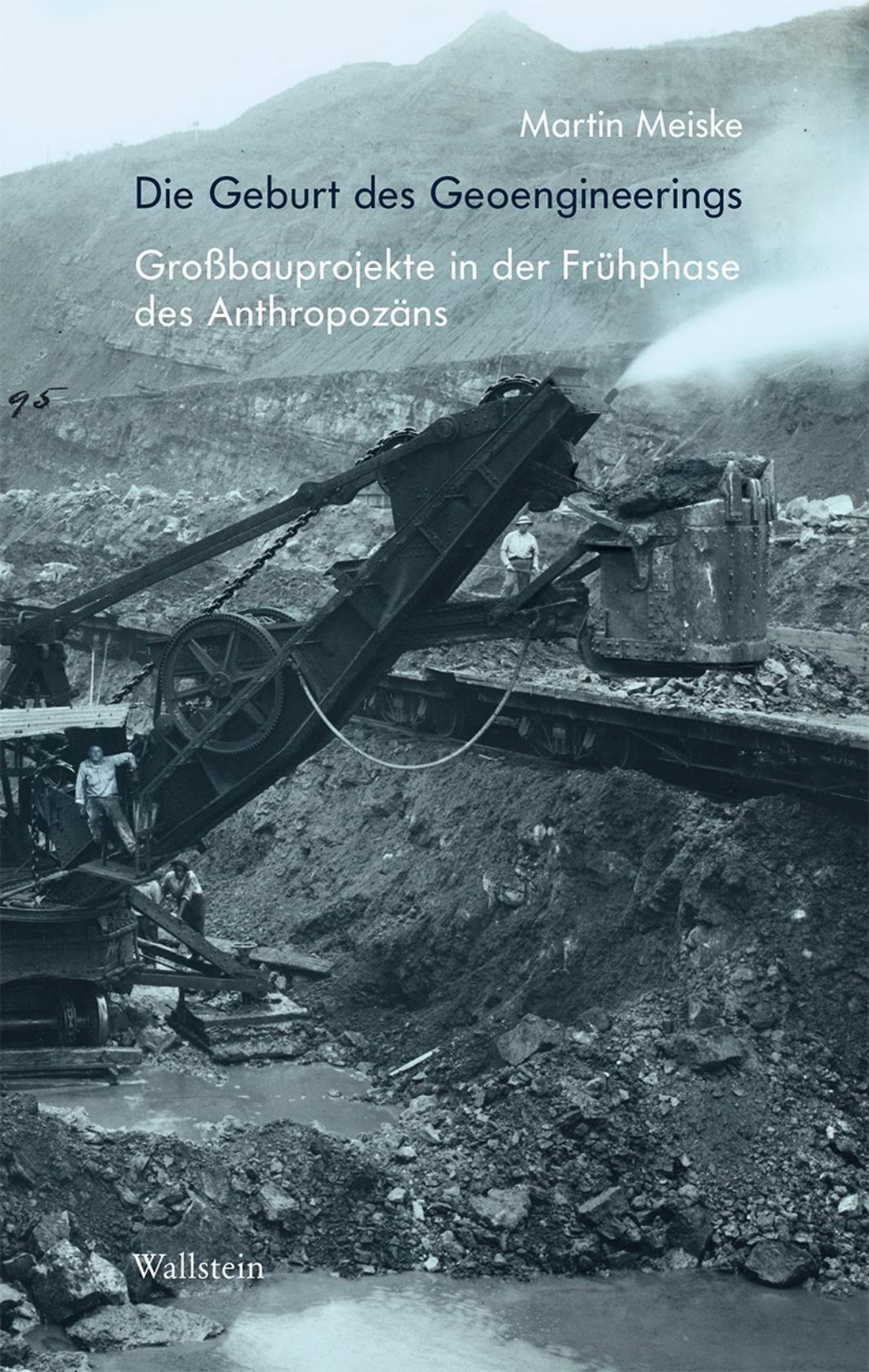


Martin Meiske

# Die Geburt des Geoengineering

Großbauprojekte in der Frühphase  
des Anthropozäns

95



Wallstein

*Martin Meiske*  
*Die Geburt des Geoengineerings*

Deutsches Museum  
Abhandlungen und Berichte  
Neue Folge, Band 34

Herausgeber: Deutsches Museum  
Redaktion: Prof. Dr. Helmuth Trischler,  
PD Dr. Ulf Hashagen, Dr. Kathrin Mönch,  
Dorothee Messerschmid-Franzen

Martin Meiske

# Die Geburt des Geoengineerings

Großbauprojekte  
in der Frühphase des Anthropozäns



WALLSTEIN VERLAG

Dieses Buch entstand im Rahmen des von der  
Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsprojektes  
»Die Geburt des Geoengineerings. Großbauprojekte in der Frühphase  
des Anthropozäns (1850-1950)« (Projektnummer 289864306).

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten  
sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Wallstein Verlag, Göttingen 2021  
[www.wallstein-verlag.de](http://www.wallstein-verlag.de)

Vom Verlag gesetzt aus der Adobe Garamond

Umschlag: Linda Reiter, Deutsches Museum, unter Verwendung von:  
Culebra Cut, 1913: A. B. Nichols Panama Canal Collection, Notebook Vol. 48C;  
Courtesy of The Linda Hall Library of Science, Engineering & Technology

Lithos: SchwabScantechnik

ISBN (Print) 978-3-8353-3372-7

ISBN (E-Book, pdf) 978-3-8353-4592-8

# Inhalt

1. Einleitung . . . . .	7
2. Die Formierung einer neuen Handlungsmacht . . . . .	49
2.1. Nationale Eliten – globale Netzwerke . . . . .	56
2.2. Vortrieb um jeden Preis – Artefakte und Ressourcen neuer Kräfteverhältnisse . . . . .	89
2.3. Die Organisation der Mensch-Tier-Maschine . . . . .	109
2.4. »Es ist eine Geldfrage ...« – Infrastrukturprojekte und die Zirkulation des Kapitals . . . . .	133
3. Grenzverschiebungen: Natur und Infrastruktur . . . . .	143
3.1. Aus dem Scheitern lernen? – Meereskanäle als Orte der Wissensproduktion . . . . .	148
3.2. Natur und/als Infrastruktur verstehen und erhalten . . . . .	190
3.3. Zwischenfazit: Anthropozäne Zeitschichten im Lichte envirotechnischer Infrastrukturen . . . . .	204
4. Infrastrukturen zwischen Macht und Mitbestimmung – Aushandlungsprozesse rund um die neue Handlungsmacht . . . . .	209
4.1. Von der Infrastruktur- zur Regionalplanung . . . . .	216
4.2. »Democracy on the March«? – Planung und Partizipation . . . . .	229
4.3. Ein »Bayerisches Tennessee Valley«? – Transfer- und Aushandlungsprozesse beim Ausbau des Lechs . . . . .	250
5. Schluss. . . . .	275
6. Anhang . . . . .	285
6.1. Abkürzungen . . . . .	285
6.2. Quellen- und Literaturverzeichnis . . . . .	286
6.3. Abbildungsverzeichnis . . . . .	316
6.4. Dank . . . . .	319
6.5. Register . . . . .	321



# I. Einleitung

Die großen Hoffnungen, die Ende 2015 mit dem Abschluss des Pariser Klimaabkommens aufkeimten, sind mittlerweile einer breiten Ernüchterung gewichen. In den USA werden der Ausstieg aus dem internationalen Vertrag vorangetrieben, zentrale Institutionen gelähmt und Forschungsprogramme abgewickelt. Auch bei zahlreichen anderen Unterzeichnerstaaten deutet sich an, dass sie die vereinbarten Ziele zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung nicht einhalten werden.<sup>1</sup> Die in Artikel 2 a) gemachte Vorgabe – »holding the increase in the global average temperature to well below 2 °C above preindustrial levels and to pursue efforts to limit the temperature increase to 1,5 °C above pre-industrial levels« – erfordert eine unverzügliche und weitreichende Veränderung unserer Lebensweisen. »Limiting warming to 1,5 °C is possible within the laws of chemistry and physics but doing so would require unprecedented changes«, kommentiert Jim Skea, Co-Chair Working Group III des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), den *Special Report on Global Warming of 1,5 °C* vom Oktober 2018, den das IPCC im Auftrag der Pariser UN-Klimakonferenz COP21 angefertigt hat.<sup>2</sup> Es sind der offensichtlich fehlende Handlungswille zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, das sich rapide schließende Zeitfenster und jener IPCC-Sonderbericht, durch die das Thema Geoengineering jüngst verstärkt ins Licht der Öffentlichkeit gerückt ist.<sup>3</sup>

- 1 Vgl. United Nations Environment Programme: Emissions Gap Report 2018, Nairobi 2018.
- 2 Intergovernmental Panel on Climate Change: Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1,5 °C approved by governments, 8. Oktober 2018. Online: <https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-for-policymakers-of-ipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c-approved-by-governments/>, Stand: 6.2.2019.
- 3 Vgl. Porter, Eduardo: Fighting Climate Change? We're Not Even Landing a Punch, in: The New York Times, 8. Juni 2018. Online: <https://www.nytimes.com/2018/01/23/business/economy/fighting-climate-change.html>, Stand: 23.11.2018; Schrader, Christopher: CO<sub>2</sub>-Einlagerung: So wollen Forscher die Erde kühlen, in: Spiegel Online, 29. Mai 2018. Online: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/klimawandel-so-wollen-forscher-die-erde-kuehlen-a-1209513.html>, Stand: 23.11.2018; Matzig, Gerhard: Wir basteln uns eine Erde, in: sueddeutsche.de, 18. Juli 2018. Online: <https://www.sueddeutsche.de/kultur/geoengineering-wir-basteln-uns-eine-erde-1.4056546>, Stand: 3.2.2019.

