



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina
Nationale Akademie der Wissenschaften

Jahrbuch 2018

Herausgegeben von
Jörg Hacker
Präsident der Akademie

Leopoldina Reihe 3, Jahrgang 64 (2018), Halle (Saale) 2019
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart

International Symposium Earth Surface Shaping by Biotic Processes (Die Prägung der Erdoberfläche durch biologische Prozesse)¹

21. bis 24. Februar 2018 in Halle (Saale)

Bericht: Friedhelm von Blanckenburg ML (Potsdam) und Todd A. Ehlers (Tübingen)

Hintergrund und Zielsetzung

Die Landoberfläche der Erde stellt die Lebensgrundlage der modernen Zivilisation dar. Sie versorgt die Menschheit mit Trinkwasser und Boden (für die Nahrungsversorgung und unsere Infrastruktur) und beeinflusst durch ihre Ökosysteme die Konzentration von klimarelevanten Spurengasen wie CO₂ in der Atmosphäre. Durch den Klimawandel, die intensive Landnutzung und die Ausbreitung von anthropogenen Stoffen ist diese sensible Komponente des Systems Erde gegenwärtig massivem Druck ausgesetzt. Ein Überschreiten vieler der natürlichen Regulierungsmechanismen, die das Erdsystem über Jahrmillionen der Erdgeschichte gekennzeichnet haben, liegt heute durchaus im Bereich des Möglichen.



Abb. 1 (A) Der spärliche Bewuchs in trockenen Klimazonen führt zu anderen Landschaftsformen und Erosionsraten als in Gebieten mit dichter Vegetation. (B) Tiefe Baumwurzeln zapfen ein dunkles Gestein als Nährstoffquelle und Wasserspeicher an und verwittern dieses somit (Sierra Nevada, Kalifornien, USA). Fotos: F. von Blanckenburg

¹ Informationen zum Symposium finden Sie auch auf der Leopoldina-Website:
<https://www.leopoldina.org/veranstaltungen/veranstaltung/event/2506/>.

Die Grenzen dieser Regulierungsmechanismen zu identifizieren, muss deshalb ein prioritäres Forschungsziel sein. Hier setzt ein neues Systemdenken ein. Stoffkreisläufe und Prozesse zwischen und innerhalb der Geosphäre, der Biosphäre, der Hydrosphäre und der Atmosphäre sind alle miteinander gekoppelt und bedingen sich gegenseitig.

Diesbezüglich besagt eine weit verbreitete Ansicht, dass die Form und das Vorkommen von Organismen auf der Erde auf deren Umwelt zurückzuführen sind. Erst in den letzten Jahrzehnten hat ein Umdenken begonnen: Organismen reagieren nicht nur auf ihre physische Umwelt, sondern sie verändern und gestalten sie auch direkt. So beschleunigen potentiell Pflanzen an ihren Wurzeln die Mineralauflösung im Boden, um an Nährstoffe zu gelangen, und tragen so auf der Millimeter-Skala zur Verwitterung bei. Oder sie liefern mit ihren Blättern und Wurzeln Schutz vor Erosion des Bodens, was Landschaften auf der Kilometerskala formt. Organismen beeinflussen somit potentiell die Prozesse, die der Bildung ihres physikalischen Lebensraums zugrunde liegen. Die jüngste Erkenntnis biotischer Wechselwirkungen mit den Oberflächenprozessen der Erde hat zu einem neuen geowissenschaftlichen Paradigma geführt: Die Erdoberfläche ist nicht nur das Produkt tektonischer Kräfte (durch Gebirgsbildung) und des Klimas (durch Zerstörung von Relief durch Verwitterung und Erosion), sondern auch das Ergebnis biotischer Prozesse, die über mikro- bis makroskopische Maßstäbe hinweg aktiv sind. Organismen (Biota) moderieren somit Oberflächenprozesse durch komplexe Rückkopplungen, die man bisher für ausschließlich tektonisch und klimatisch gesteuert hielt.

