen zu Position und Orientierung des Schiffes werden mit Hilfe spezieller GPS-Verfahren im Sekundentakt und mit cm-Genauigkeit ermittelt. Bisher wurden diese Daten i. d. R. mit Hilfe von Diagrammen ausgewertet, in denen z. B. das Eintauchen des



Abb. 1: Seeschiff auf Revierfahrt.

Schiffes gemeinsam mit der Geschwindigkeit oder der Unterkieflfreiheit dargestellt wurde. Die Unterkieflfreiheit wurde allerdings nicht flächenhaft unter dem gesamten Schiffsrumpf ermittelt, sondern jeweils nur in einem Punkt. Bei einer Schiffsgröße von $200\text{ m} \times 30\text{ m}$ und mehr sind Rückschlüsse auf die Wirkung unterschiedlicher Sohlstrukturen auf das fahrende Schiff aber nur in begrenztem Maß möglich.

Damit in Zukunft die vorhandenen, detaillierten Messergebnisse in ihrem vollen Informationsgehalt genutzt werden können, sollen Methoden aus der Computergrafik eingesetzt werden. Die ausgewerteten Naturmessungen sollen so aufbereitet werden, dass der Wissenschaftler mit dem dynamischen 3D-Modell interagieren und die natürlichen Abläufe gezielt analysieren kann. Dazu soll weitgehend Standardsoftware eingesetzt und der Programmieraufwand weitestgehend begrenzt werden.

2 Modellierung mit verschiedenen Grafiksystemen

Zunächst wurde ein Anforderungsprofil erstellt, auf dessen Grundlage verschiedene Grafiksysteme vergleichend untersucht wurden. Die folgenden Aufgaben sollten gelöst werden:

- Oberflächenmodellierung der Flusssohle,
- 3D-Modellierung des Schiffes,
- Darstellung der Schiffsbewegungen in Form einer Animation,
- Analysen im 3D-Raum,
- Interaktion am dynamische 3D-Modell.

Aus der Vielzahl unterschiedlicher Grafiksysteme wurden zunächst drei mit sehr unterschiedlichen Zielsetzungen ausgewählt und getestet:

- Anwendersysteme zur 3D-Animation und -Visualisierung,
- ein programmierbares 3D-Grafikpaket,
- ein CAD-System mit Zusatzprogramm zur Geländemodellierung.

2.1 Anwendersysteme zur 3D-Animation und Visualisierung

Getestet wurden *Alias Maya 3D* (inzwischen *Autodesk*) und *Autodesk 3ds max*, beides professionelle Programme zur Erstellung von 3D-Animationen. Grafikprogramme dieser Art werden vor allem zur visuellen Nachbearbeitung von Filmen, für Computerspiele, interaktive Medien, aber auch zur technischen Visualisierung eingesetzt. Sie bieten vielfältige Möglichkeiten zur interaktiven Modellierung, Manipulation und Animation sowie eine hohe Darstellungsqualität.

Das Erzeugen von Oberflächenmodellen aus Einzelpunkten ist zwar grundsätzlich möglich, lieferte aber für die hier verwendeten Flussdaten kein befriedigendes Ergebnis. Eine bereits triangulierte 3D-Oberfläche kann im DXF-Format importiert werden, Schwächen zeigen sich allerdings beim Einlesen der hier anfallenden großen Datenmengen (bis zu 500.000 Höhenpunkte/Flusskilometer). Auch der Einsatz geodätischer Koordinatensysteme wie Gauß-Krüger oder UTM ist problematisch, weil der Modellraum immer auch den Ursprung des Koordinatensystems enthält. Eine gezielte Manipulation des Schiffsmodells auf der Basis gemessener Bewegungen konnte zwar mit Hilfe von Makros realisiert werden, die Erstellung solcher Routinen ist aber aufwändig und wenig benutzerfreundlich. Geometrische Analysen sind in diesen Anwendersystemen generell nicht vorgesehen. Dagegen kann der Benutzer die Ansicht des dynamischen 3D-Modells komfortabel interaktiv steuern. Ein Export als VRML-Datei ist ebenfalls möglich, so dass ein einmal erstelltes dynamisches Modell in einem geeigneten Browser oder Viewer betrachtet werden kann.

Die Stärke von Visualisierungssystemen dieses Typs liegt vor allem in der interakti-

ven Modellierung und Manipulation und weniger in der geometrisch exakten Darstellung und Analyse dynamischer Daten. Die 3D-Modelle für Schiff und Flusssohle sollten daher mit anderen Programmen erstellt werden.

