

GEOFOKUS



Sind die Geowissenschaften im Anthropozän angekommen?

Von Reinhold Leinfelder¹ und Christian Schwägerl²

Wir leben im Anthropozän – eine wissenschaftliche Hypothese

Die alten Grenzziehungen zwischen Natur und Kultur verlieren seit mehreren Jahrzehnten ihre Bedeutung. Vom Klimawandel bis zur synthetischen Biologie ist die Erde heute von Phänomenen geprägt, die es schwer machen, klare Grenzen zwischen Natur und Kultur zu erkennen. Eine Projektion aktueller Trends in die Zukunft führt zu dem Ergebnis, dass die Erde künftig noch deutlich stärker vom Menschen geprägt sein wird, als es ohnehin schon der Fall ist. Wenn die Zahl der Menschen von heute sieben Milliarden bis zum Jahr 2100 auf neun oder zehn Milliarden steigt und diese Menschen die Ressourcen der Erde immer weiter auf die derzeitige Art und Weise nutzen, entsteht eine „Menschen-Erde“, auf der menschliche Bedürfnisse, die menschliche Infrastruktur sowie menschliche Wirkung auf die Natursphären eine dominante Stellung im Erdsystem einnehmen (Abb. 1). Dies kommt im relativ neuen Begriff des „Anthropozän“ zum Ausdruck, der auf den Atmosphärenchemiker und Nobelpreisträger Paul J. Crutzen zurückgeht (Crutzen & Stoermer 2000, Crutzen 2002).

Die Anthropozän-Idee ist zuallererst eine wissenschaftliche Hypothese. Sie besagt, dass die vom Menschen initiierten Veränderungen sich bereits in geologisch sichtbarer Form niederschlagen und von ausreichend langfristiger Natur sind, um sie auf der Zeitskala der Erdgeschichte zu verorten. Sie impliziert zugleich, dass aktuelle und zukünftige geologische Prozesse und Dynamiken, wie Sedimentation, Meeresspiegelverlauf, Wasserhaushalt oder geobiologische Kreisläufe zum Teil anders verlaufen, als dies noch im Holozän der Fall war. Zugleich lässt sich das Anthropozän als Beginn einer neuen Gesamtsicht von der Rolle des Menschen auf der Erde interpretieren, einer Gesamt-

sicht, die in einem offenen kollektiven Prozess erst noch zu entwickeln ist.

Der Mensch hat das Erdsystem schon seit seinem Entstehen als biologische Art vor rund 200.000 Jahren genutzt und verändert. Während diverser Eis- und Zwischeneiszeiten des Pleistozäns war *Homo sapiens* als Jäger so effektiv, dass er mehrere Arten ausrottete. Im nacheiszeitlichen Holozän schaffte der Mensch einen steilen Aufstieg zu einer wichtigen Kraft im Erdsystem. Er entwickelte Ackerbau, Viehzucht, Städtebau, Handel und Verkehr. Er begann dabei, Stoffströme zu verändern und seine Umwelt regional grundlegend umzugestalten, etwa durch die Abholzung im Mittelmeerraum und die Kultivierung weiter Landstriche für seine Ernährung. Seit Beginn der Industrialisierung, also in den vergangenen rund 250 Jahren, haben sich die Effekte menschlichen Tuns in doppeltem Sinn globalisiert. Sie treten zum einen auf der ganzen Welt auf und zum anderen erreichen sie, wie etwa der anthropogene Klimawandel, eine globale Skala.

Aktuelle Zahlen illustrieren, wie realistisch die Anthropozän-Hypothese ist. So ist bereits heute nur noch ein Viertel der eisfreien Landoberfläche in einem menschlich eher unbeeinflussten Zustand. Statt in Biomen, also natürlichen Lebensräumen, leben wir heute hauptsächlich in „Anthromen“ (Ellis & Ramankutty 2008), also menschengemachten Kulturlandschaften (Abb. 2). Der Mensch lagert durch Landwirtschaft und Bautätigkeit fast dreißig Mal mehr Sediment und Gestein um, als es im Schnitt der letzten 500 Millionen Jahre ohne sein Zutun der Fall gewesen ist (Wilkinson 2005; Abb. 3). Er gestaltet ganze Wassersysteme um und trocknet Binnenmeere wie den Aralsee aus. Die Sedimentfracht der Flüsse wird von zehntausenden menschengemachten Staudämmen abgefangen und gelangt nur noch zu einem geringen Teil in die Meere. Dort ziehen sich die Flussdeltas mangels

Abb. 1: Anthropozän-Exkursion mit Studierenden am Teufelsberg, dem höchsten Berg Berlins, der einen anthropozänen Schuttberg darstellt.