Die Erforschung von Erdoberflächenprozessen hat in den letzten zwei Jahrzehnten durch technologische Entwicklungen große Fortschritte gemacht. Zu diesen gehören die physiko-chemischen Gesetze, die den Abbau von Mineralen in der Erdoberfläche regeln, einer Zone, die heute als „Kritische Zone“ („Critical Zone“) bezeichnet wird und die für die Bodenbildung verantwortlich ist, aber weit über die Tiefe der Böden hinausgeht, und die Quantifizierung der Topographie und der Transportprozesse von Sediment durch Entwicklungen in der Fernerkundung und der geochemischen Bestimmung der Transportraten. Gleichzeitig wurden wichtige Kopplungen zwischen der Bio- und der Geosphäre erkannt: Dazu gehört die Erkenntnis, dass die Aktivität von Mikroorganismen, die sich in völliger Dunkelheit in der „tiefen Biosphäre“ bis in große Tiefen im Gestein erstreckt, dort chemische Reaktionen auslöst. Pflanzen steuern den Fluss und die Verdunstung des Wassers zwischen Boden und Atmosphäre. Durch die Aufnahme mineralischer Nährstoffe können sie große geochemische Stoffflüsse induzieren.

Dennoch bestehen zu den Raten und den kritischen Schwellengrenzwerten dieser Wechselwirkungen noch große Lücken in unserem Verständnis. So ist es eine grundsätzliche Herausforderung, die Wirkung von Biota, die in Zeiträumen von Monaten variieren, auf Böden und ganze Landschaften zu erkennen, deren Form und Zusammensetzung sich über Tausende von Jahren ändert. Der Erarbeitung entsprechender Forschungsstrategien diente das Symposium, wobei der Fokus auf dem Zusammenwirken von Organismen mit der geologischen Erdoberfläche lag. Das Symposium wurde maßgeblich durch führende Mitglieder des DFG-Schwerpunktprogrammes 1803 „Earth Surface Shaping by Biota“ gestaltet. Es sprachen 18 Sprecherinnen und Sprecher aus Deutschland, den USA, Frankreich, Belgien, der Schweiz und Israel.

Programm und Beiträge der Referenten und Referentinnen

Das Symposium begann mit einer Reihe von Vorträgen, die sich mit den diversen Einflüssen, die Vegetation auf Landschaften ausübt, befassten. William E. Dietrich (*University of California*, Berkeley, CA, USA) gab eine allgemeine Einführung in die geomorphologischen Gesetze, die den Transport von Boden und Sediment auf Hängen beschreiben. Er führte dann aus, dass die Position des Grundwasserspiegels eine wichtige Funktion für die Geometrie der Zersetzungszone des Gesteins durch Verwitterung besitzt und dass die Vegetation einen wesentlichen Einfluss durch das Anzapfen dieses Reservoirs durch tiefe Wurzeln und durch die Extraktion des mineralischen Nährstoffs Phosphor ausübt. Er beklagte das Fehlen von grundsätzlichen Gleichungen, die es erlauben, diese Prozesse mathematisch zu simulieren. Alexia Stokes (*Institut National de la Recherche Agronomique INRA*, Frankreich) schilderte im Detail den Einfluss von Baumwurzeln auf die Hangstabilität. Dort findet ein Wettbewerb zwischen Wurzeltiefe und Scherfestigkeit statt, dessen Ausgang die Hangstabilität bestimmt. Diese Stabilität würde auch die ökologische Sukzession bestimmen: In steilen, tropischen Gebieten Asiens würde Bambus durch Erdbeben frisch freigelegten Boden zuerst besiedeln, mit höherer Stabilität würde Laubwald folgen. Bambus könnte durch seine Tiefwurzeln sogar Erdbeben hervorrufen und sich damit einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Laubwald erarbeiten. Veerle Vanacker (*Catholic University of Louvain*, Louvain, Belgien) beschrieb die empirische Felderkenntnis, wonach bei höherem Pflanzenbewuchs die Rate, mit der frischer Boden produziert würde, zunimmt: Dies geschehe über die durch den Gehalt organischen Kohlenstoffes hervorgerufene Volumenzunahme, die erhöhte Porosität und andererseits die reduzierte Abtragung durch Erosion. Todd Ehlers (Universität Tübingen) präsentierte einen großen Datensatz aus empirischen Erosionsraten (aus kosmogenen Nukliden in Flusssediment) und Vegetationsbedeckung entlang des südamerikanischen Kontinentalrandes, der Schwellengrenzwerte aufzeigte. Unterhalb einer gewissen Landbedeckung durch Vegetation nimmt demnach die Erosionsrate deutlich zu.

