

3D-Drucker mit integriertem Farbauftrag sind sehr gut geeignet, um kostengünstig dreidimensionale Karten herzustellen. Einige Beispiele für 3D-Modelle von Oberflächen von Daten aus der großräumigen Planung und die Erfahrungen bei der Herstellung der Modelle werden im Folgenden vorgestellt.



Druckreif in 3D

Jeder Mensch hat im Laufe seines Lebens gelernt, Tiefenindikatoren (depth cues) in einem Bild zu erfassen und so aus einem zweidimensionalen Bild intuitiv ein mentales dreidimensionales Bild abzuleiten. Diese Erfahrung in der Erfassung von 3D-Szenen wird genutzt, um mit 3D-Darstellungen die Übermittlung der kartographischen Botschaft zu verbessern. Die Kodierung der dritten Dimension durch visuelle Variablen und deren Dekodierung kann entfallen.

In Karten von Oberflächen ist die simulierte Beleuchtung aus Nordwesten schon eine gute Hilfe, um die Formen besser zu erkennen. Die nächste Stufe ist eine perspektivische Zeichnung, eine schiefwinklige Projektion mit beliebigem Augenpunkt. Die Gestalt der Oberfläche, die Verteilung der lokalen Maxima und Minima über der Bezugsfläche sind deutlich erfassbar. Allerdings werden meistens Teile der Oberfläche verdeckt und aufgrund der perspektivischen Verzerrung ist der Vergleich der Höhen schwierig. Ein weiterer Schritt zur Verbesserung des drei-

dimensionalen Eindrucks sind die Stereogramme. Bei stereoskopischen Verfahren werden beiden Augen unterschiedliche Bilder zugeführt, die vom Gehirn als 3D-Szene interpretiert werden. Technische Verfahren reichen von einfachen Anaglyphen, die mit einer zweifarbigen Brille betrachtet werden, über Lentikular-Bilder, Lentikular- und Barrieren-Displays bis zu „Datenhelmen“. Jedes Auge blickt auf ein eigenes Miniatur-Display mit einem Bild, in dem Ort und Blickrichtung des Helmes eingerechnet sind. Das Gehirn des Betrachters erzeugt aus den beiden Bildern ein mentales Bild in 3D. Die Position und Orientierung des Helmes muss in Echtzeit verfolgt werden, damit die Geometrie der Bilder korrekt berechnet werden kann. Solche Datenhelme sind in der Regel Teil eines interaktiven Systems, mit dem eine scheinbare (virtuelle) Realität in Echtzeit visualisiert wird.

3D-Modelle in der Architektur

Der technische Aufwand für Stereogramme steigt mit der Qualität der Darstellung,

von zweifarbigen Brillen über Lentikularfolien und Stereoskope bis zu interaktiven IT-Umgebungen mit hohen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Computersysteme.

Die Techniken der Virtuellen Realität (VR) werden seit einigen Jahren in Architektur, Städtebau und Raumplanung angewendet. Architekten oder Raumplaner können Gebäude oder Landschaften betrachten, die in der Wirklichkeit noch nicht existieren, sondern lediglich als numerisches Modell in einem Computer gespeichert sind. Die Techniken reichen von fotorealistischen Bildern der virtuellen Objekte über Stereobilder bis zu simulierten Überflügen oder Durchgängen durch ein Gebäude, vielleicht noch bei verschiedenen Tageszeiten und unterschiedlichen Lichtverhältnissen. In das Bild einer realen Szene können passgenau virtuelle Gegenstände eingeblendet werden, zum Beispiel geplante Gebäude oder Bau-Ensembles.

Bei Architektur-Wettbewerben werden meistens reale Modelle der einge-

reichten Entwürfe gefordert. Eigentlich sind die Modelle überflüssig, denn mit VR-Techniken sind mehr visuelle Informationen verfügbar, nicht nur die Ansicht von außen auf das Gebäude, sondern auch die Darstellung der Innenräume unter verschiedenen Lichtverhältnissen, die wechselnden Perspektiven beim Gang durch das Bauwerk und der Blick von innen nach außen auf die Umgebung. Man kann nur spekulieren, warum sich angesichts der Möglichkeiten der VR die realen Modelle immer noch so großer Beliebtheit erfreuen. Ein Grund könnte sein, dass der Aufwand für die VR-Technik ist noch recht groß ist, wenn mehrere Personen gleichzeitig das Objekt betrachten sollen. Wahrscheinlich haben Architekten auch eine besondere Präferenz für handwerklich geschaffene Gegenstände. Wichtig ist sicher auch das haptische Erlebnis, die Möglichkeit des Anfassens, des Begreifens im wörtlichen und übertragenen Sinn.