Geoengineering: Annäherungen  
an einen umkämpften Begriff und seine Geschichte

*Doch was bedeutet Geoengineering eigentlich?* – Der Begriff erschöpft sich entgegen der breiten öffentlichen Wahrnehmung nicht in einer Reihe von »technological fixes«, schneller technischer Problembhebungen, zur Bekämpfung des Klimawandels, sondern hat neben dieser ersten auch eine zweite Karriere erfahren, wie im Folgenden gezeigt werden soll.

In den Klimawissenschaften, in denen die erste Karriere des Geoengineerings ihren Ausgangspunkt nahm, fand der Terminus erstmals 1977 im Titel eines Aufsatzes des italienischen Physikers Cesare Marchetti Verwendung, ohne dort genauer definiert zu werden.<sup>4</sup> Erst in den 1990er und 2000er Jahren etablierte er sich allmählich in der Klimadebatte und gewann an begrifflicher Schärfe.<sup>5</sup> Der kanadische Umweltwissenschaftler David W. Keith – bis heute einer der führenden Protagonisten des Feldes – skizziert Geoengineering in einem grundlegenden Artikel aus dem Jahre 2000, *Geoengineering the Climate: History and Prospect*, wie folgt:

[G]eoengineering is defined as intentional large-scale manipulation of the environment. Scale and intent play central roles in the definition. For an action to be geoengineering, the environmental change must be the primary goal rather than a side effect and the intent and effect of the manipulation must be large in scale, e. g. continental to global.<sup>6</sup>

Ein 2009 in Großbritannien von der Royal Society publizierter Bericht versteht Geoengineering als »deliberate large-scale manipulation of the planetary environment«, deren klarer Zweck es sei, »to counteract anth-

4 Vgl. Marchetti, Cesare: On geoengineering and the CO<sub>2</sub> problem, in: *Climatic Change* 1, 1977, S. 59-68.

5 Vgl. National Research Council: *Policy Implications of Greenhouse Warming: Mitigation, Adaptation and the Science Base* (Geoengineering – Chapter 28), Washington, DC 1992, S. 433-464; Keith, David W.; Dowlatabadi, H.: A serious look at geoengineering, in: *Eos, Transactions American Geophysical Union* 73 (27), 1992, S. 289-293; Flannery, Brian P. u. a.: *Geoengineering Climate*, in: Watts, Robert G. (Hg.): *Engineering Response to Global Climate Change: Planning a Research and Development Agenda*, Boca Raton / New York 1997, S. 403-421; Keith, David W.: *Geoengineering the Climate. History and Prospect*, in: *Annual Review of Energy and the Environment* 25 (1), 2000, S. 245-284; Govindasamy, Bala; Caldeira, Ken: *Geoengineering Earth's radiation balance to mitigate CO<sub>2</sub>-induced climate change*, in: *Geophysical Research Letters* 27 (14), 2000, S. 2141-2144.

6 Keith: *Geoengineering the Climate*, 2000, S. 247.

ropogenic climate change«.7 Paul Crutzen, dem 1995 für seine Arbeiten zum Ozonloch der Nobelpreis für Chemie verliehen worden war, plädierte 2006 in einem kontrovers diskutierten Aufsatz für eine »aktivere Erforschung« des Geoengineerings als einem potenziellen Ausweg aus dem Dilemma der schleppend voranschreitenden Klimapolitik.

Building trust between scientists and the general public would be needed to make such a large-scale climate modification acceptable, even if it would be judged to be advantageous. Finally, I repeat: the very best would be if emissions of the greenhouse gases could be reduced so much that the stratospheric sulfur release experiment would not need to take place. Currently, this looks like a pious wish.<sup>8</sup>

Die Debatte gewann nach dieser Veröffentlichung nicht nur in den USA, sondern auch in Deutschland deutlich an Fahrt. In einer Stellungnahme für den Senat der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) empfahlen das Nationale Komitee für Global Change Forschung und die DFG-Senatskommission für Ozeanographie sowie die für Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften gemeinschaftlich, die DFG solle zunächst »Forschung zur Feststellung der Folgen und deren Bewertung« in einem »interdisziplinären Rahmen« und »in Zusammenarbeit mit den Gesellschaftswissenschaften« fördern.<sup>9</sup> Daraufhin startete im Mai 2013 das DFG-Schwerpunktprogramm 1689, das mit einer Reihe von nationalen und internationalen Partnerinstitutionen Risiken und Nebenwirkungen des Climate Engineerings untersucht.<sup>10</sup> Im Februar 2015 veröffentlichte das National Research Council of the United States National Academies (NRC) zwei »Climate Intervention Reports«, und auch die Fachzeitschrift *Nature*

7 The Royal Society: Geoengineering the climate. Science, governance and uncertainty, RS Policy document 10/09, London 2009, S. 1.

8 Crutzen, Paul J.: Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections. A Contribution to Resolve a Policy Dilemma?, in: Climatic Change 77 (3-4), 2006, S. 217.

9 DFG: Climate Engineering. Forschungsfragen einer gesellschaftlichen Herausforderung – gemeinsame Stellungnahme, vorgelegt vom Nationalen Komitee für Global Change Forschung (NKGCF), der DFG Senatskommissionen für Ozeanographie (SKO) und der DFG Senatskommissionen Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften (SKZAG), Bonn 2012, S. 10. Online: [http://dfg.de/download/pdf/dfg\\_im\\_profil/reden\\_stellungnahmen/2012/stellungnahme\\_climate\\_engineering\\_120403.pdf](http://dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/reden_stellungnahmen/2012/stellungnahme_climate_engineering_120403.pdf), Stand: 27.11.2018.

10 Schwerpunktprogramm – SPP Climate Engineering. Online: <http://www.spp-climate-engineering.de/>, Stand: 2.2.2019.

plädierte in einem Editorial für weiterführende interdisziplinäre Forschung zum Thema.<sup>11</sup>

Hinter dem Begriff des Geoengineerings, so wie er in der Debatte um den Klimawandel bislang vordergründig benutzt worden ist, steht eine ganze Reihe unterschiedlicher technischer Lösungsvorschläge. Sie sind in den letzten Jahren in ihrer Zahl größer und in ihrem Anwendungsbereich immer vielfältiger geworden. Ein Autorenteam um Mark Lawrence hat die prominentesten Ansätze in einem jüngst erschienenen Übersichtsartikel vor dem Hintergrund der Ziele des Pariser Klimaabkommens kategorisiert und evaluiert.<sup>12</sup> Sie unterscheiden zwischen zwei Gruppen: Die erste Gruppe bildet das *Carbon Dioxid Removal* (CDR) – eine Reihe von Techniken, mit deren Hilfe der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entzogen und anschließend weiterverarbeitet oder an einem bestimmten Ort gespeichert wird. Die zweite Gruppe bilden Techniken, mit deren Hilfe die Sonnenstrahlung künstlich reflektiert wird – auch bekannt als *Solar Radiation Management* (SRM) oder *Radiative Forcing Geoengineering* (RFG).

Innerhalb der CDR-Techniken lassen sich wiederum zwei Untergruppen ausmachen. Dies sind zunächst einmal jene Techniken, die der Atmosphäre mithilfe von Photosynthese CO<sub>2</sub> entziehen und Biomasse als Speicherort nutzen. Zu ihnen gehören die (Wieder-)Aufforstung, die Kombination von Biomasse-Energieproduktion und *Carbon Capture and Storage* (CCS), die Herstellung von Pflanzen- oder Biokohle (*Biochar*) und deren Einbringen in den Boden, und ganz allgemein die Anreicherung des Bodens mit Kohlenstoff (*Soil Carbon Enrichment/Sequestration*). Besonders kontrovers diskutiert wird die sogenannte *Ocean Iron Fertilization* (OIF), bei der durch großflächige Düngung das Wachstum von CO<sub>2</sub>-speichernden Phytoplanktons angeregt wird.<sup>13</sup> Die zweite Un-

11 Vgl. Look ahead [Editorial], in: *Nature News* 516 (7529), 2014, S. 8; National Research Council: *Climate Intervention. Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration*, Washington, DC 2015.

12 Vgl. Lawrence, Mark G. u. a.: *Evaluating climate geoengineering proposals in the context of the Paris Agreement temperature goals*, in: *Nature Communications* 9 (1), 2018, S. 3734.

13 Eines dieser umstrittenen Forschungsvorhaben war LOHAFEX – ein deutsch-indisches Kooperationsprojekt mit Beteiligung des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI). Anfang 2009 wurden dabei mithilfe des Forschungsschiffs Polarstern etwa 20 t Eisensulfat auf einer 320-qkm-Testfläche im südlichen Polarmeer ausgebracht. – Siehe hierzu: Schiermeier, Quirin: *Ocean fertilization experiment draws fire*, in: *Nature News*, 9. Januar 2009. Online: <https://www.nature.com/news/2009/090109/full/news.2009.13.html>, Stand: 5.5.2020; Mattox, Mark: *Germany Blasts Geo-Engineering Scheme in Atlantic*, in:

tergruppe folgt einem abiotisch-mineralischen Ansatz. Beim *Enhanced Weathering* werden schnell verwitternde Mineralien, die viel CO<sub>2</sub> aufnehmen können, auf einer großen Fläche, oberirdisch oder unterirdisch zu Land, ausgebracht. Nach einem ähnlichen Prinzip funktioniert auch die *Ocean Alkalinisation* auf der Meeresoberfläche. Schließlich existiert eine Reihe von chemischen und mechanischen Ansätzen, die das CO<sub>2</sub> direkt aus der Luft ziehen und unterirdisch speichern, das *Direct Air CO<sub>2</sub> Capture and Storage*.<sup>14</sup>