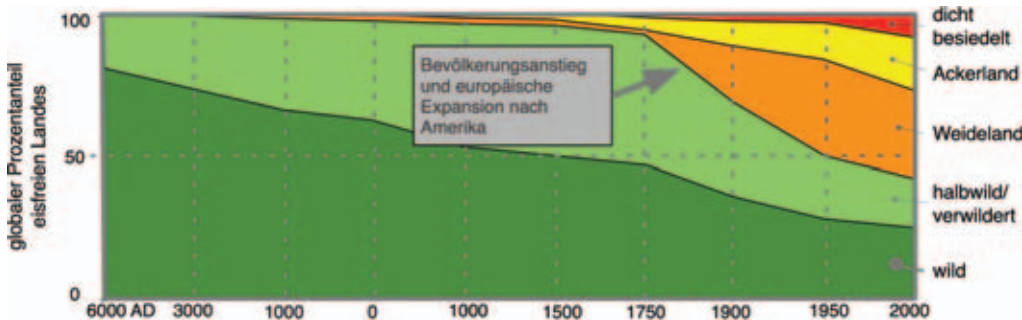


Abb. 2: Die Auswirkungen menschlicher Eingriffe sind mittlerweile auf etwa 75 Prozent der eisfreien Erdoberfläche deutlich sichtbar. Statt aus Biomen besteht die Welt heute überwiegend aus Anthromen (nach Ellis 2011, Jones 2011).

Sedimenten zurück, was an vielen Orten den Meeresspiegel lokal stark steigen lässt (Syvitski & Kettner 2011). Plastikpartikel werden zum neuen Sedimenttyp. In manchen Regionen des Pazifiks kommen heute auf ein natürliches Planktonteilchen 50 Plastikteilchen, die von Fischen mit Plankton verwechselt und gefressen werden (Fentis 2008).

Die Hälfte des kontinuierlich verfügbaren Süßwassers wird inzwischen in der einen oder anderen Form vom Menschen genutzt, was massive Änderungen in Fließmustern zur Folge hat (Merrits et al. 2011). Eine weitere geologische

Umgestaltung stellt der menschliche Umgang mit Rohstoffen für die Industrieproduktion dar. Aluminium, seltene Erden, Phosphat und viele andere Stoffe werden aus konzentrierten Lagern extrahiert und über die Entsorgung von Elektroschrott und Abraum global neu verteilt. Mengemäßig noch mehr ins Gewicht fallen die Abgase aus der Gewinnung und Verbrennung fossiler Energieträger und aus der industrialisierten Landwirtschaft: Der Gehalt von Kohlendioxid und Methan in der Atmosphäre war seit 400.000 Jahren nicht höher, der menschengemachte Stickoxid- und Schwefeldioxidausstoß über-

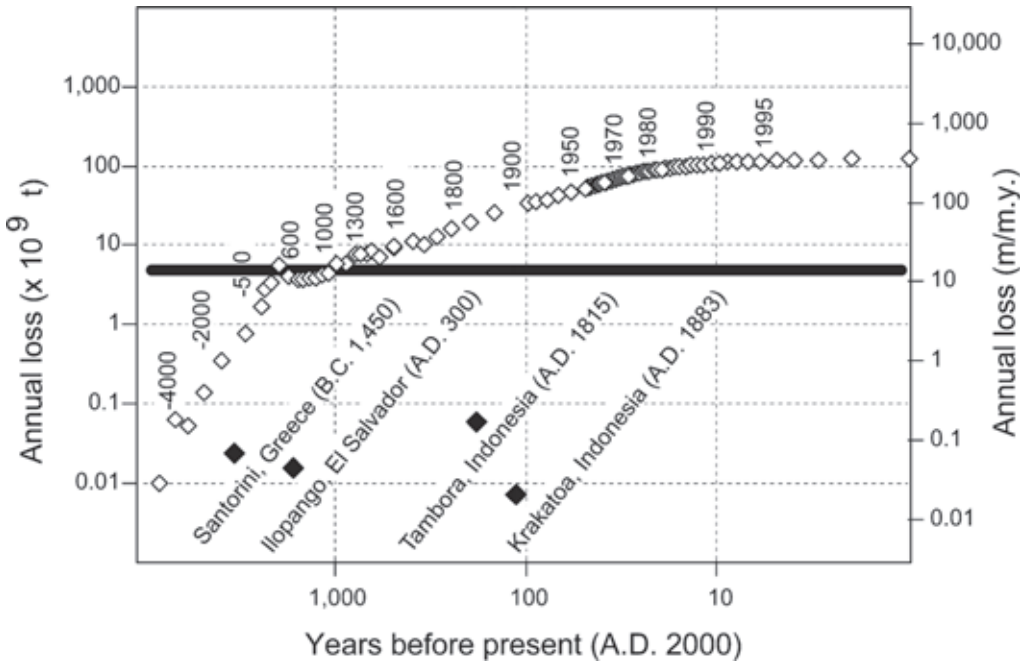


Abb. 3: Historische Raten anthropogener Erosion (offene Rauten). Zum Vergleich dargestellt (schwarze Rauten) sind die Volumina einiger großer vulkanischer Eruptionen; die dicke schwarze Linie stellt die mittlere erdgeschichtliche Denudationsrate von 24 Meter pro Million Jahre dar (aus Wilkinson 2005).