Hingegen werden reale Modelle von dreidimensionalen GIS-Objekten, etwa Oberflächen, so gut wie nie realisiert. Das Fehlen einer Tradition für den Modellbau wie in der Architektur mag ein Grund sein, ein anderer die Kosten für das Modell im Vergleich zu den Kosten der räumlichen Analyse und der Visualisierung in Karten. Wenn das physische Modell eines Gebäudes manchmal Vorteile gegenüber den Techniken der VR hat, ist die Frage berechtigt, ob reale Modelle von GIS-Objekten nicht auch zu einer besseren Visualisierung der Informationen und als Folge davon zu erweiterten Einsichten führen können. Insbesondere bei Diskussionen und Entscheidungsfindung in einer Gruppe haben 3D-Modelle einige Vorteile, zum Beispiel die Option der verbalen und nichtverbalen Interaktion zwischen den Gruppenmitgliedern. Bei einer Präsentation mit einem Projektor auf einen Bildschirm oder bei Nutzung von VR-Systemen sind kaum Blickkontakte als Voraussetzung für eine persönliche Interaktion möglich.

Rapid prototyping

Rapid prototyping ist die schnelle und kostengünstige Herstellung von Werkstücken, die bis zu diesem Zeitpunkt nur als numerische Beschreibung in einem Computersystem existieren. Die Prototypen werden in den meisten Fällen zur Beurteilung der Form angefertigt.

Die Verfahren mit schichtweisem Aufbau des Modells aus Pulver sind am besten für kartographische Modelle geeignet. In einer Maschine wird auf die Arbeitsfläche eine dünne Schicht eines Pulvers (Stärke, Gips, Kunststoff oder Metall) aufgebracht. Im Bereich der Schicht, der zum Modell gehört, werden die Pulverteilchen miteinander und mit der darunterliegenden Schicht verbunden, zum Beispiel durch Aufbringen eines Klebemittels. Ist die Schicht fixiert, wird die nächste Schicht aufgetragen. Der Prozess wird solange fortgesetzt, bis die letzte Schicht des Modells aufgebracht ist. Das nicht fixierte Pulver wird nach Fertigstellung des Werkstücks manuell durch Schütteln oder durch Ausblasen mit einem Luftstrahl entfernt.

Glasinnengravur

Die Modelle aus Stärke- oder Keramikpulver können nach dem Aufbau zu-

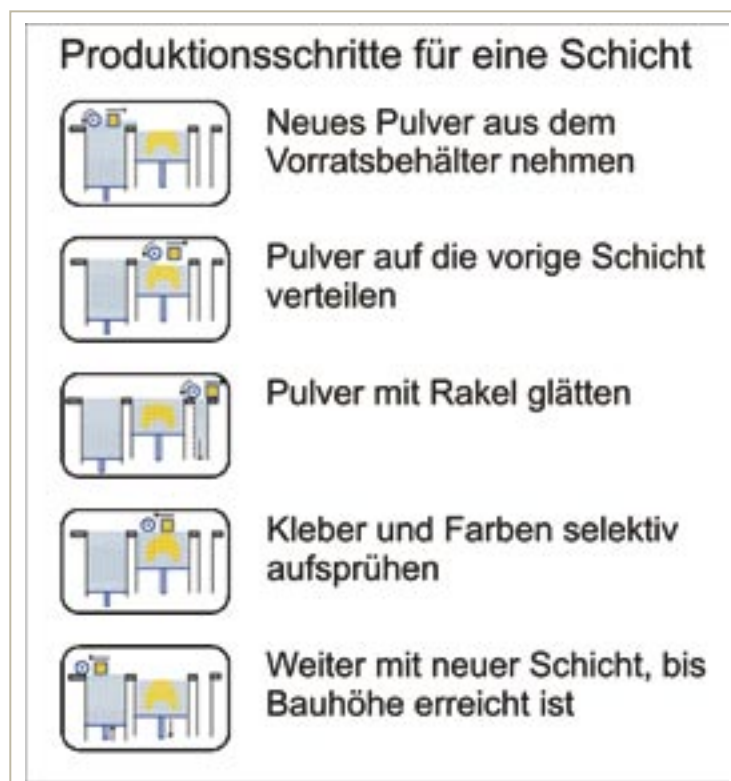
sätzlich mit Wachs, Kunstharz (Epoxy), Cyanoacrylat (Sekundenkleber) oder einem anderen Festiger getränkt werden. Dadurch wird die mechanische Stabilität erhöht und die Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen vermindert.

