

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 53 (2012)
Heft: 1-2

Artikel: Herausforderungen und Perspektiven geographischer Forschung in der Analyse biogeochemischer Stoffflüsse
Autor: Kuhn, Nikolaus J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088203>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Herausforderungen und Perspektiven geographischer Forschung in der Analyse biogeochemischer Stoffflüsse

Nikolaus J. Kuhn

Zusammenfassung

Während der letzten 100 Jahre hat in der Geographie mehrmals ein Wandel der Perspektive auf ihr Studienobjekt "Erdoberfläche" und deren Bedeutung im Bewusstsein von Forschung, Politik und Bevölkerung stattgefunden. Nach dem Ende des Zeitalters der Entdeckungen dominierte eine wissenschaftlich-spezialisierte Arbeit, welche die Disziplin in eine immer grössere Zahl von Teilbereichen aufspaltete. Der Blick zurück auf die Erde aus dem All sowie das wachsende Verständnis für die globale Dimension der aktuellen Umweltprobleme hat den Bedarf an einer integrierten Betrachtung der Landschaft seit den 1960er-Jahren, sozusagen als Gegenbewegung zur Aufspaltung, wieder verstärkt. In diesem Beitrag wird die Notwendigkeit einer auf das Systemverständnis konzentrierten Geographie am Beispiel der Folgen von Landnutzung und Bodenerosion für den globalen Kohlenstoffkreislauf analysiert. Methodisch dienen dabei die Ansätze der Earth Systems Science als Werkzeug, und deren Bedeutung für die Geographie der nächsten 100 Jahre wird zum Abschluss bewertet.

1 Geographische Perspektive auf die Erde – die letzten 100 Jahre

Zu Beginn des Gründungsjahrs der Geographie an der Universität Basel, im Südsommer 1911/12, lieferten sich der Norweger Roald Amundsen und der Brite Robert Falcon Scott einen "Wettlauf" zum Südpol. Scott verlor tragisch, auch weil er der Umwelt weniger angepasst, trotz weitgehend bekannter Route, an den Witterungsverhältnissen und schlechter Orientierung scheiterte (*Huntford* 1985, *Fiennes* 2004). Das Erreichen des Südpols markiert auch das Ende des sogenannten heroischen Zeitalters der Entdeckungen. Es folgte eine Verwissenschaftlichung der Erforschung der Welt (*Bryan* 2011), die allerdings einhergehend mit der vorwiegend vom historischen Materialismus geprägten Einstellung die Bedeutung der Umwelt in den Hintergrund drängte. Als langfristige Folge mag dies die Teilung der Geographie in Human- und Physiogeographie, im deutschsprache-

Adresse des Autors: Prof. Dr. Nikolaus J. Kuhn, Universität Basel, Departement Umweltwissenschaften, Physische Geographie und Umweltwandel, Klingelbergstrasse 27, CH-4056 Basel;
E-Mail: nikolaus.kuhn@unibas.ch

chigen Raum endgültig am Geographentag in Kiel 1969, gefördert haben (Weichhart 2003). 1969 endete ein weiterer bedeutender Wettlauf: Die USA und die UdSSR versuchten seit 1961 jeweils als Erste, Menschen zum Mond zu schicken. Am 21. Juli 1969 betraten die Astronauten Neil Armstrong und Buzz Aldrin als Erste den Mond und beendeten den Wettbewerb der Systeme des Kalten Kriegs zugunsten der USA. Diese politisch-strategisch motivierte "Eroberung" des Weltraums lieferte, ungeplant, eine neue, ganzheitliche Perspektive auf die Erde. Gerade die als emotionslos geltenden Astronauten formulierten diesen Blick zurück auf die Erde mit teilweise eindrucksvollen Worten: *I really believe that if the political leaders of the world could see their planet from a distance of 100,000 miles, their outlook could be fundamentally changed. That all-important border would be invisible, that noisy argument silenced. The tiny globe would continue to turn, serenely ignoring its subdivisions, presenting a unified facade that would cry out for unified understanding, for homogeneous treatment. The earth must become as it appears: blue and white, not capitalist or communist; blue and white, not rich or poor; blue and white, not envious or envied* (Collins & Lindbergh 2001). Die Raumfahrt schuf ebenfalls ein Netz an Erdbeobachtungssatelliten und somit eine neue, flächendeckende Informationsquelle für die Geowissenschaften (vgl. Abb. 1).