Das SRM oder RFG steht für technische Lösungsansätze, die darauf abzielen, die Sonneneinstrahlung zu manipulieren. Dies sind zunächst einmal das Einbringen von reflektierenden Aerosol-Partikeln in die Stratosphäre, die *Stratospheric Aerosol Injection* (SAI). Diese Technik zur Erhöhung des Rückstrahlvermögens war es, die Paul Crutzen in seinem umstrittenen Albedo-Aufsatz 2006 diskutiert hatte.<sup>15</sup> Das *Marine Sky Brightening* zielt hingegen darauf ab, deutlich tiefer hängende, künstliche Wolken zu erzeugen, die ihrerseits die Sonneneinstrahlung reduzieren könnten. Genau umgekehrt funktioniert schließlich der letzte der drei zentralen Vorschläge, der sich der Manipulation von Zirruswolken widmet. Diese haben die besondere Eigenschaft, aufsteigende Erdwärme zu absorbieren und zurückzuwerfen. Das Ausdünnen dieser undurchlässigen Wolkenschicht ist das Ziel des *Cirrus Cloud Thinning*.<sup>16</sup>

Mit fortschreitender Ausdifferenzierung der fachlichen Debatten um die einzelnen Techniken hat sich auch die Verwendung des Geoengineering-Begriffs spezialisiert. Inzwischen wird immer häufiger direkt auf CDR und SRM oder gar unmittelbar auf die einzelnen Techniken, wie OIF oder SAI, Bezug genommen. Man trifft verstärkt auf Modifikationen wie »Solar Geoengineering«<sup>17</sup> und »Climate Geoengineering«<sup>18</sup>, aber auch »Climate Interventions«<sup>19</sup> ist inzwischen ein häufig anzutreffender Terminus. Als Oberbegriff hat sich mittlerweile immer mehr auch »Climate Engineering« etabliert.<sup>20</sup>

Deutsche Welle, 16. Januar 2009. Online: <https://www.dw.com/en/germany-blasts-geo-engineering-scheme-in-atlantic/a-3949424>, Stand: 5.5.2020.

14 Vgl. Lawrence u. a.: Evaluating climate geoengineering proposals, 2018.

15 Vgl. Crutzen: Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections, 2006.

16 Vgl. Lawrence u. a.: Evaluating climate geoengineering proposals, 2018.

17 Vgl. Keith, David: Toward a Responsible Solar Geoengineering Research Program, in: *Issues in Science and Technology* 33 (3), 2017, 71-77.

18 Vgl. Lawrence u. a.: Evaluating climate geoengineering proposals, 2018.

19 Vgl. National Research Council: *Climate Intervention*, 2015.

20 Vgl. Honegger, Matthias; Michaelowa, Axel; Butzengeiger-Geyer, Sonja: *Climate Engineering: Avoiding Pandora's Box through Research and Governance*, FNI

Die öffentlichen Debatten um das Climate Engineering fokussierten sich lange, auch aufgrund eines zunächst noch überschaubaren Methodenarsenals, auf scheinbar weit entfernte Anwendungsbereiche wie das SRM. Definitionen, wie jene bereits zitierte von Keith aus dem Jahr 2000, beschreiben Geoengineering als eine Technik, die »large in scale, e. g. continental to global« ist.<sup>21</sup> Die inzwischen entstandene Vielfalt der potenziellen Methoden, die das Team um Lawrence skizziert, legt ein räumliches »Downscaling« der Debatte um das Climate Engineering nahe. Geoengineering könnte längst nicht nur in der Atmosphäre, sondern auch in den dichter an menschlichen Lebensräumen liegenden Geosphären Anwendung finden. Ohnehin gilt für die meisten dieser Techniken, dass sie zunächst regional getestet, dann fest installiert, gewartet, aktualisiert und gesichert werden müssen. Als solche hätten sie, wie alle großtechnischen Systeme, immer auch regionale Auswirkungen auf Natur und Gesellschaft. Hinzu kommt: Wie der Klimawandel in verschiedenen Regionen unterschiedliche Wirkungen entfaltet, so wird auch Climate Engineering variierende Effekte auf unterschiedliche Weltregionen zeitigen. Was jedoch die Auswirkungen des Klimawandels auf alle Regionen gemeinsam haben, ist die Tatasche, dass marginalisierte Gruppen häufig am verwundbarsten gegenüber dieser dynamischen Veränderung ihrer Umgebung sind.<sup>22</sup> Die Rufe nach einem »Upscaling« der Forschung sind, angesichts der nur schleppend vorangehenden Klimaverhandlungen und Programmen der Abmilderung der Folgen des Klimawandels (Climate Change Mitigation), nicht ganz ungerechtfertigt.<sup>23</sup>

Climate Policy Perspectives 5, Lysaker 2012; Barrett, Scott u. a.: Climate engineering reconsidered, in: *Nature Climate Change* 4 (7), 25.6.2014, S. 527-529; Amelung, Dorothee; Funke, Joachim: Laypeople's Risky Decisions in the Climate Change Context. Climate Engineering as a Risk-Defusing Strategy?, in: *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 21 (2), 17.2. 2015, S. 533-559.

21 Keith: *Geoengineering the Climate*, 2000, S. 247.

22 Vgl. Barbier, Edward B.; Hochard, Jacob P.: The Impacts of Climate Change on the Poor in Disadvantaged Regions, in: *Review of Environmental Economics and Policy* 12 (1), 2018, S. 26-47; Reidmiller, David R. u. a.: *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: The Fourth National Climate Assessment, Volume II*, U.S. Global Change Research Program, Washington, DC 2018, S. 25. Online: <https://nca2018.globalchange.gov/>, Stand: 2.2.2019.

23 Vgl. Lawrence u. a.: *Evaluating climate geoengineering proposals*, 2018, S. 4; Barnard, Evan: *Panelists Call for Creation of World Commission to Handle Solar Radiation Management*, New Security Beat Blog, 5. Dezember 2018. Online: <https://www.newsecuritybeat.org/2018/12/panelists-call-creation-world-commission-handle-solar-radiation-management/>, Stand: 2.2.2019.

Doch kaum eine der Techniken ist bereits über einzelne lokale Tests hinausgekommen, es fehlen umfassende und langfristige Studien, die auch regionale Spezifika von Umwelt und Gesellschaft mit einbeziehen, und es fehlt nicht zuletzt auch an historischer Tiefenschärfe in der Debatte. Hier sind Disziplinen wie die Umwelt-, Wissenschafts- und Technikgeschichte und die Environmental Humanities insgesamt gefragt, um allzu geradlinig techniko-optimistisch getränkte Vorschläge, wie sie etwa von Teilen der sogenannten Ökomodernisten (Ecomodernists) zuletzt popularisiert wurden, kritisch zu evaluieren und die öffentliche Debatte durch eigene Beiträge zu bereichern.<sup>24</sup>

Der erste wichtige Schritt hin zu einer Historisierung des Geoengineering ist die Feststellung, dass der Begriff, weitgehend unbemerkt von den Protagonisten des Climate Engineering und der breiteren Öffentlichkeit, eine zweite Karriere vollzogen hat. Er lässt sich in den interdisziplinären Brückendisziplinen zwischen Ingenieur- und Geowissenschaften ausmachen. Seit 2007 fungiert die Federation of International Geo-Engineering Societies (FedIGS) als internationales Forum für geotechnische Gesellschaften und Verbände wie die International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), die International Society of Rock Mechanics (ISRM), die International Association of Engineering Geology (IAEG) und die International Geosynthetic Society. Verschiedene Fachzeitschriften führen »Geo-Engineering« oder »Geoengineering« in ihrem Namen, darunter das *International Journal of Geoengineering Case Histories*, das *Journal of Geo-Engineering Sciences*, das *Journal of Geo-Engineering* oder *Geomechanics and Geoengineering*. Die Buchreihe *Geo-Engineering* des großen niederländischen Verlags Elsevier befasst sich nicht etwa mit Climate Engineering, sondern mit Beiträgen an der Schnittstelle zwischen Ingenieur- und Geowissenschaften. Gleiches gilt für die Springer-Buchreihe *Geomechanics and Geoengineering*. Dies sind nur einige Referenzen, die Hinweise für einen zunehmenden Grad der Institutionalisierung in diesem Bereich markieren.<sup>25</sup>Adda

24 Zum Ökomodernismus sowie zur Kritik des umstrittenen »Ecomodernist Manifesto« siehe u. a.: Hamilton, Clive: The New Environmentalism Will Lead Us to Disaster, in: Scientific American, 19. Juni 2014. Online: <https://www.scientificamerican.com/article/the-new-environmentalism-will-lead-us-to-disaster/>, Stand: 24.3.2020; Latour, Bruno: Fifty Shades of Green, Blog-Beitrag auf Undisciplined Environments, 27. Juni 2015. Online: <https://undisciplinedenvironments.org/2015/06/27/fifty-shades-of-green-bruno-latour-on-the-ecomodernist-manifesto/>, Stand: 24.3.2020; Trischler: The Anthropocene, 2016.

25 Ein konkurrierender Begriff – besonders im englischen Sprachraum – ist »Ground Engineering«. Für diesen Hinweis und die freundliche Korrespondenz

Athanasopoulos und Dimitrios Zekkos haben 2005/06 eine Umfrage in dieser »Geoengineering-Community« durchgeführt, die einen ersten Eindruck von deren Zusammensetzung gibt. Sie scheint, im Gegensatz zur westlich dominierten Climate Engineering Community, deutlich globaler geprägt zu sein: 464 Personen nahmen an der Umfrage teil; 36 Prozent von ihnen kamen aus Asien, 32 Prozent aus Nordamerika, 17 Prozent aus Europa, 7 Prozent aus Mittel- und Südamerika, 6 Prozent aus Afrika und 2 Prozent aus Ozeanien.<sup>26</sup> Der Begriff »Geo-Engineering« scheint erstmals in den 1960er und 1970er Jahren verwendet worden zu sein – hier vermutlich als Kurzform für »geotechnical engineering« oder »geological engineering.«<sup>27</sup> Erste Versuche »the growing sphere of [engineers] who deal with geo-materials (both natural and man-made) and systems«, unter dem Begriff »geo-engineer« zu vereinen, reichen zurück bis zu einem Civil Engineering-Workshop in den USA im Jahre 1994.<sup>28</sup> Doch erst nach der gemeinsamen GeoEng 2000-Konferenz in Australien hat sich »Geoengineering« als Oberbegriff für die erwähnten interdisziplinären Foren in Form der genannten Gesellschaften, Zeitschriften und

in Bezug auf die Geschichte des Geoengineerings im Bereich Ingenieurgeologie sei an dieser Stelle ein Dank an Helmuth Bock gerichtet. Er war Vorsitzender der 2002 von ISSMGE, ISRM und IAEG ins Leben gerufenen Joint European Working Group (JWEG) zum Thema Geoengineering und ist gleichzeitig eines der wenigen Mitglieder der Community, die grundlegende Beiträge zur Historisierung der verschiedenen Teildisziplinen publiziert hat – siehe u. a.: Bock, Helmut: Common ground in engineering geology, soil mechanics and rock mechanics: past, present and future, in: Bulletin of Engineering Geology and the Environment 65 (4), 2006, S. 209-216.