Der zweite Teil handelte von den Möglichkeiten, die genannten Bio-Geo-Interaktionen mit dynamischen Computersimulationen nachzuvollziehen und vorherzusagen. Erkan Istanbuluoğlu (*University of Washington*, Seattle, WA, USA) zeigte, wie sich die Hangexposition via Sonneneinstrahlung und folgendem Vegetationsbewuchs auf Bodendurchmischung und Feuerhäufigkeit auswirkt, und wie durch diesen biologischen Effekt eine Asymmetrie in der Hangeometrie entstehen könnte. Thomas Hickler (Senckenberg, Frankfurt/Main) präsentierte, wie wir dynamische globale Vegetations- und Klimamodelle nutzen können, um Wechselwirkungen zwischen Klima, Organismen und Geosphäre über Hunderte bis Millionen von Jahren zu quantifizieren. Hierbei wird im Moment untersucht, inwieweit Landschaftsformen eine „Erinnerung“ an frühere Zeiten erhalten.

Der dritte Teil handelte von der Fernerkundung von Ökosystemen und deren Auswirkung auf Landschaftsformen sowie die Interaktion höherer Pflanzen mit Grundwasser, also der Ökohydrologie. Bodo Bookhagen (Universität Potsdam) zeigte eine große Anzahl von Beispielen, wie mit hochaufgelösten fotografischen Fernerkundungsdaten die Häufigkeits- und Größenverteilung von Erdbeben aufgenommen werden kann und welcher Zusammenhang mit der Vegetationsbedeckung besteht. Yin Fan-Reinfelder

(*Rutgers University*, NJ, USA) führte den Begriff der „Ökohydrologie“ ein und zeigte die Abhängigkeit der zum Teil beträchtlichen Wurzeltiefe von Bäumen von der Tiefe des Grundwasserspiegels. Dieser bestimmt die nötige Wurzeltiefe und damit auch die Artenzusammensetzung der Vegetation. Fan-Reinfele postulierte, dass Wasserstress in der erdgeschichtlichen Entwicklung möglicherweise zur Diversifizierung der höheren Pflanzen beigetragen haben könnte.

