

UNTER

BEOBACHTUNG

UNTER BEOBACHTUNG

UMWELTMODELLE IN 4D

BERNHARD HÖFLE

Rund um die Uhr beobachten Laserscanner beispielsweise das Abschmelzen von Gletschern oder kontrollieren Küstenregionen, die von Erosion betroffen sind. Dabei generieren sie riesige Datenmengen. Heidelberger Geoinformatiker*innen haben eine Methode entwickelt, die es erstmals erlaubt, die von Beobachtungssystemen erzeugte Datenflut automatisch auszuwerten. Das ist eine wichtige Voraussetzung, um vor gefährlichen Veränderungen der Erdoberfläche frühzeitig zu warnen und bislang unbekannte ursächliche Umwelteinflüsse zu identifizieren.

D

Die Erde wechselt ständig ihre Oberflächengestalt. Die Veränderungen erfolgen auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen, sie gehen auf natürliche Ereignisse zurück oder werden von Menschen gemacht. Diese Dynamik interessiert die Umwelt- und Geowissenschaften. Sie wollen die Prozesse und Aktivitäten erklären und künftige Auswirkungen vorher-sagen. Besonders wichtig sind Phänomene an der Erdoberfläche, die unmittelbar den Menschen betreffen. Beispiele sind gefährliche Naturereignisse, etwa Erdbeben, Hochwasser oder Waldbrände. Aber auch langsamer ablaufende Prozesse wie das Waldsterben oder das Abschmelzen der Gletscher aufgrund des menschengemachten Klimawandels zählen dazu. All diese physiogeographischen Phänomene hinterlassen in der Landschaft Spuren. Diese lassen sich mit modernen wissenschaftlichen Methoden und neuester Technologie sichtbar machen - bevor sie sich auf den Menschen auswirken.

Um die komplexen geographischen Zusammenhänge bis ins Detail nachvollziehen zu können, hat die Heidelberger

Geoinformatik am Geographischen Institut computerbasierte Methoden entwickelt. Sie erlauben es, die Landschaftsdynamik dreidimensional zu erfassen und zu analysieren. Die Daten werden mithilfe von Laserscannern am Boden oder aus der Luft, Kameras auf Drohnen oder satellitenbasierten Radarsystemen gewonnen. Diese Beobachtungssysteme können die Erdoberfläche und Objekte wie Bäume oder Gebäude sehr präzise als digitales dreidimensionales Modell abbilden. Die 3D-Geodaten lassen sich sodann mit speziellen Algorithmen automatisch auswerten. Das macht es möglich, die Prozessabläufe zeitlich höher aufzulösen und mit noch größerer Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu untersuchen. Modifikationen der Erdoberfläche lassen sich so exakter quantifizieren und unbekannte Mechanismen der Landschaftsveränderungen identifizieren. Die so erarbeiteten Forschungsergebnisse verbessern nicht nur unser geographisches Grundlagenwissen über die Dynamik der Erdoberfläche, auch direkte Anwendungen werden möglich, etwa um die Wald- und Baumgesundheit zu überwachen oder um vor gefährlichen Ereignissen, etwa dem Abrutschen von Hängen oder Waldbränden, frühzeitig zu warnen.

Von 3D zu 4D

Die 3D-Erdbeobachtung hat in den letzten Jahren enorme wissenschaftliche und technische Fortschritte gemacht. Zuvor sind derartige Beobachtungen nur sehr sporadisch und in Abständen von bis zu fünf Jahren erfolgt. Heute hat sich die Beobachtungsfrequenz ganzer Landschaften auf Tage, ja sogar Stunden reduziert. Inzwischen sprechen wir nicht mehr von 3D-, sondern von 4D-Geodaten: Unsere



PROF. DR. BERNHARD HÖFLE ist seit dem Jahr 2017 Professor für Geoinformatik und 3D-Geodatenverarbeitung und Leiter der Arbeitsgruppe „3DGeo“ am Geographischen Institut der Universität Heidelberg. Nach einem Geographiestudium in Innsbruck (Österreich) und Uppsala (Schweden) und seiner Promotion an der Universität Innsbruck im Jahr 2007 war er zunächst als Postdoktorand an der Technischen Universität Wien (Österreich) und der Universität Osnabrück tätig. 2010 wechselte er als Teamleiter in die Abteilung Geoinformatik der Universität Heidelberg, wo er 2011 eine Juniorprofessur übernahm. Bernhard Höfles Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung neuer Methoden für die Analyse von Geodaten, der automatischen Prozessierung von 3D/4D-Punktwolken und der Kombination von 3D-Geodaten mit Fernerkundung sowie 3D-Crowdsourcing. Er ist Mitglied des Interdisziplinären Zentrums für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) und des Heidelberg Center for the Environment (HCE) der Universität Heidelberg.