steigt nun natürliche Quellen. Selbst wenn ab sofort kein Erdöl, kein Erdgas und keine Kohle mehr verbrannt würden, würde es wegen der langen atmosphärischen Verweildauer von CO_2 bis zehntausend Jahre dauern, bis wieder vorindustrielle Werte erreicht wären (vgl. Crutzen 2002, William et al. 2011). Die Ausrottung von Tieren im Pleistozän erweist sich heute nur als Auftakt für ein viel gewaltigeres Geschehen: Die Aussterberate von Tier- und Pflanzenarten ist nach Meinung vieler Forscher derzeit 100-fach (bis 1000-fach) höher als im phanerozoischen Mittel (mit Ausnahme der globalen Aussterbereignisse). Der Mensch hilft zugleich durch globale Transportvorgänge vielen Arten, sich weltweit über ihre bisherigen Areale auszubreiten. Menschliches Tun verändert massiv die Zusam-

mensetzung von Lebensgemeinschaften und damit langfristig sogar den Fossilienbestand der Zukunft. Ähnlich langfristig wirken Atombombentests und Unfälle in Kernkraftwerken mit ihrer Signatur von Radionukliden.

Das Anthropozän-Konzept: von der Umwelt zur Unwelt

Solche und andere Neuerungen im globalen Stoffkreislauf haben Paul J. Crutzen veranlasst, das Wirken der Menschen nicht mehr nur auf der Skala von Jahren und Jahrzehnten, sondern auf der geologischen Skala zu betrachten. Im Jahr 2000 hat er zusammen mit dem US-amerikanischen Biologen Eugene Stoermer vorgeschlagen, die laufende Epoche, das nacheiszeitliche Holozän, für beendet zu erklären und

das menschliche Wirken im „Anthropozän“ zu fassen. Was als Idee begann, hat nun weltweit einen breiten und vielfältigen Forschungsprozess initiiert. Die Weiterentwicklung des Konzepts wird durch eine internationale Gruppe von Geologen vorangetrieben und formalisiert, aber auch Geografen, Historiker, Literatur-, Sozial-, Kultur- und Wirtschafts-, Rechts-, Ingenieurwissenschaftler und andere greifen das Konzept nutzbringend auf (siehe z.B. William et al. 2011). Im Unterschied zu klassischen Ansätzen der Umweltvorsorge, die entweder auf Vermeidung setzen, um die Welt im bisher so stabilen Holozän zu belassen oder technikbasierte Adaptation vorantreiben wollen, um der menschenveränderten Umwelt Rechnung zu tragen, stärkt das Anthropozän-Konzept den systemischen Bezug, berücksichtigt unterschiedliche Zeitskalen und generiert Zukunftsverantwortung, indem der Mensch und sein industrieller Metabolismus in das Natursystem mit einbezogen werden. Insgesamt soll dadurch eine verträgliche und nachhaltige Gestaltung der zukünftigen Welt erreicht werden. Hierzu müssen allerdings Skalierungen, Systeme, Entwicklungen und Dynamiken der Natur hervorragend bekannt sein bzw. genauer erforscht werden.

Eine Arbeitsgruppe der Internationalen Kommission für Stratigraphie (ICS) hat eine offizielle Prüfung begonnen und will 2017 ein erstes Votum vorlegen. Zugleich beginnt eine Reihe von Institutionen mit dem Nachdenken über die Weiterungen des Anthropozän-Konzepts für die menschliche Selbstwahrnehmung und das menschliche Handeln. Bereits im frühen 20. Jahrhundert hatten der katholische Philosoph Teilhard de Chardin sowie der russische Geologe Wernadski ähnliche Überlegungen angestellt. De Chardin und Wernadski sprachen von der „Noosphäre“, der Sphäre der Kommunikation und des Wissens (kürzlich von New-York-Times-Journalist Andrew Rewkins als „Knowosphere“ wieder eingeführt), als neuem und gleichbedeutendem Element zusätzlich zu Geosphäre und Biosphäre. Sie hoben die enorme Gestaltungskraft hervor, die dem Menschen seit dem 20. Jahrhundert für die Erde der Zukunft zuwächst.

Das wirft die Frage auf, was es bedeutet, das Holozän zu verlassen und künftig im Zeitalter des Menschen zu leben. So diskutieren prominente Historiker wie John McNeill und Dipesh Chakrabarty darüber, wann der Beginn der „Unswelt“ (Leinfelder 2011) sinnvoll angesetzt werden kann: bei der sogenannten Neolithischen Revolution vor rund 10.000 Jahren, als die Menschen zu Ackerbau und Viehzucht übergingen; bei der Industriellen Revolution vor rund 250 Jahren, die u.a. den Wandel von einer auf solarer Energie zu einer auf fossiler Energie beruhenden Wirtschaft brachte; oder in den Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg, als der Konsum vor allem in der westlichen Welt geradezu explodierte. Welches dieser Epochen-schemata man auch immer als besonders sinnvoll erachtet, in jedem Fall verändert die Perspektive des Anthropozäns die Einschätzung der maßgeblichen Triebkräfte und Weichenstellungen der Menschheitsgeschichte. Das Anthropozän-Konzept könnte also auch dazu beitragen, neue Werte und Verantwortungsmuster, neue gesellschaftliche Vorgehensweisen und neue Wege der Interdisziplinarität und Partizipation in Wissenschaft, Technik und Gesellschaft zu finden (vgl. Leinfelder 2012b).