2.2 3D-Grafikbibliothek (OpenGL mit VTK)

Hier wurde das Visualization Toolkit (VTK) gemeinsam mit der Programmiersprache Java eingesetzt. Diese Open-Source-Grafik-Bibliothek stellt leistungsfähige 3D-Modellierungs- und Visualisierungsalgorithmen zur Verfügung. Dazu zählen komfortable Transformationsfunktionen zur präzisen Manipulation von 3D-Objekten (Schiff) sowie Algorithmen zur Berechnung und Darstellung von Animationen in Echtzeit. Die Bibliothek basiert auf OpenGL und bietet dem Nutzer höherwertige Funktionen, die direkt über die jeweils eingesetzte Programmiersprache angesprochen werden können.

Zur Oberflächenmodellierung der Flusssohle steht zwar eine Delaunay-Triangulation zur Verfügung, die Leistungsfähigkeit dieser Routine ist aber auf kleinere Datensätze begrenzt und lieferte für die hier benutzten Testdaten kein zufrieden stellendes Ergebnis. Das Schiff wurde hier stark vereinfacht in Form eines Quaders modelliert. Eine Animation des Schiffes über Grund lässt sich in Echtzeit direkt aus den Positions- und Orientierungsdaten berechnen, wobei die Betrachterposition im dynami-

schen Modell interaktiv angepasst werden kann. Auch die Programmierung von Analysefunktionen wird durch schnelle Grafikroutinen unterstützt, auf die leistungsfähige Sprachen wie C++ zugreifen können.

Grundsätzlich erlaubt dieser „Baukasten“ die Entwicklung eines Analysewerkzeuges für den Squatwissenschaftler, das alle Anforderungen erfüllt. Dazu sind allerdings sehr gute Programmierkenntnisse verbunden mit einem hohen zeitlichen Aufwand erforderlich.

2.3 CAD-System mit Zusatz für die Geländemodellierung

Die Stärke eines CAD-Systems liegt vor allem in der exakten Konstruktion von 3D-Modellen. Moderne Systeme stellen zusätzlich hochwertige Visualisierungstechniken zur Verfügung und bieten die Möglichkeit, eigene Anwendungen in Form von Makros zu entwickeln. Im vorliegenden Projekt wurde MicroStation V8 eingesetzt. Es wurde ergänzt durch das Programm InRoads, das umfassende Funktionen zur Geländemodellierung zur Verfügung stellt und vollständig in die CAD-Umgebung eingebunden wird.

Während das Dreiecksmodell der Flusssohle mit InRoads erstellt wurde, konnte das Schiffsmodell mit MicroStation V8 präzise konstruiert werden (Abb. 2). Die Bearbeitung und Darstellung großer Datenmengen (Flusssohle) wird durch die Software kaum beschränkt, sondern hängt im Wesentlichen von der eingesetzten Hardware

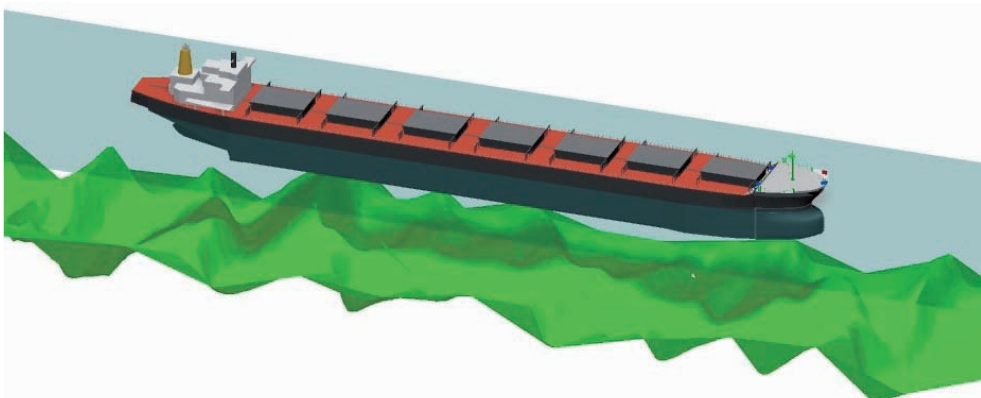


Abb. 2: Nach Originalplänen konstruiertes Schiff im überhöhten Flussmodell.