Abb. 1 *Magnificent Desolation* (Buzz Aldrin, Apollo 11): der blaue Planet Erde über der Wüste des Mondes (Quelle: NASA).

Ebenfalls in den späten 1960er- und frühen 1970er-Jahren führten Studien wie die des Club of Rome zu der Erkenntnis, dass die Ressourcen der Erde beschränkt sind und die Zerstörung von Boden und Vegetation sowie die Verschmutzung von Gewässern und Atmosphäre eine nachhaltige Entwicklung verhindern (Meadows et al. 1972). Die Hungerkatastrophe im Sahel, die Luftverschmutzung durch Kraftverkehr und Stromproduktion sowie die erste Ölkrise Anfang der 1970er-Jahre stehen exemplarisch für diese Erkenntnis (🌍₁). Der Grad der Umweltzerstörung und -veränderung durch den Menschen veranlasste den Nobelpreisträger Paul Crutzen zur Prägung des Begriffs Anthropozän (Ehlers 2010), dessen Beginn er mit Einsetzen der Industrialisierung gleichsetzte. Das Anthropozän wird dabei nicht nur als historischer, sondern auch als geologischer Begriff verwendet, da sich die Folgen der anthropogenen Umweltzerstörung auch in fast allen Geoarchiven finden.

Neben der Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung wurde die Komplexität des Systems Erde ebenfalls deutlich: Gewässerverschmutzung, saurer Regen oder Ozonloch erstrecken sich weit über politische Grenzen und können nur mithilfe eines holistischen Ansatzes erforscht und gehandhabt werden. James Lovelock und Lynn Margulis gingen sogar so weit, der Interaktion

der Sphären auf der Erde einen Rückkopplungsmechanismus mit dem Ziel einer lebenserhaltenden Umwelt (Gaia-Hypothese) zuzuschreiben (Lovelock 1989). Dieses Erkenntnis, unterstützt durch die durch Erdbeobachtung deutlich werdende globale Dimension des Umweltwandels, führte zur Entwicklung der *Earth Systems Sciences*. Angeregt von der *American Geophysical Union*, dem *Keck Geology Consortium* und der *National Science Foundation*, wurde 1996 eine Definition für die ganzheitliche Erforschung des Systems Erde erstellt: *Earth Systems Science embraces chemistry, physics, biology, mathematics and applied sciences in transcending disciplinary boundaries to treat the Earth as an integrated system and seeks a deeper understanding of the physical, chemical, biological and human interactions that determine the past, current and future states of the Earth.*