Herausforderungen für das Anthropozän-Konzept

Falsch angewandt könnte das Anthropozän-Konzept missverstanden und damit kontraproduktiv werden. Zwar geht es maßgeblich auch um eine Bestandsaufnahme und ein Monitoring des menschlichen Einflusses auf das Erdsystem, dennoch meint das Konzept nicht die Auflistung aller Übel, die der Mensch mit der Natur angestellt hat. Kultur-, Sozial-, Geisteswissenschaften bis hin zur Kunst rezipieren das Konzept in aller Regel positiv, wobei konstruktivistische Strömungen gerne generell die wissenschaftliche Vorhersagbarkeit von Zukunftsszenarien in Frage stellen und damit dem gestalterischen Gedanken des Anthropozäns kritisch gegenüber stehen. Gefährlich könnte es werden, wenn aus der Notwendigkeit des verantwortlichen Gestaltens des Anthropozäns ein Freibrief für Techno-

logiegläubigkeit und zu kurz gedachte globale Ingenieurlösungen abgeleitet werden könnte. Möglicherweise könnte man sich dabei sogar auf den Vater des Anthropozäns, Paul Crutzen berufen, der ein globales Geoengineering, etwa das Einblasen von Aerosolen in die Atmosphäre zur Reduzierung der Sonneneinstrahlung, nicht grundsätzlich ausschließen will, jedoch ausschließlich als allerletzten Notanker sehen möchte. Religiöse Gruppen sind bisher vom Anthropozän angetan, da Intergenerationengerechtigkeit, sowie verantwortliche Pflege der Schöpfung mit dem Anthropozän-Konzept vereinbar sind, dennoch könnte eine Anmaßung konstruiert werden, dass der Mensch nun Gott als Schöpfer ablösen möchte (Leinfelder 2012b). Weitere Einwände stammen von manchen Akteuren der Geowissenschaften selbst. Zu hören ist, dass es ja bereits Quartärgeologie gebe (was jedoch verkennt, dass Anthropozän-Forschung keinesfalls nur die heutige Situation beschreiben möchte) oder dass es sich eher um ein Verwässerungskonzept handle, manchmal von Geologen und Paläontologen mit dem unschönen Ausdruck „Geographisierung der geologischen Wissenschaften“ belegt. Tatsächlich greifen Teile der Geographie das Konzept sehr aktiv und gewinnbringend auf, so schrieb E. Ehlers im Jahr 2008 das bemerkenswerte Buch „Das Anthropozän – Die Erde im Zeitalter des Menschen“, was unter anderem eine Disziplin-geschichte der Geographie mit beinhaltet. Dennoch scheinen längst nicht alle Geographen vom Mehrwert des Anthropozän-Gedankens überzeugt zu sein, erfordert er doch einen Weg von der ebenfalls starken Sektoralisierung der Geographie hin zu einem eher systemischen Ansatz, welches von Ehlers mit „Geographie als tragfähiges Kontinuum“ charakterisiert wird. Wieder andere scheinen zu unterstellen, dass das Anthropozän nichts weiter als ein Versuch der Geologie sei, eine angeblich versäumte Gesellschaftsrelevanz der geologischen Wissenschaften nun unter dem Deckmantel des Anthropozäns einführen zu wollen.

Tatsächlich erfordert der Anthropozän-Gedanke insbesondere inter- und transdisziplinäre For-

schung. Es geht dabei auch um das Durchdringen aller möglichen Auswirkungen unseres derzeitigen und zukünftigen Handelns. Die Forschungslandschaft erscheint hierfür allerdings bislang oft ungeeignet. Gerade in Deutschland ist die Versäulung innerhalb der fachlich häufig eng definierten Fakultäten immer noch sehr hoch. Geeignete inter- und transdisziplinäre, regional und international verknüpfende Strukturen wie Center, Colleges, Schools nehmen zwar zu, sind aber immer noch zu wenig entwickelt. Viele Universitätsleitungen, Fakultäten, Wissenschaftler und Studierende sind häufig eher gegen die Einrichtung neuartiger inter- oder transdisziplinärer Schools und Colleges. Sie neigen einer erweiterten interdisziplinären Kombination von Bachelor- und Masterstudiengängen oft nur sehr eingeschränkt zu und führen gerne fehlende Berufsfelder für interdisziplinär ausgebildete Absolventen an, obwohl gerade dies neue Berufschancen ermöglichen könnte. In der Regel müssen interdisziplinär arbeitende Forscher heute schon eine geglückte disziplinäre Karriere sozusagen als Absicherung hinter sich haben. Entsprechend schlagen nur wenige junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von vornherein den interdisziplinären Weg ein. Notwendig wären Kriterien für leistungsbezogene Zuweisungen, die auch Inter- und Transdisziplinarität honorieren. Auch könnten verbesserte Laufbahnchancen für interdisziplinär arbeitende Nachwuchswissenschaftler angeboten werden (nach Leinfelder 2011, WBGU 2011)