Kontakt: hoefle@uni-heidelberg.de

Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen

Das Interdisziplinäre Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) ist einer von drei im Rahmen der Exzellenzstrategie geförderten interdisziplinären Inkubatoren der Universität Heidelberg, die alle Bereiche der Universität verbinden und neue Forschungsinitiativen initiieren sollen. Es wurde 1987 als bundesweit erstes universitäres Forschungszentrum seiner Art gegründet und bearbeitet Fragestellungen aus Natur-, Technik- und Geisteswissenschaften mit dem Methodenrepertoire des Wissenschaftlichen Rechnens: mathematischer Modellierung, Simulation und Optimierung, Bild- und Datenverarbeitung sowie Visualisierung. Als Querschnittsdisziplin, die entscheidend zur Lösung anspruchsvoller Probleme aus Wissenschaft und Technik beiträgt, gilt das Wissenschaftliche Rechnen als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Seine Methoden kommen bei so unterschiedlichen Fragestellungen wie dem Entwurf effizienter Brennstoffzellen, der Simulation der Vorgänge beim Hirninfarkt oder der Prognose des Pestizidabbaus im Boden zum Einsatz.

Das IWR umfasst aktuell 54 Forschungsgruppen aus unterschiedlichen Fakultäten, darunter sechs von jungen Wissenschaftler*innen geführte Nachwuchsgruppen; rund 500 Forscher*innen arbeiten in interdisziplinären Kooperationen zusammen. Neben Mathematik, Physik, Chemie und Informatik sowie den Lebenswissenschaften sind zunehmend auch Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Psychologie, Kognitionswissenschaften sowie Geistes- und Kulturwissenschaften vertreten. Die Infrastruktur des IWR umfasst unter anderem Hochleistungsrechner, 3D-Graphiklabore sowie spezielle Laserscanner. Im Scientific Software Center (SSC) am IWR wird die Erstellung und nachhaltige Anwendung wissenschaftlicher Software für alle Wissenschaftler*innen der Universität unterstützt. Auf Initiative des IWR entstand 2007 die im Rahmen der Exzellenzinitiative geförderte „Heidelberger Graduiertenschule der mathematischen und computergestützten Methoden in den Wissenschaften“ (HGS MathComp), an der derzeit rund 100 Doktorand*innen forschen.

www.iwr.uni-heidelberg.de

Beobachtungssysteme können die Dynamik physiogeographischer Phänomene nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich detailliert erfassen, beispielsweise Änderungen im Tages- und Nachtverlauf. Statt wie bisher nur einzelne Bilder mit Jahresabstand aufzunehmen, können wir Änderungen

an der Erdoberfläche nun wie in einem „3D-Video“ beobachten und die aufgenommenen Zeitserien und großen 3D-Datensätze mit Algorithmen automatisch analysieren.

Eine bereits erfolgreich für die 4D-Beobachtung eingesetzte Methode ist das permanente Laserscanning: Dabei erfasst ein Laserscanner seine Umgebung stündlich von einem fixen Standpunkt aus mit Reichweiten bis zu 4.000 Metern. Das Ergebnis ist eine dichte Zeitserie von „Screenshots der Landschaft“ im Detailmaßstab, die selbst kleinste Veränderungen des Geländes oder der Vegetation erkennen lassen. Derartige Laserscansysteme werden schon heute weltweit, auch unter Heidelberger Beteiligung, für die unterschiedlichsten Aufgaben eingesetzt, beispielsweise, um Gletscher, Küstenabschnitte, Wälder oder Hänge zu beobachten.