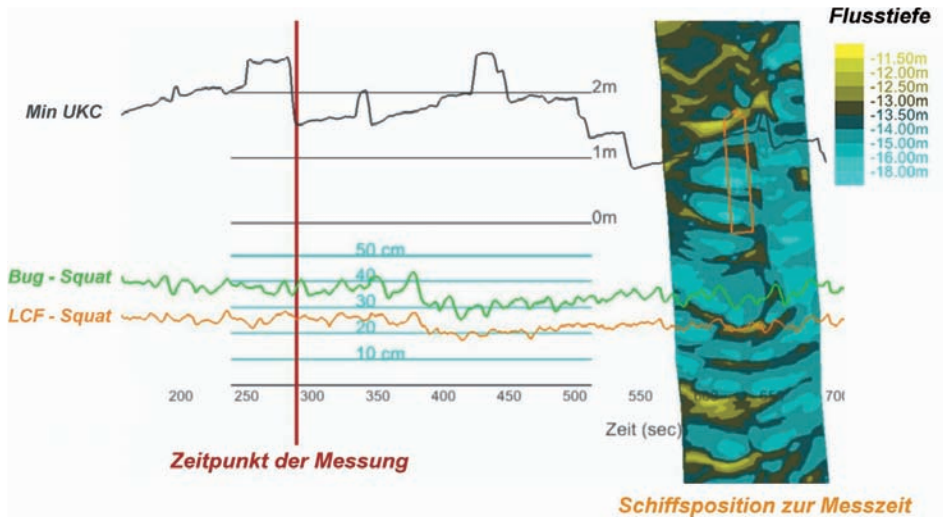


Abb. 3: Animation der Schiffsbewegung im Fluss mit den zugehörigen Squat-Daten.

ab. Die Berechnung der Schiffsbewegungen im Modell wurde auch hier mit Hilfe von Makros realisiert (in diesem Fall Visual Basic für MicroStation), in die viele ProCAD-Funktionen direkt eingebunden werden können. Die Schiffsbewegung wurde in ihrem zeitlichen Ablauf präzise berechnet und animiert, indem für jeden Messzeitpunkt die exakte Schiffslage im Flussmodell als Schlüsselszene generiert wurde.

Zunächst wurde eine perspektivische Ansicht gewählt, in der sowohl Sohlstrukturen als auch Schiffsbewegungen stark überhöht wurden (Abb. 2). An diesem Modell können die Einflüsse verschiedener Sohlstrukturen auf die Schiffsbewegung direkt beobachtet werden. Der Einsatz von Schatten soll dem Betrachter einen besseren Eindruck der Unterkielfreiheit geben.

In einer weiteren Animation (Abb. 3) wurde die Schiffsbewegung im Grundriss dargestellt. Dazu wurde ein stark vereinfachtes Schiffsmodell (eine Ebene, die den Schiffsboden repräsentiert) über einer farb-kodierten Höhendarstellung der Flusssohle bewegt. Synchron dazu zeigt ein Diagramm das Einsinken des Schiffes im Wasserlinienswerpunkt (LCF-Squat) und im Bug (Bugsquat). Diese Darstellung erlaubt Beobachtungen zum Einfluss verschiedener

Sohlstrukturen speziell auf das Einsinkverhalten des Schiffes.

Für ausgewählte Zeitpunkte können punktuelle Messungen direkt im statischen 3D-Modell durchgeführt werden, z. B. zum Abstand zwischen Schiffsrumpf und Flusssohle. Daneben stehen mit InRoads 3D-Analysewerkzeuge aus der Geländemodellierung zur Verfügung, mit denen unter anderem das Wasservolumen unter dem Schiff berechnet werden kann. Eine flächenhafte Bestimmung der Unterkielfreiheit ermöglichen Differenzmodelle zwischen Schiffsrumpf und Flusssohle.

Mit einer Kombination aus CAD-System und Geländemodellierungsprogramm konnten die definierten Anforderungen weitgehend erfüllt werden. Die Entwicklung eines benutzerfreundlichen interaktiven Analysewerkzeuges für Untersuchungen des Squats erfordert allerdings auch hier erheblichen Programmieraufwand.

3 Virtuelle und dynamische Welten

Eine gezielte Beobachtung des Schwimmverhaltens von Seeschiffen am Modell wird erst möglich, wenn der Betrachter die dynamische 3D-Szene aus interaktiv gewählten Betrachterpositionen beobachten kann.