Ein Missverständnis wäre auch die Unterstellung, dass das Anthropozän eine Methode zur Generierung von nachträglicher Akzeptanz all dessen sei, was die Wissenschaft und Technik leisten könne. Statt dessen geht es um eine echte Legitimierung der Wissensbasiertheit unseres Vorgehens und um echte Partizipation der Bevölkerung an der Gestaltung des Anthropozäns. Technik basiert zwar auf wissenschaftlicher Erkenntnis, ist jedoch menschengemacht und erfordert deshalb eine gesellschaftliche Diskussion über Entwicklung, Anwendung und Nutzen in unserer gegenwärtigen und zukünftigen Welt. Um im Anthropozän die richtigen Entscheidun-

gen zu treffen, ist es wichtig, dass die Menschen Gelegenheit bekommen, über ihr Verhältnis zur Technik, Natur und Kultur nachzudenken. Dazu benötigen wir sowohl ein Verständnis von Naturwissenschaft und Technik, Geschichte und Gesellschaft als auch die Fähigkeit zum kritischen Hinterfragen wissenschaftlicher Daten und Positionen. Um auf die Frage, was wir wollen, eine Antwort zu finden, müssen Szenarien und alternative Visionen entwickelt werden, die reflektiert und ausprobiert werden müssen. Hier mündet Forschung für das Anthropozän in Bildung für das Anthropozän, eine Herausforderung, die ebenfalls fachübergreifend angegangen werden muss.

Anthropozänes Arbeiten – was bedeutet das für die geowissenschaftlichen Fächer?

Geowissenschaftliche Forschung umfasste seit jeher sowohl Grundlagenforschung als auch angewandte, gesellschaftsrelevante Forschung. Dinosaurierforschung mag für viele das Grundlagen-Ende, Ingenieurgeologie das angewandte Ende des Spektrums repräsentiert haben. Schon lange ist jedoch Grundlagenforschung immer mehr auch zu grundlagenbasierter Anwendungsforschung geworden. Dies gilt für die geowissenschaftlichen Erkenntnisse zu Biodiversitätsmustern und Selektionsfaktoren genauso wie für weite Teile geochemischer, sedimentologischer, mineralogischer, geophysikalischer, tektonischer, vulkanologischer, geobiologischer oder erdgeschichtlicher Forschung. Damit bietet sich die umfassende Beteiligung der geologischen Wissenschaften an den Anthropozän-Wissenschaften zwingend an. Anthropozän-Wissenschaften müssen interdisziplinär, systemisch und raum-zeitbezogen sein. Zur wissenschaftlichen Gestaltung des Anthropozäns muss sowohl aus der Zukunft (Zukunftsszenarien unterschiedlicher Handlungspfade) als auch der Vergangenheit (natürliche Fallbeispiele) gelernt werden. Die Paläontologie, Geobiologie und Stratigraphie sollt sich schon allein deshalb aktiv an Anthropozän-Forschungen beteiligen, da die Erdgeschichte hervorragende Fallbeispiele für unterschiedliche

Skalierungen, für Dynamiken und *Tipping-Points* sowie für Klassifikations- und Korrelationsmöglichkeiten bietet. Beispiele mit Anthropozän-Bezug gibt es zuhauf in der Erdgeschichte, etwa die Reaktivität und Evolution mariner Ökosysteme auf Umweltveränderungen, die Rekonstruktion „teleskopierter“ rascher Umweltereignisse insbesondere in kondensierten Schichten, Meeresversauerungen, Fluktuationen der Aragonit-Lysoklinen und Kalzit-Kompensationstiefen in Bezug auf die Plankton-Reaktivität, Sauerstoffzehrung bei Meeresspiegelanstiegen und Eutrophierungen, aber auch Anpassungen und Organismenmigrationen nach geologischen und klimatischen Veränderungen oder neue Adaptations- und Diversifikationsmuster nach lokalen und regionalen Aussterbeereignissen. Auch aktuopaläontologisch-geobiologische Studien sollten in den Kontext der Anthropozänforschung einbezogen werden, wie z.B. „atavistisches“ Adaptationsverhalten von Organismen und Ökosystemen (Leinfelder et al. 2012 b), umweltrelevante geo- und biochemische Stoffflüsse oder die Abhängigkeit biologischer Wirkstoffproduktion von Umweltstressparametern. Die Vorgänge an der Paläozän-Eozän-Grenze oder an der Eem-Basis dienen als repräsentative Szenarien für mögliche zukünftige globale Umweltszenarien. Pharmazierelevante Wirkstoffforschung wird heute bereits häufig von Geobiologen betrieben. Fischereirelevante Sauerstoffmangelzonen in den Meeren können mit geochemischen Methoden historisch analysiert und modellhaft vorhergesagt werden. Bodengeobiologie ist essenziell zum Verständnis der nachhaltigen Bewirtschaftung von Böden. Hydrogeologen erstellen Modelle zur Wasserverfügbarkeit der Zukunft und Sedimentologen werden benötigt, um auch in einem „postfossilen“ Energiezeitalter Speichermöglichkeiten für anthropogenes CO₂ oder für aus Stromüberschüssen generiertes Methan aufzuzeigen und zu bewerten. Die Liste wäre beliebig verlängerbar.