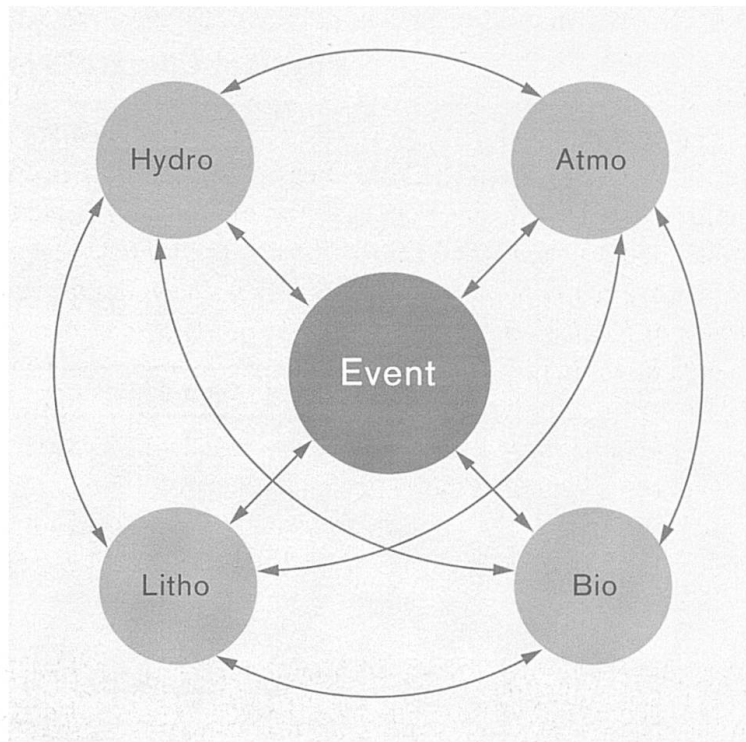


Abb. 2 Earth System Science Perspektive auf Interaktionen zwischen den Sphären als Folge eines Ereignisses, welches das Prozessgefüge innerhalb und zwischen Sphären verändert.

Earth Systems Science provides a physical basis for understanding the world in which we live and upon which humankind seeks to achieve sustainability (☉₂). Die *Earth Systems Sciences* stützen sich dabei v. a. auf eine Analyse, Messung und Modellierung möglicher Wechselbeziehungen ("Interactions") als Folge von Umweltwandel auslösenden Ereignissen ("Events") innerhalb und zwischen den Sphären der Erde (vgl. Abb. 2).

Das auf den ersten Blick einfach wirkende Konzept bietet in erster Linie einen Leitfaden für die ganzheitliche Analyse von Umweltwandel. Die Komplexität der Komponenten, die miteinander interagieren, wird im (immer noch vereinfachten) Bretherton-Diagramm (Abb. 3) jedoch deutlich (☉₃). Die *Earth Systems Sciences* wurden als Kopie der Physiogeographie (Clifford & Richards 2005) kritisiert. Aus einer prozess-orientierten geomorphologischen Forschung heraus bestehen mag diese Kritik gerechtfertigt erscheinen. Andererseits bieten die *Earth Systems Sciences* der Geographie ein Werkzeug, die Komplexität des Systems Erde darzustellen und so die Folgen von Umweltwandel abzuschätzen. Die in den *Earth Systems Sciences* verfolgten Ansätze können auch im Sinne einer Weiterentwicklung der Landschaftsökologie betrachtet werden. Der Fokus der Landschaftsökologie auf den Landschaftshaushalt hat direkt oder indirekt ein Verständnis der Interaktion von Sphären zum Ziel, einschliesslich deren Veränderung durch den Menschen (Leser 2011). Die *Earth Systems Sciences* sind stärker problembezogen und auf die Analyse der Interaktionen zwischen den Sphären und eine Prognose von Systemverhalten fokussiert. Im folgenden Abschnitt wird dies am Beispiel einiger geographischer Aspekte der Erforschung des globalen Kohlenstoffkreislaufs dargestellt.