26 Vgl. Athanasopoulos, Adda G.; Zekkos, Dimitrios: Geoengineering, refereed journals and case histories: A survey, Geoengineering.org Report GEO 01/06, 2006. Online: <https://www.geoengineer.org/online-library/search/items/view/18615-geo-engineering-refereed-journals-and-case-histories-a-survey>, Stand: 2.2.2018.

27 Vgl. Stallard, Alvis H.; Anschutz, Glenn: Use of the Kelsh Plotter in Geo-engineering and Allied Investigations in Kansas, in: Highway Research Record 19, 1963, S. 53-107; Agapito, J. F. P.; Hardy, M. P.; Stlaurent, D. R.: Geo-engineering review and proposed program outline for the structural design of a radioactive waste repository in Columbia Plateau basalts, RHO-ST-6, Rockwell Hanford Operations, Richland, Washington, DC 1977; Kujundžić, Branislav: Methods of Modelling in Engineering Geology and Geo-Engineering, in: Advances in Rock Mechanics: Proceedings of the Third Congress of the International Society for Rock Mechanics, Denver, Colorado, September 1-7, 1974, Washington, DC 1974, S. 60-64.

28 Civil Engineering Research Foundation: Geo-engineering. A Vision for the 21st Century, New York 1994 (CERF-Report, No. 94-5020), S. 11.

Handbücher – nahezu zeitgleich mit der Verwendung in den Klimawissenschaften – etabliert.<sup>29</sup>

Die Debatte um den Klimawandel und die Rolle des Menschen, der – wie uns das Konzept des Anthropozäns deutlich vor Augen führt – zu einem geologischen Faktor geworden ist, der umfangreich in die Erdsysteme eingreift, braucht jedoch weit mehr als nur sprachliche Transparenz durch die Historisierung des Begriffs. Die erdsystemische Handlungsmacht des Menschen, die in den letzten zwei Jahrzehnten immer deutlicher in unser Bewusstsein getreten ist, hat selbst eine weit zurückreichende Geschichte. Die Aushandlungsprozesse rund um die Frage, wie wir mit dieser Verantwortung in Zukunft umgehen wollen, ist so aktuell wie nie. Ihnen gilt es, eine fundierte historische Basis zu geben, die den Weg komplexer Erfahrungs- und Entscheidungsprozesse rekonstruiert und ein möglichst breites Spektrum an Akteuren mit einbezieht.

Wie kommt es, dass wir inzwischen theoretisch in der Lage sind, das Klima bewusst zu verändern, aber bisher nicht bereit gewesen sind, umfangreich in diese Technologien zu investieren, und zurückschrecken, sie anzuwenden? Für die Beantwortung dieser Frage braucht es mehr als eine Geschichte des Climate Engineerings, die eine lange Line vom alten menschlichen Traum der Wettermanipulation bis ins Hier und Jetzt zeichnet.<sup>30</sup> Diese Arbeit geht entgegen dieser Historiographie von einem erweiterten Geoengineering-Begriff aus, der die Geschichte der menschlichen Veränderungen der Geosphären in zwei Phasen einteilt:

29 Auf der zusammen von ISSMGE, ISRM und IAEG veranstalteten Konferenz, die vom 24.-29. November 2000 in Melbourne stattfand, lotete man erstmals umfassend grundlegende Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Gesellschaften aus und entwarf Pläne für eine vertiefte Kooperation, die beispielsweise in der Formierung der erwähnten JWEG und der FedIGS mündeten. Siehe hierzu u. a. die Keynote-Lectures von Morgenstern, Norbert R.: Common Ground, in: GeoEng 2000. An International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Bd. 1, Melbourne 2000, S. 1-20, und Steenfelt, Jørgen S.: Teaching for the Millennium – or for the students?, ebd., S. 826-840.

30 Vgl. Fleming, James R.: Fixing the Sky. The Checkered History of Weather and Climate Control, New York 2010; Fleming, James R.: The pathological history of weather and climate modification. Three cycles of promise and hype, in: Historical Studies in the Physical and Biological Sciences 37 (1), 2006, S. 3-25; Fleming, James R.: The Climate Engineers, in: The Wilson Quarterly 31 (2), 2007, S. 46-60; Kwa, Chunglin: The Rise and Fall of Weather Modification. Changes in American Attitudes towards Technology, Nature and Society, in: Miller, Clark; Edwards, Paul (Hg.): Changing the Atmosphere. Expert Knowledge and Environmental Governance, Cambridge, MA 2001, S. 135-165; Keith: Geoengineering the Climate, 2000.

Auch wenn die Visionen zur Erdgestaltung weit älter sind, die Möglichkeit, einen Teil der Erdsysteme und damit auch des Klimasystems zu formen, beginnt in der Frühphase des Anthropozäns (1850-1950)<sup>31</sup>, als durch Großbauprojekte jahrmillionenalte natürliche Formationen durchstoßen und umgeformt wurden. Seit dem 19. Jahrhundert institutionalisieren und professionalisieren sich sowohl die *Geowissenschaften* als auch die *Ingenieurwissenschaften*. Sie können als Schlüsseldisziplinen für eine frühe »intentional large-scale manipulation of the environment«<sup>32</sup> gelten – der ersten Phase des Geoengineering.

Eine der zentralen Thesen dieser Arbeit lautet: Der Blick in die Geschichte der Manipulation der Erde durch großtechnische Systeme, wie sie spätestens seit Mitte des 19. Jahrhunderts auf beiden Seiten des Atlantiks praktiziert worden ist, kann wertvolle Wissensbestände für die aktuelle Debatte um das Geoengineering freilegen. Die Erfahrung im Umgang mit dem Scheitern von technischen Großprojekten – den »weißen Elefanten«<sup>33</sup> –, mit Katastrophen und nicht intendierten Folgen für Mensch und Natur, sind es, die uns heute trotz der Bedrohung durch den Klimawandel zögern lassen, größere Eingriffe durch das Climate Engineering – der zweiten Phase des Geoengineering – vorzunehmen. Die Geschichte des Geoengineering kann jedoch nicht nur einen möglichen Erklärungsansatz dafür liefern, wo wir heute stehen. Sie stellt auch einen zentralen Erfahrungsraum für künftige Debatten bereit, wenn es um eine der großen Fragen unserer Zeit geht, nämlich wie sich anthropozäne Zukünfte gestalten lassen, die demokratischen und pluralistischen Grundsätzen folgen.

Geoengineering wird in dieser Arbeit als Oberbegriff für zwei unterschiedliche Ansätze verwendet, die sich in zwei unterschiedlichen Phasen herausgebildet haben. Begrifflich soll der Einfachheit halber für die erste Phase von »Engineering Geology« beziehungsweise »Ingenieurgeologie« die Rede sein. Für die zweite Phase soll hier hingegen von »Climate Engineering« gesprochen werden. Die Hauptkapitel dieser Arbeit sind ausschließlich der ersten Phase des Geoengineering gewidmet. Im Resümee wird dann der Versuch unternommen, die Erfahrungsräume der ersten Phase mit der aktuellen Debatte um die zweite Phase zusammenzuführen. Als methodische Stütze für die Historisierung des Geoengineering

31 Für den Beginn des Anthropozäns sind auch Vorschläge unterbreitet worden, die zeitlich noch weiter zurückreichen. – Ein kurzer Überblick über die Periodisierungsdebatte folgt auf S. 19-21.

32 Keith: *Geoengineering the Climate*, 2000, S. 247.

33 Vgl. van Laak, Dirk: *Weißer Elefanten. Anspruch und Scheitern technischer Großprojekte im 20. Jahrhundert*, Stuttgart 1999.

wird auf zwei Forschungsfelder und Konzepte zurückgegriffen: das Anthropozän und die Infrastrukturgeschichte. Für beide sollen im Folgenden aktuelle Themen, Forschungsansätze und Desiderate herausgearbeitet werden. Im Anschluss wird das sich daraus ergebende Forschungsdesign samt Fallstudien, Quellen und Fragerastern vorgestellt, das einerseits auf die oben skizzierten übergeordneten Thesen und Fragen dieser Arbeit eingeht, andererseits aber auch »Binnenfragen« aus der Anthropozän-Debatte und der Infrastrukturgeschichte aufgreift.

### Das Anthropozän – der Mensch als geologischer Faktor

Im Februar 2000 traf sich das Scientific Committee des International Geosphere-Biosphere-Programme (IGBP) in Cuernavaca, Mexiko. Hier an jenem Ort, den Alexander von Humboldt fast 200 Jahre zuvor wegen seines milden Klimas als »Stadt des ewigen Frühlings« bezeichnet hatte,<sup>34</sup> kamen nun herausragende Vertreter der Earth System Sciences zusammen – dem interdisziplinären Feld, das die Erde als globales System interagierender physikalischer, chemischer, biologischer Prozesse und deren Wechselwirkungen untersucht.<sup>35</sup> Nach über zwölf Jahren intensiver Forschung war das IGBP gerade in seine Synthese-Phase (1999-2003) gestartet.<sup>36</sup> Die Debatte auf der Veranstaltung kreiste bald auch um die Frage, welchen Einfluss der Mensch auf dieses System habe, wobei Paul Crutzen in einer Diskussion erklärte: »No! We're no longer living in the Holocene but in the Anthropocene!«<sup>37</sup> Gemeinsam mit dem Biologen Eugene F. Stoermer stellte er wenig später im Newsletter des IGBP, angesichts der immer deutlicher sicht- und messbaren Auswirkungen menschlicher Eingriffe in die Erdsysteme, die Einführung eines neuen geologischen Zeitalters zur Debatte: das Anthropozän.