Der vierte Teil handelte von biologisch induzierten im Gegensatz zu abiogenen chemischen und mineralogischen Transformationen (Verwitterung) in der „Critical Zone“. Zuerst gab Susan L. Brantley (*Pennsylvania State University*, PA, USA) einen Übersichtsvortrag, in dem sie die diversen Faktoren Revue passieren ließ, mit denen die Geosphäre Ökosysteme prägt: Gesteinstyp, seine Porosität und sein Nährstoffgehalt, Hydrologie und Wasserfluss des Untergrundes, Gasgehalte (CO₂, Methan, H₂ aus geogenen und biologischen Quellen). Alle setzen eine Serie von „Verwitterungsfronten“, mit denen bestimmte chemische Reaktionen in diskreten Tiefen auftreten. Ob Biota tatsächlich Verwitterungsraten dauerhaft beschleunigen würden, sei noch unbekannt, möglicherweise aber in transienten Zuständen (z. B. während eines tektonischen Hebungspulses; nach Klimawandel). Steve Holbrook (*Virginia Tech University*, Blacksburg, VA, USA) führte diverse geophysikalische Methoden zur Untergrundsondierung ein, mit denen tektonischer Stress, Gesteinstyp, -schieferung und -frakturhäufigkeit sichtbar gemacht werden können. Diese wiederum bestimmen die ökohydrologischen Bedingungen sowie potentiell die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen gegenüber Stress. Steeve Bonnevile (*Université Libre de Bruxelles*, Brüssel, Belgien) fokussierte seinen Vortrag auf die Mikro- bis Nanometerebene der biogenen Mineralauflösung und zeigte an Laborexperimenten, dass auf dieser Raumskala Pilze, die mit Wurzeln in Symbiose leben („Mycorrhiza-Pilze“), Minerale durch lokale Ansäuerung, Exudierung extrapolymerer Substanzen sowie physikalische Prozesse lösen können. Dies könnte der wichtigste Prozess in der biogenen Verwitterung sein. Friedhelm von Blanckenburg (GFZ GeoForschungsZentrum Potsdam) zeigte anhand geochemischer Bilanzierung der Umsätze mineralischer Nährstoffe in Feldstudien (Phosphor, Magnesium, Kalium), dass und wie oft diese durch Waldökosysteme rezykliert werden, ein Prozess, der somit die biogene Verwitterung puffert. Dies ist vor allem in tropischen Waldökosystemen mit hoher Primärproduktion und niedrigen Erosionsraten der Fall. Zudem würden die Isotopenverhältnisse diverser metallischer Elemente eine zum Teil hohe Aufnahmetiefe von mehreren Metern aufzeigen. Kate Maher (*Stanford University*, Stanford, CA, USA) nahm diesen Faden auf und zeigte mittels eines neuen gekoppelten Nährstoffbedarfs- und Verwitterungsmodells, dass Ökosysteme keinen direkten Vorteil aus der Beschleunigung der Mineralverwitterung beziehen (z. B. durch Investition in organischen Kohlenstoff in der Wurzelzone), sondern dass Rezyklierung die vorteilhafteste Strategie sei.

In der fünften Session ging es um Biodiversitätseffekte auf Böden und Landschaften, nämlich wie die Vegetation Böden formt, wie pflanzenfressende Tiere Nährstoffe umverteilen und wie bestimmte Arten oder die Diversität höherer Pflanzen von Klima und Boden abhängen. Dror Hawlena (*Hebrew University*, Jerusalem, Israel) zeigte anhand eines Feldversuches in Israel die enormen Effekte, die Pflanzenfresser und Prädatoren (z. B. Spinnen) auf die Nährstoffdynamik von Ökosystemen, insbesondere die Stickstoff-Rezyklierung, haben. Sogar die physiologische Reaktion von Pflanzenfressern, die zum

Schutz vor Prädatoren hervorgerufen wird, verändere die Nährstoffdynamik eines Ökosystems. Marcel van der Heijden (Universität Zürich, Schweiz) wies auf die enorme mikrobielle Diversität (Bakterien, Pilze, Archäen) in Böden hin und warf die Frage auf, ob die Ökosystemdienstleistungen der Mikroben (z. B. N-Fixierung) nachlassen, wenn deren Diversität durch intensive Landnutzung abnimmt. In Feldexperimenten mit niedriger Diversität würde dies beobachtet werden. Im Umkehrschluss stellt sich die Frage, ob Boden-Mikrobiota eingesetzt werden kann, um die Stabilität eines Bodenökosystems zu verbessern. Bernhard Schmid (Universität Zürich, Schweiz) schloss hier an und wies auf die großen Vorteile hin, die eine hohe Boden- und Pflanzendiversität böte, und wie stark diese Dienstleistungen heute angesichts des stark beschleunigten Artensterbens gefährdet seien. Diese Effekte seien mit kleinskaligen Diversitätsexperimenten besser zu erfassen als mit großskaligen Feldbeobachtungen. Katja Tielbörger (Universität Tübingen) stellte schließlich fest, dass die in den Geowissenschaften übliche Praxis, die Effekte des Klimawandels durch eine „Space for Time“-Substitution (durch Feldbeobachtung entlang eines Klimagradienten) zu erfassen, in der Ökologie nicht praktikabel sei, da neben dem Klima andere Umweltvariablen als Störfaktoren hinzukämen und insofern „Klima“ nicht eine strikt replizierbare Variable sei. Stattdessen seien Manipulationsexperimente angesagt.