Der Dauerbetrieb rund um die Uhr an sieben Tagen der Woche produziert enorme Datenmengen – Laserscanner arbeiten mit mehr als einer Million Messungen pro Sekunde und erzeugen eine sehr datenreiche, aber informationsarme Ausgangssituation. Die Auswertung dieser enormen Datenmenge kann nicht manuell erfolgen, sie ist nur mit Computern möglich („Machine Learning“). Diese extrahieren aus der riesigen Anzahl einzelner 3D-Messungen relevante Informationen und generieren daraus sogenannte 4D-Punktwolken. Auf diese Weise lassen sich etwa bei Gletschern gefährliche Spalten und Eisabbrüche identifizieren, es lassen sich Hänge erkennen, die abzurutschen drohen, oder Waldbereiche detektieren, die sich aufgrund von Schädlingsbefall oder Trockenstress in kurzer Zeit stark verändert haben.

Neue Wege gehen

Ein weiterer Fortschritt ist die Methode der sogenannten 4D-Änderungsobjekte („4D-Objects-By-Change“), die federführend von der Heidelberger Geographin Katharina Anders entwickelt wurde. Dem neuen Verfahren liegt ein Algorithmus zugrunde, der einen wichtigen Vorteil bringt: Das System kann angewendet werden, ohne schon zuvor ein umfangreiches geographisches Wissen über das Untersuchungsgebiet zu besitzen. Auch bislang gänzlich unbekanntes Änderungsarten der Erdoberfläche können dank des Algorithmus in einer riesigen Datenbank von 3D-Laser-Punktmessungen aufgefunden und Zusammenhänge mit Umwelteinflüssen hergestellt werden.

Der Algorithmus lässt es darüber hinaus zu, auch solche Änderungsprozesse zu trennen und messbar zu machen, die sich zeitlich oder räumlich überlagern. Ein Beispiel: Wenn sich die Höhe eines Gletschers an einem bestimmten Ort verändert hat, kann der Grund dafür ein längerfristiges Abschmelzen während der Sommermonate sein, ein kurzfristiger Schneefall in der Nacht zuvor oder eine Lawine, die in der vergangenen Woche abgegangen ist. Zum Messzeitpunkt überlagern sich diese Ereignisse.

„Inzwischen sprechen wir nicht mehr von 3D-, sondern von 4D-Geodaten: Die Beobachtungssysteme können physiogeographische Phänomene nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich detailliert erfassen.“

Wenn man – wie mit den herkömmlichen Methoden – lediglich zwei Messzeitpunkte miteinander vergleichen kann, lassen sich die Prozesse nicht trennen. Die Berechnung der Massenbilanz des Gletschers kann davon beeinflusst werden. Infolgedessen werden langfristige Veränderungen des Gletschers womöglich fehlerhaft berechnet und bei der Betrachtung ursächlicher Umwelteinflüsse die falschen Schlüsse gezogen. Mit der neuen Heidelberger Methode lassen sich die Änderungsobjekte, ihre Lage, ihr zeitlicher Verlauf und die Änderungsvolumina detektieren. Das erlaubt eine tiefgreifende geographische Analyse der Prozesse. In die Untersuchungen werden zudem verschiedene Umweltmessdaten und Geländebefunde sowie computerbasierte Modellierungen einbezogen. Die derart erarbeiteten Forschungsergebnisse können beispielsweise in wissenschaftliche Modelle für Gletscherbewegungen, Hangrutschungen, Felsstürze, Waldentwicklung und Küstenerosion einfließen.

Fundamentale Änderung

Der Algorithmus der 4D-Änderungsobjekte konnte mittlerweile so weiterentwickelt werden, dass die Suche nach

Veränderungen der Erdoberfläche vollautomatisch erfolgen kann. Die Automatisierung ist ein entscheidender Schritt: Sie ist die Voraussetzung dafür, die Methode in Überwachungs- und Frühwarnsystemen künftig autonom und nahezu in Echtzeit einsetzen zu können. Auch der Einsatz auf Geländefahrzeugen oder Robotern, die mit Laserscannern bestückt sind, ist denkbar – auf der Erde wie auf anderen Planeten. Eine Anwendung der autonom agierenden Aufnahmesysteme, die auf das Monitoring von Waldflächen abzielt, wird derzeit gemeinsam mit Wissenschaftlern der amerikanischen Weltraumbehörde NASA entwickelt.