34 Echenberg, Myron: Humboldt's Mexico. In the Footsteps of the Illustrious German Scientific Traveller, Montreal u. a. 2017, S. 53. – Stephen T. Jackson sieht in Humboldt sogar einen Urvater der Earth System Sciences; siehe Jackson, Stephen T.: Alexander von Humboldt and the General Physics of the Earth, in: *Science* 324 (5927), 2009, S. 596-597.

35 Einführend zum Gegenstand der Erdsystemwissenschaften sowie zu ihrer Entstehungsgeschichte, siehe Lenton, Tim: *Earth System Science. A Very Short Introduction*, Oxford / New York 2016.

36 Vgl. Steffen, Will u. a.: The Trajectory of the Anthropocene. The Great Acceleration, in: *The Anthropocene Review* 2 (1), 2015, S. 82.

37 Bonneuil, Christophe; Fressoz, Jean-Baptiste: *The Shock of the Anthropocene. The Earth, History and Us*, London / Brooklyn 2016, S. 3.

Considering these and many other major and still growing impacts of human activities on earth and atmosphere, and at all, including global scales, it seems to us more than appropriate to emphasize the central role of mankind in geology and ecology by proposing to use the term ›anthropocene‹ for the current geological epoch.<sup>38</sup>

Die Menschheit sei demnach vor allem seit der Anfangsphase einer sich von der westlichen Welt global ausbreitenden Industrialisierung zum prägenden geologischen Faktor geworden, der auch stratigraphisch nachweisbar sei.<sup>39</sup> Menschliche Aktivitäten haben in den biogeochemischen Kreisläufen der Erdsysteme in der Tat inzwischen eine deutliche Handschrift hinterlassen und uns nach einem Autorenteam um Johan Rockström sogar an »planetary boundaries« und darüber hinaus geführt.<sup>40</sup> Zur Illustration seien nur drei Beispiele genannt: Der menschlich forcierte Stickstoffkreislauf hat sich gegenüber dem natürlichen Kreislauf fast verdoppelt – eine Entwicklung, die sich vor allem auf die Verbrennung fossiler Energieträger, aber auch auf die Massenfertigung von Stickstoffdünger zurückführen lässt. Der gestiegene Treibhauseffekt und die zunehmende Eutrophierung von Gewässern sind tiefgreifende ökologische Konsequenzen aus diesem Eingriff.<sup>41</sup> Auch den Phosphorkreislauf haben wir gegenüber dem natürlichen Niveau nach unterschiedlichen Schätzungen auf das Fünf- bis Achtfache erweitert. Das massenhafte Ausbringen von Dünger war und ist die Basis für die Ernährung einer immer wachsenden Weltbevölkerung, aber sie ist eben auch ein Grund für einen starken Anstieg des Artensterbens in den Ozeanen.<sup>42</sup> Schließlich wurde auch der Wasserkreislauf auf den Kontinenten im großen Stil modifiziert. Inzwischen sind über 45.000 Dämme mit einer Höhe von

38 Crutzen, Paul C.; Stoermer, Eugene F.: The »Anthropocene«, in: IGBP Newsletter (41), 2000, S. 17 f.

39 Vgl. ebd., S. 17.

40 Vgl. Rockström, Johan u. a.: Planetary Boundaries. Exploring the Safe Operating Space for Humanity, in: Ecology and Society 14 (2), 2009, S. 32; Steffen, Will u. a.: Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, in: Science 347 (6223), 2015.

41 Vgl. Vitousek, Peter M. u. a.: Human alteration of the global nitrogen cycle. Sources and consequences, in: Ecological Applications 7 (3), 1997, S. 737-750.

42 Vgl. Steffen u. a.: Planetary boundaries, 2015; Caple, Zachary; Cushman, Gregory T.: The Phosphorus Apparatus, HKW Technosphere Magazine, 15. November 2016. Online: <https://technosphere-magazine.hkw.de/p/1-The-Phosphorus-Apparatus-czfdPRXcpUj4nxj8aQQrGZ>, Stand: 1.2.2019; Guignard, Maité S. u. a.: Impacts of Nitrogen and Phosphorus. From Genomes to Natural Ecosystems and Agriculture, in: Frontiers in Ecology and Evolution 5, 2017.

über 15 m gebaut worden, die zusammen 6.500 km<sup>3</sup> Wasser zurückhalten. Das entspricht in etwa 15 Prozent der Strömung der weltweiten Flusssysteme. Diese Eingriffe haben starke Nebeneffekte wie Erosion und Abfall von Grundwasser in den umliegenden Regionen.<sup>43</sup> Grobe Schätzungen gehen davon aus, dass durch Dammbauten 40-80 Millionen Menschen umgesiedelt werden mussten.<sup>44</sup> Gleichzeitig liefern sie (Stand 2016) global gesehen 16,4 Prozent aller Energiequellen und haben einen Anteil von 71 Prozent an den erneuerbaren Energien.<sup>45</sup>

2009 formierte sich die Anthropocene Working Group (AWG) mit dem Ziel, wissenschaftliche Evidenz für diese neue geologische Epoche zusammenzutragen, in der sich der Mensch in die Erdsysteme einzuschreiben begann. Fällt der Befund der Arbeitsgruppe am Ende positiv aus, leitet sie eine entsprechende Empfehlung an die Subcommission on Quaternary Stratigraphy weiter, welche die erste geowissenschaftliche Instanz auf dem Weg zu einem neuen geologischen Zeitalter darstellt. Er führt weiter über die International Commission on Stratigraphy zur International Union of Geological Sciences – ein Prozess, der erfahrungsgemäß mehrere Jahrzehnte dauern kann.<sup>46</sup> In den vergangenen Jahren ist eine ganze Reihe an Beiträgen erschienen, die um die doppelte Frage kreisen, wann das »Zeitalter des Menschen« begonnen habe und welche geologischen Marker sich dafür eignen. In Zusammenhang mit der Suche nach entsprechenden Markern stehen unterschiedliche Vorschläge zum Beginn des Anthropozäns im Raum: Sie reichen von der Neolithischen Revolution (vor etwa 11.700 Jahren)<sup>47</sup> über den »Columbian

43 Vgl. Nilsson, Christer u. a.: Fragmentation and Flow Regulation of the World's Large River Systems, in: *Science* 308 (5720), 2005, S. 405-408.

44 Vgl. World Commission on Dams: Dams and Development. A New Framework for Decision-Making, The Report of The World Commission on Dams, London / Sterling 2000, S. 16 f.

45 Vgl. World Energy Council: World Energy Resources – Hydropower, 2016, S. 3. Online: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WERResources\\_Hydropower\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WERResources_Hydropower_2016.pdf), Stand: 27.11.2018.

46 Zur komplexen Geschichte der Anerkennung des Holozäns, siehe u. a. Walker, Mike u. a.: Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records, in: *Journal of Quaternary Science* 24 (1), 2009, S. 4; Einen Überblick über den Entscheidungsprozess findet sich bei Trischler: *The Anthropocene*, 2016, S. 315-318.

47 Vgl. Ruddiman, William F.: The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago, in: *Climatic Change* 61 (3), 2003, S. 261-293; Foley, Stephen F. u. a.: The Palaeoanthropocene. The beginnings of anthropogenic environmental change, in: *Anthropocene* 3, 2013, S. 83-88.

Exchange«<sup>48</sup> und die »Kleine Eiszeit«<sup>49</sup>, die beide zu Beginn der Frühen Neuzeit zu verorten sind, und dem schon von Crutzen und Stoermer vorgeschlagenen industriellen Zeitalter<sup>50</sup> bis weit in das 20. Jahrhundert hinein.<sup>51</sup> Zu den prominentesten Vorschlägen gehört die sogenannte »Great Acceleration« der Konsumgesellschaft der unmittelbaren Nachkriegszeit. Zu jener Phase des beschleunigten Wachstums hat ein Forscherteam um Will Steffen »sozioökonomische Trends« und »Erdsystem-Trends« seit den 1950er Jahren in Form von Graphen angefertigt, die in der Anthropozän-Debatte eine ähnlich ikonographische Wirkung entfaltet haben wie der berühmte »Hockeystick« im Klimawandel-Diskurs.<sup>52</sup>

Im August 2016 präsentierte die AWG eine erste Zusammenfassung der von ihr identifizierten Evidenz beim 35. International Geological Congress in Kapstadt und gab eine vorläufige Empfehlung ab. Die Mehrheit ihrer Mitglieder stufte demnach das Anthropozän als stratigraphisch nachweisbar und relevant ein und empfahl die Formalisierung als »geological epoch« oder »geological series«. Zu den wichtigsten Proxies für die Periodisierung des Beginns der geologischen Zeit des Anthropozäns zählen die global nachweisbaren Radionuklide, die durch Hunderte von Atomtests zu Beginn des Kalten Kriegs freigesetzt wurden. Aber auch die große Menge an Plastik in den Ozeanen, Karbon-Isotope und industrielle Flugasche werden als sekundäre Marker angeführt, die sich nahezu weltweit in den Sedimenten nachweisen lassen.<sup>53</sup> Am 21. Mai

48 Vgl. Koch, Alexander u. a.: Earth system impacts of the European arrival and Great Dying in the Americas after 1492, in: *Quaternary Science Reviews* 207, 2019, S. 13-36; Lewis, Simon L.; Maslin, Mark A.: Defining the Anthropocene, in: *Nature* 519 (7542), 2015, S. 171-180; Crosby, Alfred W.: *The Columbian Exchange. Biological and Cultural Consequences of 1492*, Westport 1972.