Insbesondere wird es notwendig sein, drei wesentliche Aspekte der Erdsystemforschung auszubauen:

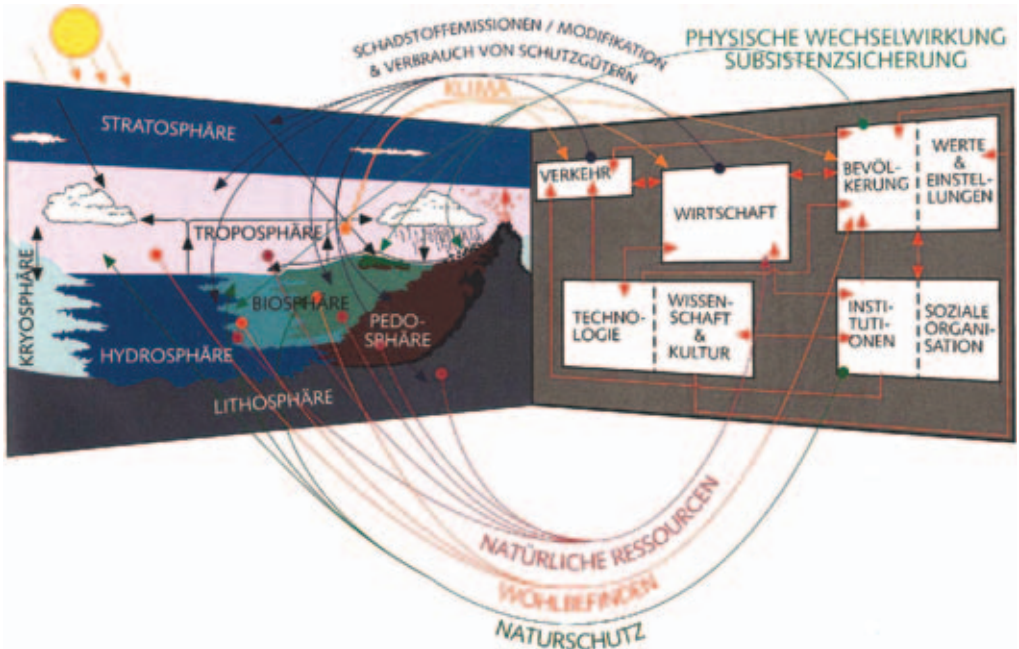
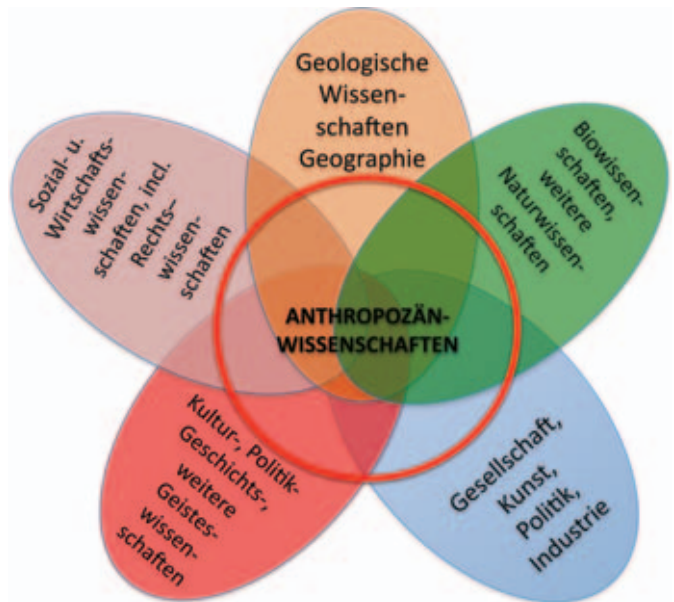


Abb. 4: Wechselwirkungen zwischen Natur- und Anthroposphäre. Der Kerngedanke des Anthropozäns besteht darin, Natur- und Anthroposphäre nicht als duale Gegensätze, sondern als ein interagierendes System zu sehen (aus WBGU 1993).

1) *Verbessertes systemisches Arbeiten:* Geologische Prozesse laufen verschachtelt, selbstverstärkend, sich gegenseitig abschwächend, jedenfalls fast immer in Wechselbeziehungen ab. Damit bieten die Geowissenschaften eine Beispielsammlung für Pufferwirkungen genauso wie systemische Kippunkt-Forschung. Atmosphärische CO₂-Gehalte der Erdgeschichte, die Versauerungsproblematik der Ozeane, Klimaänderung durch natürliche „Landnutzungs“-Änderungen (etwa Entstehung von Regenwäldern, Savannenbildung, Wüstenbildung), regionale und globale Aussterbeereignisse sowie vieles mehr eignen sich als wissenschaftliches Anschauungs- und Beispielmateriale zur Bewertung zukünftiger Umweltveränderungen bzw. gezielter anthropogener Eingriffe in Umweltprozesse.