Die Heidelberger Methode der automatischen Analyse von Geodaten könnte auch der Ausgangspunkt für eine sehr fundamentale Änderung der Art und Weise sein, in der wir unsere Erdoberfläche beobachten. Denn alle aktuellen digitalen Strategien zur Erdbeobachtung, ob lokal oder global, haben eines gemeinsam: Während der Beobachtung ist es nicht möglich, auf das Phänomen einzugehen, das beobachtet wird. Es findet lediglich eine „Top-Down-Steuerung“ statt: Basierend auf Erfahrungswerten wird ein

Beobachtungssystem – beispielsweise eine Drohne, ein Laserscanner oder Satellit – programmiert; dann nimmt das System das Interessengebiet zeitlich und räumlich auf. Anschließend werden die aufgenommenen Daten analysiert. Die retrospektiv gewonnenen Informationen führen meist erst wesentlich später – wenn überhaupt – dazu, künftige Beobachtungen an die neuen Erkenntnisse anzupassen. Da die Erdoberfläche von Umweltphänomenen räumlich wie zeitlich sehr unterschiedlich verändert wird, führt die bislang übliche retrospektive Beobachtungsstrategie nicht selten dazu, dass gewisse Gebiete zu selten oder nicht ausreichend genau beobachtet werden. Andere Bereiche hingegen werden unnötig häufig und zu detailliert erfasst. Die Konsequenz ist, dass wir viele Veränderungen verpassen, weil wir sie in der unnötig erzeugten Datenflut nicht sehen können.

Ziel unserer aktuellen Forschungsarbeiten ist es, die Beobachtung zu optimieren, indem wir die 4D-Aufnahme sowie die automatische Datenauswertung eng mit dem Sensorsystem koppeln. Das soll es erlauben, die automatische Datenaufnahme räumlich und zeitlich gezielt an aktuelle Änderungsdynamiken anzupassen – und von den aufgenommenen Daten zu lernen. Mit den modernen Methoden der Künstlichen Intelligenz, dem Einbeziehen unseres geographischen Wissens und dem schnellen Zugriff auf die

Heidelberg Center for the Environment

Das Heidelberg Center for the Environment (HCE) vernetzt als einer von drei im Rahmen der Exzellenzstrategie geförderten interdisziplinären Inkubatoren der Universität Heidelberg die umweltorientierte Forschung. Das 2011 als Teil des Zukunftskonzepts der Universität gegründete Zentrum will über Fächer- und Disziplinengrenzen hinweg den ökologischen Auswirkungen des natürlichen, technischen und gesellschaftlichen Wandels auf den Menschen wissenschaftlich begegnen und so große gesellschaftliche Herausforderungen der Zukunft gestalten. Dabei setzt das HCE gezielt auf eine enge interdisziplinäre und integrative Zusammenarbeit, da die Komplexität und die kulturelle Gebundenheit der heutigen Umweltprobleme das Analyseraster einzelner Methoden oder Disziplinen sprengen. Mit ihren vielfältigen Einrichtungen und Kompetenzen in den Umweltwissenschaften sticht die Universität Heidelberg auch international als ein Ort heraus, an dem diese Gesamtsicht auf die Umwelt entwickelt und gleichzeitig in die Lehre und den öffentlichen Diskurs eingebracht werden kann.

www.hce.uni-heidelberg.de

„Laserscanner arbeiten mit mehr als einer Million Messungen pro Sekunde und erzeugen eine zwar datenreiche, aber informationsarme Ausgangssituation.“

UNDER OBSERVATION

ENVIRONMENTAL MODELS IN 4D

BERNHARD HÖFLE

The observation of environmental changes using digital measurement systems is an essential step towards improving our knowledge of complex human-environment interactions and thus represents the basis for sustainable and successful action. Current 4D observation systems in geosciences and environmental sciences, such as topographic laser scanning, provide dense (e.g. hourly) time series of precise 3D models of a dynamic Earth surface. Heidelberg geoinformation scientists are developing new computer-based methods that allow relevant information to be extracted automatically from these large datasets.

