

Eintauchen  
in Gebiete, die  
noch nie  
ein Mensch  
gesehen  
hat



Im **Zentrum für Virtuelle Realität und Visualisierung** des LRZ kann man in den Erdmantel vorstoßen, die Auswirkungen des Klimawandels in der Zukunft betrachten und Räume betreten, die für Besucher gesperrt sind: Visualisierung beseitigt Hindernisse für Forscher ebenso wie für Besucher.



Foto: Alessandro Podo/LRZ

Virtuell nachgebaut:  
der Kaisersaal  
der Neuen Residenz  
Bamberg.

Von **Eva Wolfangel**

**E**s ist ein ungewöhnlicher Anblick: Afrika von unten. Der Kontinent wölbt sich über dem Wissenschaftler, der gerade eine Reise ins Erdinnere antritt. „Da hinten sehen wir einen Zipfel von Indien“, sagt Bernhard Schubert vom Department für Geo- und Umweltwissenschaften der LMU München und zeigt nach rechts, „daran können Sie sich orientieren.“ 3.000 Kilometer unter der Erdoberfläche: Hier war noch kein Mensch. Das tiefste Bohrloch auf der Erde ist 12 Kilometer tief und liegt in Russland. Bayern hat es immerhin auf neun Kilometer gebracht – aber der Erdmantel ist viel dicker. Was es da alles zu entdecken gibt!

#### Unter den Kontinenten

Für Geophysiker wie Schubert ist es in der Tat ein Dilemma, dass ihr Forschungsobjekt so wenig greifbar ist. Deshalb ist er an diesem Tag im Visualisierungszentrum des Leibniz-Rechenzentrums in Garching bei München. Hier kann er die Grenzen, die ihm unser Planet setzt, überwinden. Er steht mit Kollegen in einem Raum, dessen Boden, Decke und drei der Wände aus Displays bestehen, und er trägt eine Brille, die mit einer Art Fühler ausgestattet ist. Die Brille ist einerseits eine 3D-Brille, wie man sie aus dem Kino kennt, und andererseits ein Werkzeug, um Schuberts Position im Raum zu bestimmen. Dafür hängen kleine Kameras in den Ecken des Raumes und senden regelmäßig Infrarotblitze, die von den sechs „Fühlern“ der Brille reflektiert werden. Damit weiß das System, wo Schubert ist und in welche Richtung er schaut. Wenn er einen Schritt auf Afrika zu macht, ist es, als würde er im Erdinneren fliegen. Er kann nun noch genauer sehen, was sich da unter Afrika bewegt: eine sehr zähflüssige rote Masse, die sich unaufhaltsam auf

**Der nächste  
größere  
Supercom-  
puter ist  
bereits im  
Haus. Und  
der Rest ist  
Kreativität  
und For-  
schergeist.**

den Kontinent zu schiebt und schließlich unten anstößt, wo sie sich, ausgebremst, unter Afrika verteilt.

Das alles ist eine Art Zeitrafferversion der Vorgänge rund um die Plattentektonik, erklärt Schubert. Die Simulation der vergangenen 200 Millionen Jahre Erdgeschichte zeigt, wie die heutigen Kontinente einst zusammenhingen. Dann driften sie auseinander und verteilen sich über die Erdkugel.

Die zähe Masse ist eine Simulation der Gesteine im Erdmantel: Rot sind jene Massen eingefärbt, die 450 Grad heißer sind als der Durchschnitt des Gesteins in dieser Tiefe. Blau eingefärbt sind jene, die 600 Grad kälter sind als der Durchschnitt. Diese unterschiedliche Temperaturverteilung verursacht auch die Bewegungen der Gesteinsmassen. Die heißen Schichten bewegen sich weg vom Erdkern, kühlen dort ab und sinken wieder nach unten. „Konvektion“ nennen die Geophysiker diesen Kreislauf. Die Bewegungen im Erdmantel verursachen die Plattentektonik.

Und die rote Ballung unter Afrika ist vermutlich verantwortlich dafür, dass der südliche Teil des Kontinents im Durchschnitt auf 1.000 Metern Höhe liegt, ohne dass eine Gebirgsbildung daran beteiligt ist. „Afrika ist eigentlich zu hoch“, sagt Schubert. Denn das rote Gestein drängt weiter nach oben und schiebt den Kontinent in die Höhe. Ohne das Wissen darüber, wie sich die Gesteinsmassen bewegen, wäre das nicht erklärbar. „Ich habe hier viele Zusammenhänge entdeckt, die mir aus 2D-Projektionen nicht so klar waren.“

Das bestätigt auch Thomas Odaker vom Leibniz-Rechenzentrum: „Für manche Zusammenhänge in großen Datenmengen braucht man keinen komplizierten Algorithmus, wenn wir die Zusammenhänge visualisieren – da erzeugt unser Gehirn die perfekte Mustererkennung.“ Einfach sei es allerdings nicht, gute Visualisierungen zu erstellen. Als die Geophysiker mit ihrer Erde kamen, waren Odaker und sein Kollege Markus Wiedemann zunächst froh, dass sich der gesamte Datensatz visualisieren lässt und dass es eine naheliegende Form der Visualisierung gibt: die Erde selbst. Das ist nicht immer so eindeutig.