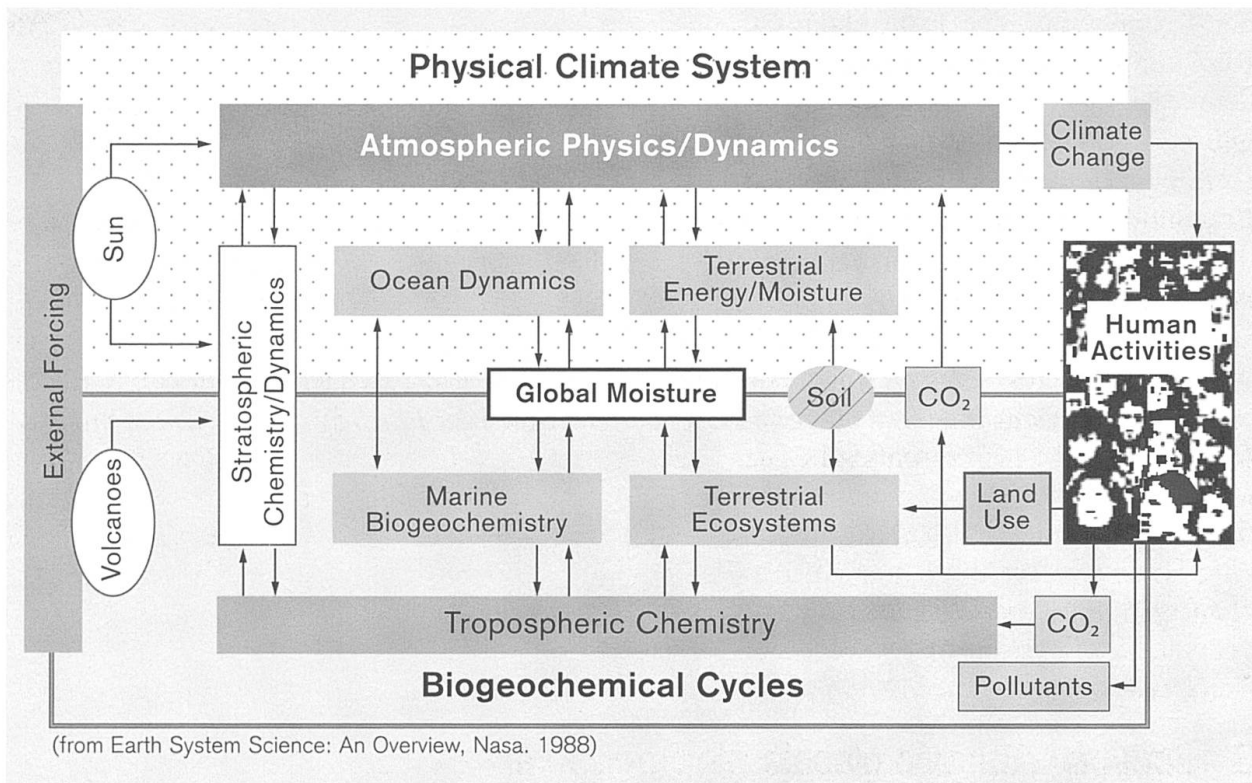


Abb. 3 Das vereinfachte Bretherton-Diagramm des Systems Erde. (Quelle: <http://serc.carleton.edu/introgeo/earthsystem/ess>)

2 Bodenerosion und Kohlenstoffkreislauf

Seit Mitte der 1990er-Jahre wurde im Rahmen der Erforschung des Klimawandels die Bedeutung der Bodenerosion für globale Stoffkreisläufe klar (Stallard 1998). Global werden jährlich etwa 35 Pg (1 Pg = 10^{15} g = 1000 Megatonnen) Boden durch Erosionsprozesse bewegt, diese Bodenmenge enthält etwa 0.5 Pg organischen Kohlenstoff (Quinton et al. 2010). Ein signifikanter Teil dieses Kohlenstoffs wird wieder terrestrisch abgelagert (Abb. 4). Der Aufbau von kolluvialen Speichern organischen Kohlenstoffs wird als Senke für atmosphärisches Kohlendioxid betrachtet, da die als Folge von Bodenerosion abgelagerte organische Bodensubstanz mehr oder weniger vor Abbau geschützt ist und so keine Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen. Zusätzlich wird am Ort der Erosion der Bodenspeicher an organischem Kohlenstoff wieder aufgefüllt, da dort ein Ungleichgewicht zwischen organischer Bodensubstanz und dem durch Photosynthese bereitgestellten Bestandsabfall herrscht. Dieser Prozess wird als *dynamic replacement of soil organic matter*



Abb. 4 Rillenerosion und Ablagerung von erodiertem Boden (Eifel).

Foto: N.J. Kuhn

bezeichnet (*Quine & van Oost* 2007). Die Ablagerung von organischer Bodensubstanz in Kolluvien sowie der Ersatz erodierten Kohlenstoffs am Ort der Erosion führen netto zu einem CO₂-Fluss von ca. 0.1 Pg aus der Atmosphäre in den C-Pool an der Erdoberfläche (*van Oost et al.* 2007), was einem klimaneutralen Effekt von Bodenerosion gleichgesetzt wurde. Zum Vergleich: Die jährlichen Netto-Treibhausgasemissionen betragen global etwa 9 Gt (*Solomon et al.* 2007).