3.1 VRML und X3D

Ein Standard zur Erstellung virtueller Welten ist die Virtual Reality Modeling Language (VRML). Diese Beschreibungssprache orientiert sich stark an HTML, ist textbasiert und plattformunabhängig (ZEPPENFELD 2004). Der endgültige Standard wurde bereits 1997 unter dem Namen VRML97 veröffentlicht und ist immer noch weit verbreitet. Mit Hilfe eines VRML-Browsers kann der Benutzer mit dem 3D-Modell interagieren. Das Format lässt die Zusammenstellung komplexer 3D-Szenen unter Einsatz verschiedener Lichtquellen und Materialien zu. Einzelelemente lassen sich gruppieren und über Szenengraphen gemeinsam weiterverarbeiten. Dynamische Prozesse werden als Animation in die 3D-Welt integriert, wobei Lage, Form oder Farbe einzelner Grafikelemente oder ganzer Gruppen verändert werden können. Der Benutzer löst solche Ereignisse interaktiv aus, z. B. durch einen Mausklick auf ein Element.

Heute sind die meisten 3D-Grafikprogramme in der Lage, ihre Modelle als VRML-Datei exportieren. Sie unterstützen aber leider nur selten alle mit VRML verfügbaren Funktionen. Außerdem werden exportierte Modelle oft unnötig aufgebläht, was die Ladezeiten im Browser erheblich verlängern kann.

Eine Schwäche des ASCII-Formates ist das hohe Datenaufkommen bei komplexeren Szenen, wie sich auch bei der Verarbeitung der Oberflächendaten der Flusssohle

zeigte. Das Web3-Consortium erarbeitet seit einigen Jahren einen neuen Standard, das eXtensible 3D (X3D). Er basiert auf XML (eXtensible Markup Language) und orientiert sich stark am VRML-Standard (FREIWALD & JANYS 2005). Diese Sprache soll erweiterbar sein, der Ressourcenverbrauch soll minimiert werden und trotzdem eine hohe Performanz erlauben. Von besonderem Interesse ist die Unterstützung effizienter Kompressionen unter X3D, die derzeit noch in der Entwicklung steckt. Leider hat sich dieser Standard im praktischen Einsatz noch nicht durchgesetzt.

3.2 Methoden aus der 3D-Stadtmodellierung

In den letzten Jahren wird intensiv am Aufbau virtueller dreidimensionaler Stadtmodelle gearbeitet. Die dabei anfallenden großen Datenmengen haben zur Entwicklung leistungsfähiger Visualisierungstechniken für große Oberflächenmodelle geführt. Solche Modelle erfordern den Einsatz mehrerer Detaillierungsstufen (Level of Detail, LoD), damit Objekte in der Nähe des Betrachters detailliert dargestellt werden können, weiter entfernte dagegen gröber. Nachdem in diesem Bereich zunächst ausschließlich Viewer mit proprietären Datenformaten entwickelt wurden, gibt es inzwischen auch Bestrebungen, 3D-Daten aus unterschiedlichen Quellen über geeignete Web-Dienste gemeinsam darzustellen (KOLBE & GRÖGER 2005). Ein Beispiel dafür ist der Web 3D Service

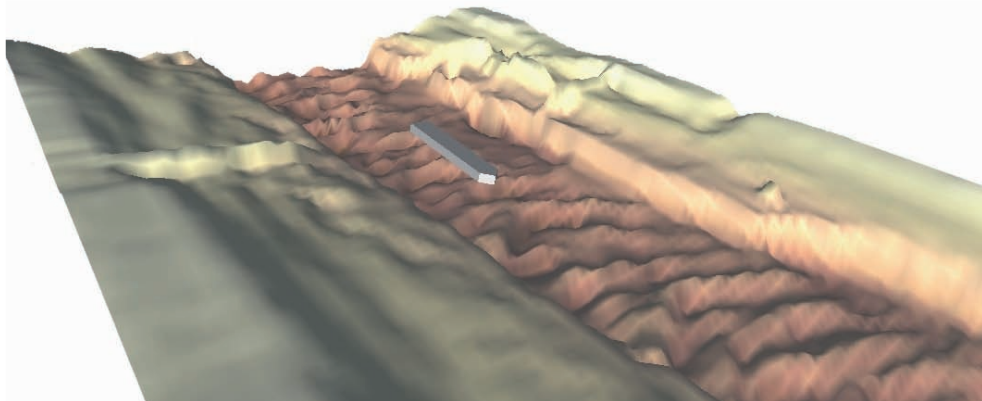


Abb. 4: Screenshot einer virtuellen Welt (VRML97) mit animiertem Schiffsmodell.