49 Vgl. Cho, Ji-Hyung: The Little Ice Age and the Coming of the Anthropocene, in: *Asian Review of World Histories* 2 (1), 2014, S. 1-16; Neukom, Raphael u. a.: Inter-hemispheric temperature variability over the past millennium, in: *Nature Climate Change* 4 (5), 5.2014, S. 362-367.

50 Vgl. Crutzen; Stoermer: *The »Anthropocene«*, 2000.

51 Vgl. Lewis; Maslin: *Defining the Anthropocene*, 2015.

52 Vgl. Steffen, Will u. a.: *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure*, Berlin/Heidelberg 2005 (Global Change – The IGBP Series); Steffen u. a.: *The Trajectory of the Anthropocene*, 2015; Mann, Michael E.; Bradley, Raymond S.; Hughes, Malcolm K.: Northern hemisphere temperatures during the past millennium. Inferences, uncertainties, and limitations, in: *Geophysical Research Letters* 26 (6), 1999, S. 759-762.

53 Vgl. Zalasiewicz, Jan u. a.: When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal, in: *Quaternary International* 383, 2015, S. 196-203; Waters, Colin N. u. a.: The Anthropocene is functionally and strati-

2019 stimmte die AWG dann mit deutlicher Mehrheit für die Formalisierung des Anthropozäns und votierte für die Mitte des 20. Jahrhunderts als seinen geochronologischen Beginn.<sup>54</sup> Unabhängig davon, wie erfolgreich der AWG-Vorschlag in den verantwortlichen stratigraphischen und geologischen Gremien in den kommenden Jahren sein wird – die zurückliegenden Jahre haben eindrücklich gezeigt, dass wir inzwischen nicht mehr nur von einem Anthropozän ausgehen können, sondern von »many Anthropocenes« sprechen müssen.<sup>55</sup>

Das Anthropozän-Konzept hat die Faktoren, die geologische Transformationen bewirken, um den Menschen erweitert. Dieser Perspektivwechsel hat in den letzten Jahren zahlreiche Disziplinen jenseits der Earth System Sciences und Geowissenschaften auf den Plan gerufen. Inzwischen hat sich das Anthropozän auch in den Kultur- und Sozialwissenschaften zu einem breit diskutierten Konzept entwickelt, in dessen Rahmen das Verhältnis von Umwelt und Gesellschaft neu evaluiert wird. Während die Geschichte der Erde und die Geschichte der Menschen disziplinär bisher weitestgehend unabhängig voneinander verhandelt wurden, nämlich in der Geologie auf der einen und in den Geschichtswissenschaften auf der anderen Seite, stellt das Anthropozän diese klare Trennung der Deutungshoheiten infrage. Welches analytische und heuristische Potenzial hält das Konzept für die Geschichtswissenschaften im Allgemeinen und Teildisziplinen wie die Wissenschafts-, Umwelt- und Technikgeschichte im Speziellen bereit, fragt Helmuth Trischler zu Recht vor dem Hintergrund dieser »Provokation«.<sup>56</sup> Diese Fragen sollen in der

graphically distinct from the Holocene, in: *Science* 351 (6269), 2016, S. 137; Zalasiewicz, Jan u. a.: The Working Group on the Anthropocene. Summary of evidence and interim recommendations, in: *Anthropocene* 19, 2017, S. 55-60. Online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213305417300097>, Stand: 9.2.2018.

54 Vgl. Subramanian, Meera: Anthropocene now. Influential panel votes to recognize Earth's new epoch, in: *Nature*, 21. Mai 2019. Online: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01641-5>, Stand: 24.3.2020.

55 Zu den jüngeren von zahlreichen Publikationen, die diese Vielfalt thematisieren, gehören u. a. Preston, Christopher J.: The Multiple Anthropocenes. Toward Fracturing a Totalizing Discourse, in: *Environmental Ethics* 37 (3), 2015, S. 307-320; Trischler: The Anthropocene, 2016; Toivanen, T. u. a.: The many Anthropocenes. A transdisciplinary challenge for the Anthropocene research, in: *The Anthropocene Review* 4 (3), 2017, S. 183-198; Chakrabarty: Anthropocene Time, 2018, S. 5f.

56 Vgl. Trischler: The Anthropocene, 2016; Trischler, Helmuth; Will, Fabienne: Die Provokation des Anthropozäns, in: Heßler, Martina; Weber, Heike (Hg.): *Provokationen der Technikgeschichte. Zum Reflexionszwang historischer Forschung*, Paderborn 2019, S. 69-106.

vorliegenden Arbeit aufgegriffen werden. Und welche Impulse sendet die Anthropozän-Debatte für die Historisierung des Geoengineerings aus? Kann die Historisierung des Geoengineerings schließlich selbst einen gewichtigen Beitrag zur Anthropozän-Debatte liefern?

Im Anthropozän scheinen die Geschichte der Erde und die geologische Zeit mit der Geschichte der Menschen zu verschmelzen. Dadurch sind Historiker\*innen im Allgemeinen und Technik-, Umwelt- und Wissenschaftshistoriker\*innen im Besonderen gefragt, sich in dieser Debatte zu engagieren, die – wie oben skizziert – bereits verschiedene globalgeschichtliche Periodisierungsangebote bereithält. Das Anthropozän ist ein Konzept, das produktive Reflexionsräume schafft und die alte Trennung von Umwelt und Gesellschaft, von Natur und Mensch zu verwischen scheint. Es nagt zugleich auch an der disziplinären Trennung von Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften und wirkt als fächerübergreifendes Diskussionsforum. Wir sehen in der AWG selbst diese Interdisziplinarität abgebildet, denn zu den aktuell 37 Mitgliedern gehören auch der Umwelt- und Globalhistoriker John McNeill und die Wissenschaftshistorikerin Naomi Oreskes, die gleichberechtigt neben den anderen Mitgliedern abstimmen.

Es gibt inzwischen eine ganze Reihe von Historiker\*innen, deren Arbeiten nachhaltig durch das Konzept geprägt sind.<sup>57</sup> 2009 erschien zunächst der vieldiskutierte Aufsatz *The Climate of History: Four Theses* von Dipesh Chakrabarty, der vor allem als Mitbegründer der *subaltern studies group* und als Vertreter des Postkolonialismus durch sein Buch *Provincializing Europe* Bekanntheit erlangt hat.<sup>58</sup> Angesichts des umfangreichen Einflusses des Menschen auf den Klimawandel und die globalen Stoffkreisläufe sieht er die alte Grenze zwischen Naturgeschichte und Menschengeschichte in einer nie dagewesenen Dimension herausgefordert. Neue Perspektiven seien nötig, die die *longue durée*-Ansätze, etwa die klassischen Studien von Fernand Braudel zum Mittelmeer und der Mittelmeeran Welt (1949) oder von Alfred Crosby zum *Columbian Ex-*

57 Vgl. ebd.; Trischler, Helmuth: Das Anthropozän in technikhistorischer Perspektive, in: Möllers, Nina; Schwägerl, Christian; Trischler, Helmuth (Hg.): Willkommen im Anthropozän. Unsere Verantwortung für die Zukunft der Erde, München 2015, S. 25-29.

58 Vgl. Chakrabarty, Dipesh: Provincializing Europe: postcolonial thought and historical difference, Princeton 2000; Chakrabarty, Dipesh: The Climate of History. Four Theses, in: Critical Inquiry 35 (2), 2009, S. 197-222; Emmet, Robert; Lekan, Thomas (Hg.): Whose Anthropocene? Revisiting Dipesh Chakrabarty's »Four Theses«, in: RCC Perspectives: Transformations in Environment and Society (2), 2016.

*change* (1972), nochmals deutlich erweitern. Er plädiert unter anderem dafür, globale Geschichten des Kapitalismus in Verbindung mit einer Art Geschichte der Spezies Mensch zu setzen, nicht nur als biologischer Akteur, sondern als geologische Handlungsmacht. »There was no point in human history when humans were not biological agents. But we can become geological agents only historically and collectively, that is, when we have reached numbers and invented technologies that are on a scale large enough to have an impact on the planet itself.«<sup>59</sup>

Doch wann und wo beginnt sich die geologische Handlungsmacht des Menschen zu formieren? Welche »kollektiven« Handlungsweisen stehen hinter dieser Machtzunahme, welches waren Schlüsseltechnologien, welches Schlüsseldisziplinen? Wann und wie wurde es möglich, entscheidende Ressourcen für diese Transformation zu mobilisieren? Die französischen Historiker Christophe Bonneuil und Jean-Baptiste Fressoz plädieren dafür, das Konzept des Anthropozäns zu historisieren. Sie kritisieren, dass die bis dato geführte Debatte zu sehr auf den Narrativen der Earth System Sciences fußt. Die Kollektivierung der Menschheit als ein Ganzes unterschlägt ihre vielfältigen Formen. Sie birgt, aus ihrer Perspektive, die Gefahr, dass wir die für diesen historischen Wandel entscheidenden Akteure und Institutionen aus den Augen verlieren. Die Graphen zur Great Acceleration sagen kaum etwas aus über die Kontroversen und Entscheidungen, die sozialen, kulturellen und historischen Prozesse, die den Menschen zu einem geologischen Faktor gemacht haben. Es seien eben auch nicht erst die Earth System Sciences im Jahr 2000 gewesen, sondern es habe eine ganze Reihe von Stimmen gegeben, die schon seit der Mitte des 19. Jahrhunderts in regelmäßigen Abständen vor dem steigenden Einfluss des Menschen auf den Planeten gewarnt hätten. Bonneuil und Fressoz bieten eine Reihe analytischer Subdiskurse, die sie unter verschiedenen Neologismen zusammenfassen und die Teilaspekte beleuchten, die den Anthropos zum geophysikalischen Faktor werden ließen. Im Kapitel zum »Capitalocene«<sup>60</sup> weisen sie dem Kapitalismus eine zentrale Rolle zu – eine Perspektive, die von zahlreichen Geistes- und Sozialwissenschaftlern, wie etwa der einflussreichen amerikanischen Feminismusforscherin Donna Haraway geteilt wird;<sup>61</sup> der Abschnitt zum »Thermocene«<sup>62</sup> ist der Versuch einer politischen

59 Chakrabarty: *The Climate of History*, 2009, S. 206 f.

60 Vgl. Bonneuil; Fressoz: *The Shock of the Anthropocene*, 2016, S. 222-252.

61 Vgl. Haraway, Donna: *Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene. Making Kin*, in: *Environmental Humanities* 6 (1), 2015, S. 159-165.