Diese Berechnungen von *Quine et al.* (2007) wurden heftig diskutiert, u. a. wegen einer geringen Anzahl an Proben, eines mangelnden Verständnisses für den Transport von organischer Bodensubstanz (*Kuhn et al.* 2009) und fehlender Daten zur Veratmung von organischer Bodensubstanz während des Transports (*Lal & Pimentel* 2008). Aus geographischer Perspektive ergibt sich jedoch ein weiteres Problem: Bodenerosion ist kein Phänomen, das sich lediglich auf die Verlagerung von Oberflächenmaterial beschränkt, sondern im Sinne der *Earth Systems Sciences* im landschaftlichen Kontext, einschliesslich der Landnutzung, betrachtet werden muss. Dies führt dazu, dass die Folgen der Bodenerosion (im Sinne eines “Events”) auf alle Sphären untersucht werden müssen. Im Rahmen dieses Beitrags kann eine solche Analyse nicht vollumfänglich erfolgen und wird daher im Folgenden nur auf die Verbindung zwischen Bodenerosion, Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufe beschränkt.

3 Bodenerosion und globale Stoffkreisläufe

Bodenerosion bewegt nicht nur Bodenmaterial, sondern beeinflusst auch die Eigenschaften des Bodens (der Biosphäre im Sinne der *Earth Systems Sciences*) am Ort der Erosion und der Ablagerung. Neben dem Verlust an organischer Substanz werden auch Nährstoffe erodiert, beispielsweise etwa 35 Tg Stickstoff im Jahr (*Quinton et al.* 2010). Dieser Stickstoff muss am Ort der Erosion ersetzt werden, um den Ersatz der erodierten organischen Bodensubstanz zu sichern, denn ohne Stickstoff sinken die Nettoprimärproduktion und somit die Ernteerträge und Menge des für die Humifizierung notwendigen Bestandsabfalls. Wenn der erodierte Stickstoff durch Mineraldünger ersetzt wird, entstehen bei dessen Herstellung erhebliche Treibhausgasemissionen, zumindest dann, wenn die Energie durch die Verbrennung fossiler Energieträger gewonnen wird. Die Düngerherstellung und die damit verbundenen Emissionen stellen eine Verbindung (Interaction) zwischen Bio- und Atmosphäre im Sinne der Earth Systems Science dar. Pro Tonne Stickstoffdünger werden so 850 kg Emissionen erzeugt (*West & Marland* 2002), was hochgerechnet auf die Menge des erodierten Stickstoffs zu Emissionen von 0.03 Pg Kohlenstoff führt oder 30 % des durch Erosion der Atmosphäre entzogenen Kohlenstoffs entspricht (*Kuhn* 2010). Weitere Emissionen entstehen durch die Herstellung anderer Düngemittel, ebenso muss die Nachhaltigkeit des “dynamic replacement” auf einem durch Erosion degradierten Boden hinterfragt werden. Schliesslich wird durch Erosion eine weitere nicht erneuerbare Ressource, Phosphor, dem Nährstoffkreislauf entzogen (*Rosemarin* 2010). Hier ergibt sich eine Verbindung des “Events” Bodenerosion mit der Lithosphäre, die die Phosphatreserven in Form von Sedimentgesteinen enthält. Neben der direkten Zerstörung des Bodens und den Folgen für das Klima wird derzeit das Risiko dieser schwindenden Phosphatvorräte für die Nahrungsmittelproduktion diskutiert (Stichwort: Peak Phosphor). *Sverdrup & Ragnarsdottir* (2011) prognostizieren beispielsweise, dass aufgrund des Phosphormangels die Weltbevölkerung kaum über die 2011 erreichte Zahl von sieben Milliarden Menschen steigen wird, da die Ernteerträge aufgrund von Düngermangel in den kommenden Jahrzehnten drastisch fallen werden.