In einem schwungvollen öffentlichen Abendvortrag trug Ernst-Detlef Schulze ML (Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena) ein leidenschaftliches Plädoyer für eine aktive Forstwirtschaft als Maßnahme zur Reduktion von klimaschädlichem CO₂ vor. Mit zahlreichen Daten argumentierte er, dass die duale Verwendung von Holz, zunächst als Werk-/Baustoff, dann zur Verbrennung als Ersatz fossiler Brennstoffe, langfristig eine positivere Klimawirksamkeit hervorrufen würde als ein unbewirtschafteter Naturwald. Dessen CO₂-Bilanz sei nach Erreichen der maximalen Baumgröße neutral.

Ein weiterer Programmpunkt stellte die Präsentation der von deutschen Projekten geleiteten Feldobservatorien dar. Es waren diese die DFG-Sonderforschungsbereiche „Aquadiva“ (Universität Jena) und „Evolution at the dry limit“ (Universität zu Köln), das Helmholtz-Programm für terrestrische Observatorien „Tereno“, das künstliche Wassereinzugsgebiet „Hühnerwasser“ (Universität Cottbus) sowie die DFG-Schwerpunktprogramme „Ecosystem Nutrition“ (koordiniert von der Universität Freiburg) und „Earthshape – Earth surface shaping by biota“ (koordiniert von der Universität Tübingen und dem Geoforschungszentrum Potsdam).

Fazit

Das Symposium führte allen Teilnehmern vor Augen, wie empfindlich die terrestrischen Ökosysteme auf Stress wie Klimawandel und überhöhte Landnutzung reagieren. Es wurde andererseits auch klar, dass durch die Geosphäre bestimmten Bedingungen wie die durch Gesteinsverwitterung zur Verfügung gestellten mineralischen Nährstoffe und die Geometrie der Grundwasserleiter diese Reaktionen dämpfen können. Im Verständnis dieser Faktoren wurden in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Wie diese Geofaktoren von den Ökosystemen selber jedoch verändert werden, ist nach wie vor nur mit erheblichem Aufwand von den abiotischen Effekten zu unterscheiden, zumal gewaltige

Unterschiede in den Zeitskalen der Prozesse bestehen. Fortschritte sind hier vor allem durch folgende Maßnahmen zu erwarten: Etablierung kombinierter biologischer und geowissenschaftlicher Langzeit-Feldobservatorien; Entwicklung neuer anorganischer geochemischer Fingerabdrücke und von organischen Biomarkern, die Bio-Geo-Prozesse markieren; luft- und weltraumgestützte Erdbeobachtung mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung; Herleitung exakter Gleichungen der physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse, die die Erdoberfläche gestalten; deren Implementierung in Simulationsprogramme, die zur Überbrückung der Zeitskalen und damit als Test von Hypothesen und Szenarien herangezogen werden können.

Prof. Dr. Friedhelm von Blanckenburg
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Sektion 3.4
Telegrafenberg E 220
14473 Potsdam
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 331 2882850
Fax: +49 331 2882852
E-Mail: fvb@gfz-potsdam.de
und

Freie Universität Berlin
Fachbereich Geowissenschaften
Arbeitsbereich Geochemie
Malteserstraße 74–100
Raum 5, Gebäude N
12249 Berlin

Prof. Dr. Todd A. Ehlers
Universität Tübingen
Geodynamik
Wilhelmstraße 56
72076 Tübingen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 7071 29 73152
Fax: +49 7071 29 3060
E-Mail: todd.ehlers@uni-tuebingen.de