Doch dann kamen die Herausforderungen: Der Datensatz bestand aus 20 Terabyte. Allein das Modell zu berechnen benötigte einen Monat durchgehende Rechenzeit am Supercomputer des LRZ. „Und dann

## Bayern ist vom Klimawandel betroffen, in Form von Dürren und Hochwasser.

mussten wir schauen, was wir weglassen können“, sagt Odaker. Zu viele Informationen in einer Visualisierung verwirren nicht nur, sie „belasten“ auch das Programm.

Im Fall der Geophysiker hat man sich darauf geeinigt, jene Gesteinsmassen nahe der Durchschnittstemperatur wegzulassen, ebenso wie die Ozeane bei der Darstellung der Topographie. Momentan ist der Erdmantel in der Visualisierung in 700 Millionen Elemente aufgeteilt, eines pro zehn Kilometer Erdoberfläche. „Immerhin: Nach einem Monat rechnen konnten wir 200 Millionen Jahre darstellen“, sagt Odaker.

In 2D-Darstellungen die Bewegungen verschiedener Erdschichten nachzuvollziehen sei schwierig, betont Schubert. „Forscher verschätzen sich immer wieder bei Volumina einzelner Gesteinsmassen an der Kern-Mantel-Grenze.“ Die zeitlich feine Auflösung in 3D habe ihm oft die Augen geöffnet. Der nächste Schritt sei, die Auflösung weiter zu verbessern. Sein Wunsch: Gitter von einem Kilometer Länge anstatt bisher zehn. „Da schlucken wir natürlich“, sagt Odaker und grinst. Noch weiß er nicht, wie das gehen soll. Aber der nächste größere Supercomputer ist bereits im Haus. Und der Rest ist Kreativität und Forschergeist.

Wie genau eine Visualisierung aussehen soll, besprechen die Wissenschaftler zunächst mit den Mitarbeitern des LRZ. „Das erste Gespräch ist die größte Hürde, denn wir sprechen doch unterschiedliche Sprachen“, sagt Odaker. Um eine geeignete Visualisierung zu entwickeln, müssen die Visualisierer zumindest grob verstehen,

worum sich die Forschung dreht, welche Daten vorhanden sind, und welche Erkenntnis die Forscher erzielen wollen. Genau das mache aber auch Spaß, ergänzt Daniel Kolb, Medieninformatiker am LRZ. „Wir sind ja alle Wissenschaftler und freuen uns, wenn wir neue Zusammenhänge lernen.“ Und dieses Verständnis, das will er auch anderen Menschen ermöglichen.

### Klimawandel und Hochwasser

Deshalb ist ein weiterer Schwerpunkt der Visualisierungen am LRZ, die Erkenntnisse für die Öffentlichkeit oder die Politik verständlich zu machen. Beispielsweise eine Visualisierung des Projektes ClimEx unter der Leitung von Ralf Ludwig (LMU München), das vom bayerischen Umweltministerium finanziert wurde: In der CAVE ziehen dunkle Wolken auf, die Betrachter schweben über Bayern, hier ist München, dort Deggendorf, da Nürnberg. Doch plötzlich füllt sich die Münchner Gegend mit Wasser, erst hellblau, dann türmt sich ein dunkelblauer Berg Wasser über der Stadt. „Das Pfingsthochwasser 1999“, erklärt Magdalena Mittermeier, Doktorandin an der LMU. Die Niederschläge pro Quadratmeter sind sowohl in der Höhe dargestellt als auch farblich abgesetzt: je dunkler, umso mehr Wasser türmt sich auf. „Das ist viel einleuchtender als ein Balkendiagramm auf Papier“, sagt Kolb. Dann geht es weiter in die Zukunft: Die Forscher haben auf der Basis eines Klimamodells Hochwasser-Ereignisse simuliert. Und schnell wird klar: Die blauen Berge über den Städten werden höher und dunkler, das Pfingsthochwasser von 1999 wird in den kommenden Jahren deutlich und mehrfach übertroffen werden, „wenn wir mit dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß so weitermachen“, sagt Mittermeier. „Bayern ist vom Klimawandel betroffen, in Form von Dürren und Hochwasser.“