Die ganzheitliche Betrachtung der Bodenerosion im Sinne der Earth Systems Science (Abb. 5) macht auch deutlich, dass ihre Bekämpfung weitaus bedeutender ist, als der Schutz des Substrats (der an sich besonders bei geringmächtigen Böden eigentlich als Selbstzweck klar sein sollte)

vermuten lässt. *West & Marland* (2002) berechneten, dass eine Umstellung auf bodenschonenden (“*no-tillage*”) Ackerbau in den USA die Nettoemissionen pro Hektar um bis zu 370 kg C pro Jahr reduzieren würde. Dies ist einerseits auf die Verringerung der Emissionen bei der Bodenbearbeitung zurückzuführen, andererseits aber auch durch den höheren Nährstoffstatus der Böden (*Wang et al.*, 2008), der den Bedarf an emissionsbelasteten Düngern verringert. Die Effekte der Bodenerosion sind in diesen Berechnungen nicht berücksichtigt, allerdings deuten die Ergebnisse den potenziell positiven Effekt an: Die Menge an erodiertem Kohlenstoff, die laut *van Oost et al.* (2007) als Folge der Bodenerosion dem Kohlenstoffkreislauf entzogen wird, entspricht 70 kg pro Hektar und Jahr. Wenn also durch bodenschonenden Ackerbau diese Menge verringert wird, dann steht demgegenüber eine mehr als fünfmal höhere Reduzierung der Emissionen, ausserdem eine nachhaltigere Bewirtschaftung der Böden und eine Schonung der Nährstoffressourcen.

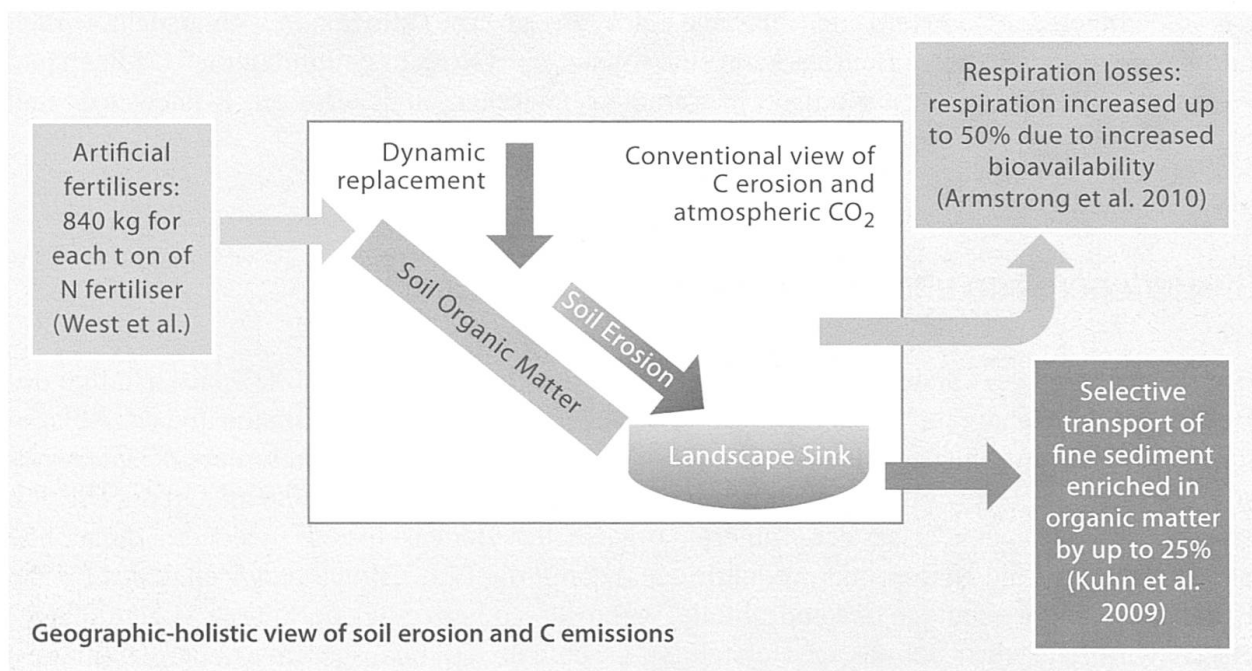


Abb. 5 Konventionelle und geographisch-ganzheitliche Emissionsbilanzierung der Bodenerosion.