62 Vgl. Bonneuil; Fressoz: *The Shock of the Anthropocene*, 2016, S. 100-121.

Geschichte des CO<sub>2</sub>; durch die Brille des »Phagocenes«<sup>63</sup> beleuchten sie schließlich die Auswirkungen der Konsumgesellschaft. Die Geschichte des Geoen지니어ings ist eng verbunden mit dem Auftreten solcher »währenden Stimmen«, sie wird begleitet von konfliktreichen Aushandlungsprozessen und gescheiterten Großbauprojekten mit oft fatalen Folgen für Umwelt und Gesellschaft, wie die folgenden Kapitel zeigen werden.

Das Anthropozän regt dazu an, Kontinuitäten, Brüche und Verschiebungen im Verhältnis von Mensch, Natur und Technik neu zu verorten und neue Erzählwege einzuschlagen. Ein faszinierendes Beispiel für ein Narrativ, das die Geschichte der Erde mit der Geschichte des Menschen zusammenführt, ist das Buch *Guano and the Opening of the Pacific World* von Gregory Cushman. Der amerikanische Umwelthistoriker beschreibt die folgenreiche Karriere des Guano-Düngers. Der großflächige Abbau von Exkrementen des Guanokormorans auf zahlreichen Inseln des Pazifiks und der Nitratexport von Peru nach England gaben in den 1830er Jahren den Startschuss für den globalen Eingriff des Menschen in den Stickstoffkreislauf und eine global intensivierte Landwirtschaft.<sup>64</sup> Inspiriert durch das erzählerische und erkenntnisfördernde Potenzial dieser Perspektive, die Globalgeschichte aus einer der folgenreichsten erdsystemischen Stoffkreisläufe heraus erzählt, hat er sich inzwischen auch dem menschlichen Einfluss auf den Phosphorkreislauf gewidmet.<sup>65</sup> Während Cushman den Beginn des Anthropozäns entsprechend seiner Arbeiten im langen 19. Jahrhundert verortet, haben John McNeill und Peter Engelke mit *The Great Acceleration* eine Umweltgeschichte des Anthropozäns vorgelegt, die sich auf die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts konzentriert. Sie historisieren den Wandel menschlichen Energieverbrauchs, die Urbanisierung und den Konsum, dessen dynamischen Anstieg Christian Pfister an anderer Stelle bereits mit dem »1950er Syndrom« beschrieben hat.<sup>66</sup> Mit *The Matter of History* hat der amerikanische Umwelt- und Wissenschaftshistoriker Timothy LeCain eine sowohl methodisch als auch empirisch und erzählerisch eindrucksvolle Pionierarbeit vorgelegt. Er synthetisiert Ansätze aus dem New Materialism zu einem »Neo Materialism«, der auf vier Grundkonzepten aufbaut: 1. »The Material Environment« – oder die Ablehnung jeglicher grundlegender Unterschei-

63 Vgl. ebd., S. 148-169.

64 Vgl. Cushman, Gregory T.: *Guano and the Opening of the Pacific World. A Global Ecological History*, Cambridge, MA / New York 2013.

65 Vgl. Caple; Cushman: *Technosphere Magazine*, 2016.

66 Vgl. McNeill, John R.; Engelke, Peter: *The Great Acceleration. An Environmental History of the Anthropocene Since 1945*, Cambridge, MA / London 2014; Pfister, Christian: *Das 1950er Syndrom. Der Weg in die Konsumgesellschaft*, Bern 1995.

dung zwischen dem Natürlichen und Menschgemachten; 2. »Thing Power« – oder die Hervorhebung kreativer Dynamiken biotischer und abiotischer Materie, besonders in der Interaktion mit dem Menschen; 3. »The Matter of Culture« – oder die Betonung, dass Dinge Menschen in all ihren Dimensionen schaffen, sowohl biologisch als auch kulturell; und 4. »The End of Anthropocentrism« – ein allgemein an Geisteswissenschaftler\*innen und speziell an Historiker\*innen gerichtetes Plädoyer, den Anthropozentrismus in ihren Erzählungen zu überwinden.<sup>67</sup> Nichtsdestotrotz bleibt auch seine Arbeit an zentralen Punkten durch Impulse aus der Debatte um das Anthropozän-Konzept geprägt, an dem er sich in seinen theoretischen Kapiteln immer wieder abarbeitet.

»The Anthropocene calls for expertise on deep time, on futures and on human histories, and on reading all these histories together«, schreibt die australische Umwelthistorikerin Libby Robin.<sup>68</sup> Das Anthropozän fordert gewissermaßen zum »Earthing of History« auf. Doch wer produzierte überhaupt Wissen über die Erde? Welche Rolle spielte dieses Wissen in einer sich im 19. Jahrhundert beschleunigenden Globalisierung für wirtschaftliche und imperialistische Ambitionen aufstrebender Staaten? Welche unterschiedlichen Zeithorizonte eröffneten sich Ingenieuren und Geologen, die im 19. Jahrhundert erstmals eine ganze Landenge auf über 80 km Länge aufreißen ließen, um etwa einen Meeresskanal wie am Isthmus von Panama zu bauen, der auf jahrhundertealte Visionen zurückgeht? Inwieweit trugen die Planung, die Konstruktion, das Management und das Scheitern technischer Infrastrukturen zu einem tieferen Verständnis für die systematische Verflechtung der einzelnen Geosphären bei?

In der Umwelt- und Technikgeschichte hat das Konzept der »Infrastruktur« in den letzten Jahren steigende Aufmerksamkeit erfahren, und auch in anderen Disziplinen, etwa in der Soziologie, Anthropologie oder Geographie, erleben die »Infrastructure Studies« immer größere Beliebtheit, um Transformationsprozesse im komplexen Beziehungsgeflecht von Mensch-Natur-Technik zu beschreiben.<sup>69</sup> Die folgende Forschungsübersicht führt in unterschiedliche Forschungstraditionen und neuere

67 LeCain, Timothy: *The Matter of History. How Things Create the Past*, Cambridge, MA 2017, S. 20.

68 Robin, Libby: *A Future beyond Numbers*, in: Möllers; Schwägerl; Trischler (Hg.): *Welcome to the Anthropocene*, 2015, S. 21.

69 Stellvertretend sei hier auf den jüngst erschienenen interdisziplinären Band von Harvey, Jensen und Morita verwiesen: Harvey, Penelope; Jensen, Casper B.; Morita, Atsuro (Hg.): *Infrastructures and Social Complexity. A Companion*, London/New York 2017.

Ansätze ein, die für die Historisierung des Geoen지니어ings wichtige Anknüpfungspunkte und Impulsgeber sein können.

### Infrastrukturgeschichte – Themen, Diskurse, Perspektiven

Der Wechsel von organischen zu fossilen Energieträgern gehört zweifelsohne zu den tiefgreifendsten Veränderungen im Verhältnis des Menschen zu seiner Umwelt. In *Routes of Power* hat Christopher F. Jones gezeigt, wie eng die Geschichte des Energieregime-Wandels mit der Geschichte von (Transport-)Infrastrukturen verbunden ist. In seiner Studie, welche die Mittelatlantikstaaten zwischen 1820 und 1930 in den Blick nimmt, spricht er in diesem Zusammenhang auch von der Entstehung von »Landscapes of Intensification«. Die Geschichte der Förderung von Anthrazit-Kohle und Öl sowie die Elektrifizierung der Region ist in seiner Erzählung eng verflochten mit Kanalbauten, Eisenbahnlinien, Pipelines, Dammbauten und Stromtrassen. »Over time a set of positive feedback loops arose between the building of infrastructures, the economic investments in the systems, the actions of human agents, and new consumption practices«, resümiert Jones und fährt fort: »Transport systems made energy transitions not only possible but likely.«<sup>70</sup> Während organische Energieträger weit verteilt waren und eine Dezentralisierung von Population und Produktion begünstigten, ist das fossile Energieregime durch Zentralisierung geprägt. Fossile Brennstoffe sind um ein Vielfaches ertragreicher als organische Brennstoffe und enthalten Energie, die sich teilweise über Millionen Jahre akkumuliert hat. Die hohe Ausbeute und ihre konzentrierte Lage begünstigen Investitionen in den Abbau und die Transportinfrastrukturen. Ihre Verfügbarkeit schafft Unabhängigkeit von Land und Muskelkraft und fördert die Konzentration von Leben und Produktion in städtischen Zentren. Infrastrukturen spielten eine entscheidende Rolle für die Urbanisierung und Industrialisierung Nordamerikas, dessen Weg in die Moderne Jones beschreibt.<sup>71</sup>

Der menschliche Eingriff in die Stoffkreisläufe, der das Anthropozän kennzeichnet, ist undenkbar ohne die Errichtung und Erhaltung komplexer globaler Infrastruktursysteme. Sie regulieren den Fluss von Wasser und Energie, den Transport von Menschen und Gütern und sind Teil von Informations-, Finanz-, und Sicherheits-Netzwerken. Als solche sind sie untrennbar mit den Abläufen unseres Alltags verbunden. Oft

70 Jones, Christopher F.: *Routes of Power. Energy and Modern America*, Cambridge, MA/London 2014, S. 8.

71 Vgl. ebd., S. 17f.

werden sie erst sichtbar, wenn sie plötzlich in ihrer Funktionsweise unterbrochen sind und uns dann an die Verwundbarkeit unserer anthropozänen Welt erinnern.<sup>72</sup> Infrastrukturen sind technische Artefakte, die in regionale Landschaften genauso eingebettet sind wie in transregionale und transnationale Netzwerke. Ihr Bau und ihr Management haben lokal wie global tiefgreifende Auswirkungen auf Gesellschaften und ökologische Systeme. Doch Infrastrukturen sind nicht einfach technische Artefakte, »they are not things, but bundles of relationships«, schreibt der amerikanische Anthropologe Ashley Carse.<sup>73</sup> Infrastrukturen verbinden und trennen zugleich; in ihnen manifestieren sich vielschichtige Hierarchien der Macht. Die dabei entstehenden Konflikte zwischen Planern, Ingenieuren, Geologen, Arbeitern, Anwohnern, Aktivisten, lokalen Händlern oder Bauern bieten ein reichhaltiges Forschungsfeld für Historiker. In Infrastrukturen konzentrieren sich finanzielle Spekulationen und politische Ambitionen; die sich wandelnden Interaktionen von unterschiedlichen sozialen Gruppen mit den biologischen, geologischen und hydrologischen Gegebenheiten und der vom Menschen geschaffenen technologischen »zweiten Natur« markieren ein reiches Forschungsfeld.