The data analysed with the new algorithms are supplied by permanently running 3D laser scanning systems installed in the field, which enable highly precise observations of, among other things, landslides, glaciers and coastal beaches affected by erosion. A key strength of the Heidelberg methodology is the fact that the data analysis can be highly automated and that the geographic changes do not have to be known and defined in advance. This makes it possible to detect previously unknown change processes of the Earth's surface in very large datasets and to establish new causal relationships with environmental conditions. In the future, these methods should be able to react directly to the observed changes and could then be used on intelligent, autonomous observation platforms. To this end, the algorithms will have to be transferred into a scientific software under open-source licence. ●

PROF. DR BERNHARD HÖFLE has held the professorship of GIScience and 3D Geospatial Data Processing and headed the “3DGeo” research group at Heidelberg University’s Institute of Geography since 2017. Following his studies of geography in Innsbruck (Austria) and Uppsala (Sweden) and his doctorate at the University of Innsbruck in 2007, he first worked as a post-doctoral fellow at TU Wien (Vienna, Austria) and at Osnabrück University. In 2010 he became a team leader in the GIScience department of Heidelberg University, where he accepted a junior professorship in 2011. Bernhard Höfle’s research interests are the development of new methods for geodata analysis, automatic processing of 3D/4D point clouds and the combination of 3D geodata with remote sensing and 3D crowdsourcing. He is a member of the Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR) and of the Heidelberg Center for the Environment (HCE) at Heidelberg University.

Contact: hoefle@uni-heidelberg.de

“We no longer speak of 3D, but of 4D geodata: the observation systems can precisely record not just the spatial, but also the temporal dimension of physiogeographic phenomena.”

„Unsere Forschungsergebnisse können in Modelle für Gletscherbewegungen, Hangrutschungen, Felsstürze, Waldentwicklung und Küstenerosion einfließen.“

bislang erfasste Datenbasis wird es möglich, die Entscheidung über die zukünftige Erfassung nahezu in Echtzeit auf dem Sensor zu treffen. Künftig sollen die Methoden direkt auf die beobachteten Änderungen reagieren und auf autonom agierenden intelligenten Aufnahmeplattformen zum Einsatz kommen.

Die erfolgreiche wissenschaftliche Publikation ist nicht der Endpunkt, sondern ein Zwischenschritt der Forschung in vielen Bereichen der Geoinformatik. Neben der rein wissenschaftlichen Publikation ist es wichtig zu bedenken, dass der breite und erfolgreiche Einsatz unserer wissenschaftlichen Methoden wesentlich von der freien Verfügbarkeit und Zugänglichkeit der wissenschaftlichen Software abhängt. Wichtige Voraussetzungen dafür sind eine fundierte technische Implementierung der wissenschaftlichen Software und ein freier Zugang zum Quellcode („Open Source“). Neben der Erhöhung der Transparenz, der Nachvollziehbarkeit und der maximalen Verwendbarkeit des Bestehenden, ermöglicht es ein Open-Source-Projekt, die Methode und die Software sowohl in der Gemeinschaft der Forschenden als auch gemeinsam mit Anwendungspartner*innen in der Wirtschaft zu entwickeln.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird derzeit in Heidelberg in enger Kooperation mit dem im Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) neu geschaffenen „Scientific Software Center“ (SSC) ein neues Methodenspektrum zur operationellen Auswertung von geographischen

4D-Punktwolken entwickelt. Über die neue „Open-Source-Toolbox“ sollen die neuesten Forschungsergebnisse und Methoden ohne jegliche Nutzungsbeschränkungen leicht zugänglich gemacht werden. Auch in den Geo- und Umweltwissenschaften wird die freie Nutzung wissenschaftlicher Daten („Open Data“) immer wichtiger, idealerweise gemeinsam mit der frei zugänglichen Publikation („Open Access“) und Software.

Die wissenschaftliche Software hat bislang in vielen Bereichen noch immer den Beigeschmack einer „unwissenschaftlichen“ Anwendung, die außerhalb der eigentlichen Forschung stehe und im besten Falle ein „Nice-to-Have“ sei. Im Falle der Erdbeobachtung und Geoinformatik aber sind digitale Methoden und Daten zentral. Umso wichtiger ist es, Grundlagenerkenntnisse zügig in die wissenschaftliche Software zu transferieren. Dieser Transfer muss in Zukunft wesentlich gestärkt werden, damit ausreichend Mittel für diese „Must-have“-Aufgabe verfügbar sind. Auch das ist ein Ziel des neuen Heidelberger Scientific Software Center. ●