2) *Verbessertes Denken und Forschen in Zeitskalenbezügen:* Vieles von dem, was wir jetzt tun, hat Auswirkungen in geologischen Zeiträumen. Dies gilt etwa für die anthropozän bedingten Klimaänderungen, massive Änderungen der Sedimentationsmuster, Artenlücken nach Aussterbeereignissen oder nukleare Unfälle. Der Kurzskaligkeit dieser Welt können die Geowissenschaften ihre Verschachtelung mit der Langskaligkeit entgegensetzen. Das „Lange Jetzt“ gilt es in das wissenschaftliche Denken auch anderer Disziplinen einzubauen. Spuren menschlicher Bautätigkeit, invasive Arten, neue Chemo-„fossilien“, die Umverteilung von seltenen Metallen und Erden aus wenigen Lagerstätten der Erde in eine Globallandschaft aus „Gewürzmetallen“, oder der Verbleib terrigener Müllpartikel in pazifischen Ozeanwirbeln können

Abb. 5: *Anthropozänwissenschaften ergeben sich als inter- und transdisziplinäre Schnittmenge bestehender Wissenschafts- und Akteursfelder durch Hinzunahme transformativer Aspekte in den jeweiligen Sektoren (sensu WBGU 2011) sowie durch echte Inter- und Transdisziplinarität (im Unterschied zu reiner Multidisziplinarität).*



erklären helfen, wie Lang- und Kurzfristskalen ineinandergreifen. Auch in der Erdgeschichte müssen dazu Langfrist- und Kurzfristszenarien deutlich differenziert betrachtet werden. Aussagen wie „Tropische Riffe sind schon mehrfach in der Erdgeschichte ausgestorben, aber immer wieder zurückgekommen“ mögen aus geowissenschaftlicher Langskalensicht korrekt sein, eine Anthropozän-Relevanz bekommt dies jedoch nur, wenn gleichzeitig erforscht wird, wie lange die Lückenzeiten nach regionalen oder globalen Aussterbeereignissen tatsächlich waren – sie belaufen sich bekanntermaßen auf Hunderttausende bis Millionen von Jahren, für die Lücke gut ausgebildeter korallenreicher Flachwasserriffe nach dem intraspädevonischen Aussterbeereignis sogar auf etwa 140 Millionen Jahre – kein Trost für die anthropozäne Korallenriffkrise. Insgesamt kann die empirische raumzeitliche Datenbasis der geologischen Überlieferung gewinnbringend als Testmodell für naturwissenschaftliche Zukunftsszenarien und Prozessabläufe verwendet werden. Hierzu müssen jedoch deutlich mehr hoch-

auflösende Fallbeispiele aus der Erdgeschichte als bisher behandelt werden.

3) Das Erdsystem besteht im Anthropozän nicht mehr nur aus den Natursphären, sondern auch aus den Soziosphären, die man als Anthroposphäre zusammenfassen kann (WBGU 1993; Abb. 4). Auswirkungen unseres Verbrauchs an Naturressourcen, unseres Wirtschaftens und unseres Handelns verändern die Natursphären. Ein zukunftsfähiges Erdsystem ist daher nur verfügbar, wenn sich auch die Anthroposphäre entsprechend ändert. Das Konzept des industriellen Metabolismus (z.B. WBGU 2011), aber auch weitere Transformationsbemühungen in eine nachhaltige zukunftsfähige Gesellschaft benötigen die nicht nur multidisziplinäre, sondern tatsächlich interdisziplinäre Zusammenarbeit möglichst vieler Disziplinen aus Natur-, Technik-, Kultur-, Geistes-, Sozial-, Wirtschafts-, Rechts- und Politikwissenschaften. Neben den eher grundlagenbetonten Sektoren der geologischen Wissenschaften wie Allgemeine Geologie, Historische Geologie und Paläontologie sollten sich insbesondere auch die geowissenschaftlichen

Materialwissenschaften, die Wirtschaftsgeologie, Ingenieurgeologie, Quartärgeologie, Geochemie, Geophysik und Geobiologie in Verbände zu systemischer Forschung eingliedern. Nach Ossimitz (2000) geht es beim systemischen Denken darum, sich mit der Gesamtheit einer Situation zu befassen und dabei vernetztes Denken, Denken in Zeitabläufen, Denken in Modellen und systemgerechtes Handeln zu integrieren. Die geologischen Wissenschaften haben hier umfassende Kompetenz zu bieten (Abb. 5).