Ganz neu ist das Konzept der CAVES nicht, sie waren mit die ersten VR-Räume in den 1990er Jahren. Sind sie noch zeitgemäß? „Selbst moderne VR-Headsets können da noch nicht mithalten“, sagt Odaker. Was man der Anlage nicht ansieht: Darüber und darunter und hinter jeder Wand befindet sich ein weiterer Raum mit jeweils zwei großen Projektoren. Und auch die Interaktion komme bei den Headsets zu kurz: „Mit VR-Headset hören die Menschen auf, miteinander zu sprechen.“

Visualisierung von Hochwasserereignissen in Bayern im Projekt ClimEX.



#### VISUALISIERUNGSPROJEKTE

[www.geophysik.uni-muenchen.de](http://www.geophysik.uni-muenchen.de)

Visualisierung in der Geophysik, LMU München

[www.climex-project.org](http://www.climex-project.org)

ClimEx: Klimawandel und Hochwasser in Bayern und Québec

#### Barocke Pracht in 3D

Doch das sei gerade wichtig, betont Elisabeth Mayer – und zack, steht die Kunst- und Multimedia-Forscherin im Kaisersaal der Neuen Residenz Bamberg. Rundherum riesige Wandgemälde, doch das Wichtigste, die Götterszene, befindet sich an der Decke. Zu weit weg, um sie genau zu sehen. Mayer und ihre Kolleginnen recken die Köpfe. Aber in der Virtuellen Realität ist alles möglich – und die Decke kommt näher. „Kunsthistoriker analysieren solche Bilder oft, indem sie sich darunter legen“, erklärt sie. Das ist in der CAVE einfacher als im echten Leben und hilft den Forschern des Projekts „Corpus der barocken Deckenmalerei in Deutschland“ der BADW, die den Kaisersaal gemeinsam mit dem Deutschen Dokumentationszentrum für Kunstgeschichte in Marburg, der Bayerischen Schlösserverwaltung und Bernhard Strackenbrock von der Firma „illustrated architecture“ untersuchen.

Und manche Orte könnte man eigentlich gar nicht besuchen: Ute Engel und Karin Guminski haben mit Studierenden der Kunstgeschichte und des Studiengangs „Kunst und Multimedia“ der LMU München

## Und manche Orte könnte man im echten Leben gar nicht besuchen.

die Kammerkapelle im Neuen Schloss Schleißheim virtuell nachgebaut. „Und es lassen sich natürlich auch Orte nachbauen, die gar nicht mehr existieren“, erklärt Odaker. Sei es für die Forschung oder für den Geschichtsunterricht: Am „echten“ Ort lässt sich viel mehr entdecken als in theoretischen Diskussionen.

#### Neueste Technologien

Die Visualisierer experimentieren aber auch mit den neuesten Technologien ohne „Höhlenatmosphäre“. So findet sich eine Etage höher ein tagheller Raum mit Fensterfront, dessen eine Wand nahezu ganz von einer LED-Fläche bedeckt ist. Die Pixel liegen so eng beieinander – 1,2 Millimeter Abstand –, dass Betrachter auch aus

der Nähe ein fein aufgelöstes Bild sehen. Und nicht zuletzt entstehen durch die mobilen Geräte neue Herausforderungen, wie Lea Weil zeigt. Die Kunst- und Multimedia-Expertin am LRZ hat mit der Wildland-Stiftung Bayern eine Anwendung entwickelt, mit der man sich in Naturschutzparks seltene Vögel projizieren kann – dank des Tablets oder Smartphones. Aussterbende Vogelarten sind ja kaum zu beobachten. „Wir wollen ein Bewusstsein dafür entwickeln, wie schützenswert sie sind“, sagt Weil – und „zaubert“ wie beim bekannten Spiel anstatt Pokemons einen Kiebitz auf den Tisch. Es mag eine Kunst sein, komplexe Simulationen und Datensätze mit dem Supercomputer auszuwerten – eine andere ist es, mit kleinen Geräten sowie wenig Speicher und Rechenleistung sehr gute Ergebnisse zu erzielen. Beide Wege führen in die Zukunft.

#### Eva Wolfangel

schreibt als freie Wissenschaftsjournalistin für viele Magazine und große Zeitungen in Deutschland und der Schweiz. Eines ihrer Spezialgebiete sind Zukunftstechnologien wie Künstliche Intelligenz und Virtuelle Realität.