4 Fazit und Ausblick

Die Analyse der Folgen von Bodenerosion für globale Stoffkreisläufe zeigt deutlich, dass eine abschliessende Bewertung der Folgen von Umweltwandel nur mithilfe eines ganzheitlichen Ansatzes möglich ist, der frühzeitig im Forschungsprozess sämtliche Möglichkeiten der Veränderung im Zusammenwirken der Sphären und deren Eigenschaften aufzeigt. Die Risiken, vom komplexen Wirkungsgefüge der Natur “überrascht” zu werden (*Myers* 1995), erfordern eine entsprechend offene Herangehensweise. Die Geographie leistet hierzu sowohl im Rahmen von *Earth Systems Sciences* wie auch im Rahmen der *Landschaftsökologie* zwei wesentliche Beiträge: Einerseits kann sie mit ihrer Kompetenz der Erforschung von Landschaften die gesamte Bandbreite möglicher Interaktionen zwischen Sphären in eine Systemanalyse einbringen. Dies zeichnet die Geographie gegenüber anderen Umweltdisziplinen aus, die jeweils nur Teilaspekte, wenn auch mit grösserer Tiefe, untersuchen. Die über die Betrachtung von Bodenerosion als Sedimentverlagerung hinausgehende Analyse im vorhergehenden Abschnitt versucht diesen Beitrag zu illustrieren.




ren. Der zweite Beitrag der Geographie ist die Abschätzung der Relevanz von Umweltereignissen und deren Folgen im Raum. Auch hier zeigt der Vergleich der potenziellen Reduzierung von Emissionen in der Fläche gegenüber der Ablagerung von Kohlenstoff die Bedeutung des geographischen Beitrags in der Umweltforschung. Ein weiteres Beispiel ist die ernüchternde, wenn auch simple Erkenntnis, dass Boden eine in der Fläche begrenzte Ressource ist und daher manche Ideen zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe in das Reich der Phantasie gehören (Sinn 2008). Neben der Bedeutung der Geographie innerhalb der Earth Systems Science geben diese der Geographie allerdings auch einen wichtigen Hinweis für deren Entwicklung in den nächsten 100 Jahren: Probleme wie globale Stoffkreisläufe, Ernährung oder die Sicherung der Rohstoffversorgung können nur mit einem Verständnis für die gesamte Anthroposphäre bewältigt werden. Dies bedeutet, dass die Teilbereiche der Geographie in den nächsten 100 Jahren gemeinsam gefordert sind.