Die ganze Stärke des Anthropozän-Konzeptes liegt darin, eine Arena für ein wissenschaftliches, zukunftsverantwortliches Gestalten des Erdsystems zu schaffen. Diese Arena verdient es, in Deutschland auch wissenschaftlich ausgebaut zu werden. Hier wurde das Konzept des Anthropozäns erdacht, in welchem die Geowissenschaften eine maßgebliche Rolle spielen. Deutschland hat durch zahlreiche wissenschaftliche und technologische Durchbrüche selbst zivilisationsbildend gewirkt. Als dichtbesiedelte Industriegesellschaft hat das Land alle Gründe, sich für diese Art der Zivilisation zu interessieren. Zudem ist Deutschland nicht nur ein herausragender Standort für Geowissenschaften. Deutschland profiliert sich seit einigen Jahren auch als Antreiber der globalen Umweltpolitik, ohne aber bisher eine ideelle Einbettung dieses Handelns anbieten zu können.

Der Imperativ zu wissenschaftlichem und kulturellem Gestalten, der sich aus dem Anthropozän ergibt, könnte größer kaum sein. Oder geologisch gesprochen: Diese Erdepoche hat gerade erst begonnen, es liegt auch in den Händen der Wissenschaften, darunter der Geowissenschaften, sie möglichst lange auszudehnen. Dieser Artikel basiert in Teilen auf Leinfelder et al. (2012a) sowie weiteren u.a. Artikeln der Autoren.

Referenzen und weiterführende Literatur

Crossland, C.J. et al. (2005): *Coastal fluxes in the anthropocene*. - *The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme*, Springer.

Crutzen, P.J. (2002): *Geology of Mankind*, *Nature* **415**, 23.

Crutzen, P. & Stoermer, E. (2000): *The "anthropocene"*. In: *IGBP Global Change Newsletter of the Royal Swedish Academy of Sciences* **41**, 17–18.

Ehlers, E. (2008): *Das Anthropozän – die Erde im Zeitalter des Menschen*. - *WBG Wissenschaftliche Buchgesellschaft*, Darmstadt.

Ellis, E.C. & Ramankutty, N. (2008): *Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world*. *Frontiers in Ecology and the Environment* **6**, 439–447.

Ellis, E.C. (2011): *Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere*. - *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **369**, 1010–1035.

Fentis, J.M. (2008): *Plastics in the oceans. Environmental and water quality impacts of plastic trash*. - *Algalita.org*.

Jones, N. (2011): *Human influence comes of age*. - *Nature* **473**, 133.

Leinfelder, R. (2011): *Von der Umweltforschung zur Unsweltforschung*. - *Frankfurter Allgemeine Zeitung, Forschung und Lehre*, N5, 12.10.2011

Leinfelder, R. (2012a): *Verantwortung für das Anthropozän übernehmen. Ein Auftrag für neuartige Bildungskonzepte*. - *Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Nachhaltigkeitsforschung*, Bd. 5., im Druck.

Leinfelder, R. (2012b): *Paul Joseph Crutzen*. - In: *Leggewie, C. et al. (eds), Schlüsselwerke der Kulturwissenschaften*. Transcript-Verlag, Bielefeld, im Druck.

Leinfelder, R., Schwägerl, C., Möllers, N. & Trischler, H. (2012a): *Die menschengemachte Erde. Das Anthropozän sprengt die Grenzen von Natur, Kultur und Technik*. *Kultur & Technik*, 2/2012, 12–17.

Leinfelder, R., Seemann, J., Heiss, G.A. & Struck, U. (2012b): *Could 'ecosystem atavisms' help reefs to adapt to the anthropocene?* *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, 9–13 July 2012*, Open Access: www.reefbase.org/download/download.aspx?type=1&docid=64916

Merritts, D. et al. (2011): *Anthropocene streams and base-level controls from historic dams in*

the unglaciated mid-Atlantic region, USA. - *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **369**, 976–1009.

Ossimitz, G. (2000): *Entwicklung systemischen Denkens*, München.

Rockstrom, J. et al. (2009): A safe operating space for humanity. *Nature* **461**, 472–475.

Schwägerl, C. (2010): *Menschenzeit. Zerstören oder Gestalten? Die entscheidende Epoche unseres Planeten*. Riemann-Verlag, München.

Syvitski, J.P.M. & Kettner, A. (2011): Sediment flux and the anthropocene. - *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **369**, 957–975.

Stager, C. (2011): *Deep future: The next 100,000 years of life on Earth*. Thomas Dunne Books, New York.

WBGU (1993): *Welt im Wandel. Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen, Jahresgutachten. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Economica*, Bonn.

WBGU (2011): *Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation, Hauptgutachten. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen*.

Wilkinson, B.H. (2005): Humans as geologic agents: A deep-time perspective. *Geology* **33**, 161.

William, M., Zalasiewicz, J., Haywood, A. & Ellis, M. (eds) (2011): Theme Issue 'The Anthropocene: a new epoch of geological time?' - *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **369**, 835–1111.

Zalasiewicz, J. (2010): *Die Erde nach uns: Der Mensch als Fossil der fernen Zukunft*, Spektrum Akad. Verl., Heidelberg.

Autoren:

¹ Prof. Dr. Reinhold Leinfelder (Geologe, Paläontologe), Institut für Geologische Wissenschaften, Freie Universität Berlin

² Christian Schwägerl (Biologe, Autor, Journalist), Aßmannshauer Str. 17, 14197 Berlin