(W3DS) der Geodateninfrastruktur (GDI) NRW. Über diesen Dienst können 3D-Szenen des gleichen geographischen Gebietes, die aus unterschiedlichen Quellen bereitgestellt werden, zu einer Gesamtscene kombiniert werden. Im vorliegenden Projekt wird die Flussoberfläche von den Wasser- und Schifffahrtsrichtungen zur Verfügung gestellt, während die Daten zur Schiffsbewegung aus eigenen Messungen generiert werden. Konzepte zur interoperablen Visualisierung ermöglichen künftig auch die Integration weiterer Informationen. Die Verarbeitung dynamischer Prozesse ist allerdings derzeit nicht vorgesehen.

4 Ausblick

Obwohl inzwischen in vielen Bereichen leistungsfähige Systeme zur Verarbeitung und Visualisierung dreidimensionaler Daten oder dynamischer Prozesse zur Verfügung stehen, gibt es bisher kein System, das alle in diesem Projekt definierten Anforderungen erfüllen kann. Eine effiziente Visualisierung stellt nicht nur hohe Anforderungen an die Rechnerleistung, sondern erfordert immer einen mehr oder weniger hohen Programmieraufwand.

Die Verwaltung der hier anfallenden räumlichen Daten verlangt den Einsatz leistungsfähiger Datenbanksysteme. Die Geoinformatik liefert dazu in jüngster Vergangenheit neue Konzepte zur datenbankgestützten Verwaltung komplexer 3D-Stadt- und 3D-Landschaftsmodelle. In diesem Zusammenhang wurden erste 3D-Geoinformationssysteme entwickelt, die auf objektrelationale Datenbanktechnologien zugreifen (NEBIKER 2005). Auch im Bereich der Geodatenbanken werden derzeit neue Methoden zur Verwaltung und Anfrage dreidimensionaler Geoobjekte entwickelt. Neben der Modellierung der Daten spielen hier auch geometrische Algorithmen eine Rolle, wie z. B. die Berechnung von Volumina (BRINKHOFF 2005). Parallel dazu wird die Zeit als eigene Komponente eines Geodatenbanksystems zunehmend integriert. So sollen in dynamischen Prozessen räumliche Abfragen für einen festgelegten Zeitpunkt möglich

werden. Kommerzielle Lösungen stehen derzeit aber noch nicht zur Verfügung.

Für eine gezielte, nutzerfreundliche Analyse und Visualisierung des Schwimmverhaltens von Seeschiffen wird künftig die Verknüpfung einer Geodatenbank mit einem leistungsfähigen 3D-Grafiksystem angestrebt. Damit soll die Verwaltung und Anfrage der Daten erleichtert und gleichzeitig eine hochwertige Visualisierung unter Nutzung aller zur Verfügung stehenden Informationen erreicht werden.

Literatur

- BRINKHOFF, T., 2005: Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis. – Wichmann Verlag.
- FREIWALD, N. & JANY, R., 2005: Dateiformate für vektorbasierte 3D-Geodaten. – In: COORS/ZIPF (ed.): 3D-Geoinformationssysteme. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- JAUQUEMOTTE, I. & REINKING, J., 2005: 4D-Modellierung zur Analyse des Squat von Seeschiffen. – Hydrographie – Vermessung mit Tiefgang. – DVW-Schriftenreihe Band 47/2005.
- KOLBE, H. & GRÖGER, G., 2005: 3D-Stadtmodellierung auf der Basis internationaler GI-Standards. – In: COORS/ZIPF (ed.): 3D-Geoinformationssysteme. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- NEBIKER, S., 2005: Wenn Geodaten fliegen lernen – 3D-Geoinformationssysteme in der Aviatik. – In: COORS/ZIPF (ed.): 3D-Geoinformationssysteme. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- REINKING, J. & HÄRTING, A., 2002: GPS-gestützte Seegangskorrektur hydrographischer Messungen aus Einzelempfänger-Daten. – ZfV, 127, 3/2002.
- ZEPPENFELD, K., 2004: Lehrbuch der Grafikprogrammierung. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

Anschrift der Autorin:

Prof. Dr. INGRID JAUQUEMOTTE
 Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik
 FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
 Ofener Str. 19, D-26121 Oldenburg
 Tel.: 0441-7708-3322, Fax: 0441-7708-3336,
 e-mail: jaquemotte@fh-oldenburg.de

Manuskript eingereicht: Mai 2006
 Angenommen: Juni 2006