Wenn die visuelle Variable Farbe unbedingt notwendig ist wie in der Kartographie, muss das Aufbringen der Farbe in die Fertigung der Werkstücke integriert werden, um die Kostenvorteile des rapid prototyping zu erhalten. Zurzeit sind nur die Geräte Z510 und Z810 der Firma ZCorporation in der Lage, ein farbiges Modell mit ausreichender Auflösung herzustellen.

Bei diesen Geräten werden die Teile der jeweiligen Schicht, die zum Modell gehören, mit einem farblosen und drei farbigen Klebern fixiert. Die letzteren enthalten Pigmente in den Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb. Für das Auftragen des Klebers werden die gleichen Druckköpfe verwendet wie bei einem handelsüblichen Tintenstrahldrucker. Auch aus diesem Grund werden diese Geräte deshalb 3D-Drucker genannt.

Für kartographische Modelle ist die mechanische Stabilität der Werkstücke aus Keramikpulver mit anschließender Infiltration ausreichend, vorausgesetzt, die Modelle werden mit der angemessenen Vorsicht angefasst und bei einigermaßen konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit aufbewahrt.

Seit kurzem ist ein technisches Verfahren verfügbar, das ein dreidimensionales monochromes Bild im Inneren eines Glasblocks festhält. Die 3D-Zeichnungen im Glasblock werden mit einem computergesteuerten Gerät hergestellt. Ein in drei Achsenrichtungen geführter und fokussierter Laserstrahl schmilzt einen eng begrenzten Bereich im Glaskörper. An diesen Stellen wird das Glas undurchsichtig. Die Schmelzpunkte werden von unten nach oben in Schichten angelegt, damit der Be- ▶



Schritte für den Druck eine Schicht auf dem Drucker Z510.



Glasblock mit der Oberfläche der Baulandpreise in Deutschland

reich des Glaskörpers darüber für den Laserstrahl transparent bleibt.

Die Führung des Laserstrahls beziehungsweise des Fokuspunktes wird aus einem numerischen Modell der Zeichnung abgeleitet, in unserem Fall einer kartographischen Oberfläche in einer VRML-Datei. Streng genommen ist die Glasinnengravur kein RP-Verfahren, weil kein Werkstück als Prototyp für die Fertigung entsteht. Es werden aber die gleichen Modelldefinitionen, der schichtweise Aufbau und vergleichbare Steuerungstechniken für die Positionierung des Laserstrahls benutzt.

Fertigung der Modelle

Bei geringen Stückzahlen ist es wirtschaftlich sinnvoll, die Modelle im Auftrag fertigen zu lassen. Verschiedene Firmen bieten Dienstleistungen für rapid prototyping mit unterschiedlichen Verfahren an. Im beschriebenen Fall wurden die Modelle von der Firma 4Dconcepts auf dem 3D-Drucker Z510 gebaut. Die Firma erhält die Datei mit der numerischen Repräsentation des Modells als Anhang an eine E-Mail. Nach einer Fehlerprüfung wird das Modell im 3D-Drucker Z510 aufgebaut. Anschließend wird es mit dem Festiger infiltriert und an den Kunden versandt.

Das Modell besteht aus der 2.5D-Oberfläche, den Seitenwänden, der Rückseite und der Sockelplatte. Dazu kommen die Körper der Höhenlegende, die Maßstabsleiste, die Grenzen und andere Linien, die Polygone der angrenzenden Länder und die Textketten für die Legende und die Überschriften. Die äußere Haut des Modells wird durch eine Menge von 3D-Dreiecken definiert, die für die stetige Oberfläche ausreichend klein sein müssen. Die Software des 3D-Druckers berechnet aus den Dreiecken die Teile der Schicht, die zum Modell gehören, vergleichbar mit den Höhenlinien in einer

topographischen Karte. Die Koordinaten der Konturen und die Farbinformationen werden an den 3D-Drucker übermittelt, der daraus das Modell Schicht für Schicht aufbaut.

Die numerische Beschreibung des Modells muss in einer standardisierten Form an das Servicebüro versandt werden. Für Modelle mit Farbinformationen wird das Format VRML (Virtual Reality Markup Language) verwendet. Jedem Dreieck wird die Farbe über einen Zeiger auf einen Farbvektor zugewiesen.