Literatur

- Bryan R. B. 2011. *Ordeal by Ice: Ships of the Antarctic*. Cork, 1–544.
- Clifford N.J. & Richards K.S. 2005. Earth Systems Science: an oxymoron? *Earth Surface Processes and Landforms* 30: 379–383.
- Collins M. & Lindbergh C. 2001. *Carrying the Fire: An Astronaut's Journeys*. United States, 1–60.
- Ehlers E. 2010. The Anthropocene – A New Chance for Geography? *Die Erde* 41/4: 1–16.
- Fiennes R. 2004. *Captain Scott*. Philadelphia, 1–508.
- Huntford R. 1985. *Scott and Amundsen. The last place on Earth*. London, 1–528.
- Kuhn N.J., Hoffmann T., Schwanghart W. & Dotterweich M. 2009. Agricultural soil erosion and global carbon cycle: controversy over? *Earth Surf. Process. Landforms* 34: 1033–1038.
- Kuhn N.J. 2010. Erosion and climate. *Nature Geoscience* 3: 738.
- Lal R. & Pimentel D. 2008. Soil Erosion: A Carbon Sink or Source. *Science* 319/5866: 1040–1042.
- Leser H. (Hrsg.) 2011. *DIERCKE-Wörterbuch Allgemeine Geographie*. München, 1–1127.
- Lovelock J.E. 1989. *The Ages of Gaia*. Oxford, 1–252.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. & Behrens III W.W. 1972. *The Limits to Growth*. New York, 1–205.
- Myers N. 1995. Environmental Unknowns, *Science* 269: 358–360.
- Quine T.A. & van Oost K. 2007. Quantifying carbon sequestration as a result of soil erosion and deposition: retrospective assessment using caesium-137 and carbon inventories. *Global Change Biology* 13(12): 2610–2625.
- Quinton J. N., Govers G., van Oost K. & Bardgett R.D. 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience* 3(5): 311–314.
- Rosemarin A. 2010. Peak Phosphorus and the Eutrophication of Surface Water: A Symptom of Disconnected Agricultural and Sanitation Policies. In: Lundqvist J. 2011. *On the Water Front: Selections from the 2010 World Water Week in Stockholm*. Stockholm, 73–83.
- Sinn H.-W. 2008. Das grüne Paradoxon: Warum man das Angebot bei der Klimapolitik nicht vergessen darf. *Perspektiven der Wirtschaftspolitik* 9: 109–142.
- Solomon S., Qin D., Manning M., Alley R.B., Berntsen T., Bindoff N.L., Chen Z., Chidthaisong A., Gregory J.M., Hegerl G.C., Heimann M., Hewitson B., Hoskins B.J., Joos F., Jouzel J., Kattsov V., Lohmann U., Matsuno T., Molina M., Nicholls N., Overpeck J., Raga G., Ramaswamy V., Ren J., Rusticucci M., Somerville R., Stocker T.F., Whetton P., Wood R.A. & Wratt D. 2007: Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, 1–142.
- Stallard R. F. 1998. Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: Coupling weathering and erosion to carbon burial. *Global Biogeochemical Cycles* 12(2): 231–257.
- Sverdrup H. & Ragnarsdottir K.V. 2011. Challenging the planetary boundaries II: Assessing the sustainable global population and phosphate supply, using a systems dynamics assessment model. *Applied Geochemistry* 26: 307–310.
- Van Oost K., Quine T. A., Govers G., De Gryze S., Six J., Harden J. W., Ritchie J. C., McCarty G. W., Heckrath G., Kosmas C., Giraldez J. V., Marques da Silva J. R. & Merck R. 2007. The Impact of Agricultural Soil Erosion on the Global Carbon Cycle. *Science* 318: 626–629.

- Wang Q., Bai Y., Gao H., He J., Chen H., Chesney R. C., Kuhn N. J. & Li H. 2008. Soil chemical properties and microbial biomass after 16 years of no-tillage farming on the Loess Plateau, China. *Geoderma* 144(3-4): 502–508.
- West T.O. & Marland G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91: 217–232.
- Weichhart P. 2003. Physische Geographie und Human-geographie – eine schwierige Beziehung: Skeptische Anmerkungen zu einer Grundfrage der Geographie und zum Münchner Projekt einer “Integrativen Umweltwissenschaft”. In: Heinritz G. (Hrsg.): *Integrative Ansätze in der Geographie – Vorbild oder Trugbild? Münchner Symposium zur Zukunft der Geographie*. Passau, 17–34.

Internetquellen

- ₁ Kopatz M. 2011. *Nachhaltige Entwicklung: Das Leitbild für eine ökologisch-tragfähige und generationengerechte Entwicklung*. Online verfügbar: <http://www.fes-online-akademie.de/modul.php?md=6&c=texte&id=103> [Stand: 23.11.2011]
- ₂ Ruzek M. 2010. *Earth Systems Science in a Nutshell*. Online verfügbar: <http://serc.carleton.edu/introgeo/earthsystem/nutshell/> [Stand: 19.11.2011]
- ₃ Hobish M.K. 2011. *Earth System Cycles*. Online verfügbar: http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect16/Sect16_4.html [Stand: 19.11.2011]