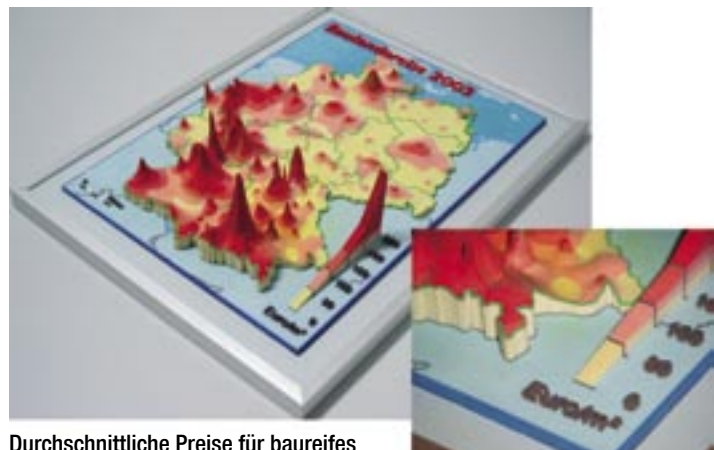
Für die Orientierung auf dem Modell sind topographische Anhaltspunkte notwendig. Gute Hilfen zur Verortung können zum Beispiel die Grenzen der Bundesländer, die großen Flüsse oder wichtige Verkehrswege (Straße und Schiene) sein. Auf der anderen Seite sind zu viele topographische Informationen hinderlich bei der intuitiven Erfassung der Botschaft, weil die wichtigen Informationen zugedeckt werden. Es muss ein geeignetes visuelles Gleichgewicht gefunden werden.

Das sonst in der Computergraphik übliche Verfahren der Liniendarstellung als Textur auf den Dreiecken ist nicht anwendbar. An steilen Hängen „verschmieren“ die Pixel des Rasterbildes aufgrund der projektiven Umformung zu einem unansehnlichen Muster. Deshalb werden die Linien im Modell als dünne Röhren konstruiert, die wiederum aus sehr kleinen Dreiecken aufgebaut sind. Die feine Struktur der Röhren resultiert in einer hohen Anzahl von Dreiecken, meistens mehr als die Dreiecke der eigentlichen Oberfläche. Für den Bau des Modells auf dem 3D-Drucker spielt die Anzahl der Dreiecke insgesamt aber nur eine vernachlässigbare Rolle und wirkt sich insbesondere nicht auf die Baugeschwindigkeit aus.

Die Umrisse der Zeichen sind in den Dateien für die TrueType-Schriften als Linienzüge definiert. Die Linien werden aus den TrueType-Dateien extrahiert und in die dritte Dimension extrudiert, sodass ein dreidimensionaler geschlossener Körper entsteht. Verschiedene Optionen für die Form der Extrusion, der Seitenwände und der Kanten sind wählbar. Der 3D-Körper des Textzeichens wird wieder als Menge von Dreiecken in der VRML-Datei gespeichert.

Kontinuierliche Oberflächen

Zur Evaluierung der technischen Möglichkeiten des rapid prototyping wurden einige Modelle von 3D-Oberflächen angefertigt. Die Geometrie-Dateien und die Indikatoren wurden mit der Software ArcGIS aufbereitet. Die Interpolation der Oberflächen, die Erzeugung der Körper und Dreiecke und deren Speicherung in der VRML-Datei wurden mit eigener



Durchschnittliche Preise für baureifes Land 2003.

Software vorgenommen. Mit dem 3D-Drucker Z510 können Teile bis zu den Dimensionen 25 x 35 x 25 Zentimeter gefertigt werden. Die Dicke der Schichten ist von 0,089 bis 0,2 Millimeter einstellbar. Das Modell in der Abbildung auf Seite 16 entspricht ungefähr den maximalen Abmessungen des Druckers in der xy-Ebene und ist etwa 70 Millimeter hoch. In diesem Fall wurde eine Schichtdicke von 0,1 mm gewählt. Bei farbigen Werkstücken werden maximal zwei Schichten pro Minute aufgetragen.

Die Oberfläche in der Abbildung auf Seite 14 repräsentiert die Zeitentfernung zum nächstgelegenen Oberzentrum im schie-

nengebundenen Verkehr, also die Zeit, die man benötigt, um von einem Punkt in der Bundesrepublik das nächste Oberzentrum mit dem Zug, der S-Bahn oder der Straßenbahn zu erreichen. Die Zeitentfernungen wurden mit dem Erreichbarkeitsmodell des BBR berechnet.

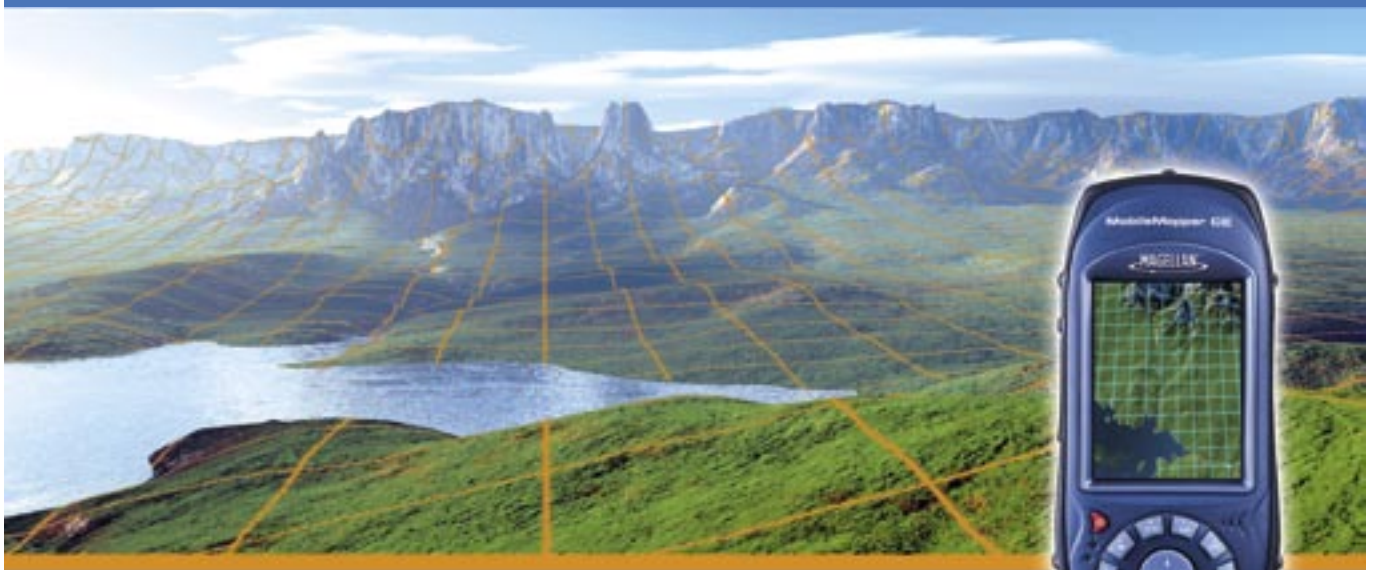
In der Abbildung auf Seite 16 repräsentiert die kontinuierliche Oberfläche die durchschnittlichen Preise für baureifes Land in den Kreisen der Bundesrepublik. Aus den Werten für die Bezugseinheiten wurde mit dem Verfahren der pknophylaktischen Interpolation eine stetige Oberfläche berechnet. Das Interpolationsverfahren stellt sicher, dass bei

flächenbezogenen Variablen das Volumen über jeder Bezugseinheit dem ursprünglichen Volumen wie bei den Prismen in der 3D-Choroplethenkarte entspricht. Innerhalb des Bezugspolygons kann deshalb die Höhe variieren, um den Ausgleich zwischen benachbarten Polygonen herzustellen. ■

AUTOR

Dr. Wolf-Dieter Rase
Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung (BBR), Bonn
Tel.: +49 (0) 228/9 94 01- 22 24
Fax: +49 (0) 228/9 94 01-23 55
E-Mail: rase@bbr.bund.de

Auf diese Position sind alle scharf!



Ein klarer Punkterfolg für Sie!

Was Sie auch vorhaben: der MobileMapper CE von Magellan genügt, um mit ultramoderner Hochleistungs-GPS in Echtzeit Submeterpositionierungen zu erreichen! Dank seiner Korrekturdaten-Fähigkeit erzielt der robuste und benutzerfreundliche MobileMapper CE exakte Echtzeit-Datenerfassung. Jetzt kombiniert mit der Ricoh-Digitalkamera Capilo 500SE erhalten Sie

Die optimale Geo-Imaging Komplettlösung

Früher brauchte man Notizen heute gilt: Automatisch werden die GPS Koordinaten zu den Bildern gespeichert. Zudem optimiert und vereinfacht die direkte Übertragung der Bilder und Daten in Ihr GIS oder Google Earth den Workflow. Verpackt in einem robusten Gehäuse läßt sich die 8-Megapixel-Digitalkamera mit 3-fach optischem Zoom, Bildstabilisator und 28-85mm Objektiv in jedem noch so extremen Gelände einsetzen.



OEM-Lösungen



Professional



Consumer



MAGELLAN Navigation

www.magellanGPS.de oder (08165) 64 79 30

MAGELLAN
PROFESSIONAL