Der Begriff der »Infrastruktur« hat seinen Ursprung im französischen Eisenbahnbau des ausgehenden 19. Jahrhunderts und bezeichnete als Sammelbegriff jene Bauten, die notwendig waren, bevor die Schienen verlegt werden konnten, wie zum Beispiel das Gleisbett, aber eben auch Brücken und Tunnel, durch welche die Strecke verlaufen sollten.<sup>74</sup> In

72 Vgl. Benson, Etienne: Generating Infrastructural Invisibility. Insulation, Interconnection, and Avian Excrement in the Southern California Power Grid, in: *Environmental Humanities* 6 (1), 2015, S. 103-130; Keating, Ann D.: *Invisible Networks. Exploring the History of Local Utilities and Public Works*, Malabar 1994.

73 Carse, Ashley: *The Anthropology of the Built Environment: What Can Environmental Anthropology learn from Infrastructure Studies (and Vice Versa)?*, veröffentlicht auf dem Engagement Blog, Anthropology and Environment Section of the American Anthropological Association am 17. Mai 2016. Online: <https://aesengagement.wordpress.com/2016/05/17/the-anthropology-of-the-built-environment-what-can-environmental-anthropology-learn-from-infrastructure-studies-and-vice-versa/>, Stand: 1.2.2019.

74 Zur Begriffsgeschichte siehe u. a. van Laak, Dirk: Der Begriff »Infrastruktur« und was er vor seiner Erfindung besagte, in: *Archiv für Begriffsgeschichte* 41, 1999, S. 280-299; van Laak, Dirk: *Imperiale Infrastruktur. Deutsche Planungen für eine Erschließung Afrikas 1880 bis 1960*, Paderborn 2004, S. 17-34; Carse, Ashley: Keyword: Infrastructure. How A Humble French Engineering Term Shaped the Modern World, in: Harvey; Jensen; Morita (Hg.): *Infrastructures and Social Complexity*, 2017, S. 27-39; van Laak, Dirk: *Alles im Fluss. Die Lebensadern unserer Gesellschaft-Geschichte und Zukunft der Infrastruktur*, Frankfurt am Main 2018, hier insbesondere S. 21-30.

den 1950er Jahren entstand ein erster Popularisierungsschub, als der Begriff in Plänen zur Standardisierung der militärischen Logistik der NATO-Partner auftauchte, bevor er in den 1960er Jahren auch innenpolitisch beim Ausbau des Sozialstaates in der Bundesrepublik und international in der Entwicklungshilfe vermehrt Verwendung fand. Seither hat er eine beachtliche Erweiterung erfahren und bezeichnet heute nicht nur den Ausbau der sich immer enger um die Erde legenden (1) Verkehrsnetze für Eisenbahnen, Schiffe, Autos und Flugzeuge, sondern auch die (2) Kommunikationsnetze, von der Telegraphie über Telefon und Satellitenkommunikation bis hin zum Internet. Auch (3) Versorgungsnetze mit elektrischer Energie, Wasser, Gas und Öl und Entsorgungsnetze von Abwasser und Müll, (4) Netze, die den Austausch der globalen Finanzwelt gewährleisten, und (5) Bildungseinrichtungen, Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen, die einer »sozialen Infrastruktur« zugerechnet werden können, zählen inzwischen dazu. Infrastrukturen sind »neben der militärischen und sozialen Sicherung im 20. Jahrhundert zum größten Investitions- und Gestaltungsbereich der öffentlichen Hand geworden«, konstatiert der deutsche Historiker Dirk van Laak.<sup>75</sup> Die ersten theoretischen Auseinandersetzungen und konzeptionellen Begriffsdefinitionen stammen dann auch nicht aus den Geschichtswissenschaften, sondern aus den Federn von Wirtschaftswissenschaftlern.<sup>76</sup>

Einer der Pioniere der neueren Technikgeschichte, die begannen, das Potenzial dieses Forschungsgebietes intellektuell auszuleuchten, war der amerikanische Technikhistoriker Thomas P. Hughes. In seiner 1983 vorgelegten Studie *Networks of Power* erzählt er in transnationaler Perspektive die Genese moderner (westlicher) elektrischer Energie-Netzwerke in den USA, Großbritannien und Deutschland zwischen 1880 und 1930.<sup>77</sup> Das von ihm beschriebene »Großtechnische System« analysierte er dabei in seinen eng verwobenen sozialen wie technischen Dimensionen, die sich bereits im Titel des Buches in der Doppeldeutigkeit von »Power« als technischer und wirtschaftlicher/politischer Macht andeuten. Hughes entwirft anhand der Genese der Elektrifizierung ein vierstufiges Phasen-

75 van Laak, Dirk: Infra-Strukturgeschichte, in: *Geschichte und Gesellschaft* 27 (3), 2001, S. 367.

76 Zur Geschichte des Begriffs und seinen wirtschaftswissenschaftlichen Wurzeln siehe u. a. Schröder, Lina: *Der Rhein-(Maas-)Schelde-Kanal als geplante Infrastrukturzone von 1946 bis 1986. Eine Studie zur Infrastruktur- und Netzwerk-Geschichte*, Münster/New York 2017, insb. S. 16-26 sowie van Laak: *Imperiale Infrastruktur*, 2004, S. 9-34.

77 Vgl. Hughes, Thomas P.: *Networks of Power. Electrification in Western Society, 1880-1930*, Baltimore 1983.

modell für die Entwicklung jener Systeme: Die erste Phase der »Innovation« ist geprägt durch die Arbeit der »system builder« (bei Hughes exemplifiziert durch Thomas Edison), die eine Technologie zunächst »erfinden« und entwickeln, bis sie schließlich marktreif ist. Es folgt eine »Transfer«-Phase, in der das technische System in andere Weltregionen übertragen und damit auch in andere soziale wie naturräumliche Kontexte eingespeist wird. In der sich anschließenden Phase des Systemwachstums korrigieren die »system builder« Störfaktoren (»reverse salients«), die der Ausweitung des Systems entgegenstehen. In der finalen Phase, dem »Momentum«, attestiert Hughes dem gereiften System, das sich inzwischen an die unterschiedlichen kulturellen und natürlichen Gegebenheiten angepasst hat, eine Stabilität, die zugleich aber auch in ihrer »Trägheit« wenig Platz für alternative Ansätze lässt. Mit *Networks of Power* (1983) und *The Development of Large Technical Systems* (1988)<sup>78</sup> sind zwei der prägendsten Impuls-Publikationen für eine neuere historisch-sozialwissenschaftliche Technikforschung genannt, in der die Beziehung zwischen großtechnischen Systemen und sozialer Umwelt wechselseitig (und nicht technik-deterministisch) verstanden wird, und deren Konzepte inzwischen ihren festen Platz in den Science and Technology Studies (STS) und der Technikgeschichte gefunden haben.<sup>79</sup>

In der deutschen Historiographie hat Dirk van Laak bereits Ende der 1990er, Anfang der 2000er Jahre entscheidende Impulse auf dem Gebiet der Infrastrukturgeschichte gesetzt. In *Weisse Elefanten*<sup>80</sup> skizzierte er eindrücklich den technokratischen Größenwahn, den Anspruch und das vielfache Scheitern technischer Infrastrukturprojekte im 20. Jahrhundert und die damit verbundenen Auswirkungen auf Wissenschaft, Technik, Wirtschaft, Politik, Gesellschaft und Umwelt. In seinen global verteilten Fallstudien bezieht er auch nicht realisierte Projekte, wie etwa Herman Sörgels Atlantropa, in seine Erzählung mit ein.<sup>81</sup> Damit wirft er einen kritischen Blick auf die von Hughes in der Momentum-Phase beschriebene »Stabilität« der technischen Großsysteme und öffnet das Themenspektrum für künftige Forschung über die ökologischen und sozialen Kontroversen, die rund um den Bau und das Management dieser Groß-

78 Vgl. Mayntz, Renate; Hughes, Thomas P. (Hg.): *The development of large technical systems*, Frankfurt am Main 1988.

79 Zur Wirkungsgeschichte siehe u. a. Zumbrägel, Christian: *Dreißig Jahre danach. Thomas P. Hughes' Networks of Power als Leitkonzept der Stadt- und Technikgeschichte*, in: *Informationen zur modernen Stadtgeschichte* 1, 2015, S. 93-98.

80 Vgl. van Laak: *Weisse Elefanten*, 1999.

81 Zum Atlantropa-Projekt siehe Gall, Alexander: *Das Atlantropa-Projekt*, Frankfurt am Main 1998.

projekte auftraten. In seiner Habilitationsschrift widmet sich van Laak dann »imperialen Infrastrukturen« am Beispiel der deutschen Planung zur Erschließung Afrikas zwischen 1880 und 1960.<sup>82</sup> Aus der reichen Quellenbasis dieser Arbeit heraus sind von ihm zahlreiche Aufsätze zu diesem Forschungszweig entstanden, die sowohl die Begriffsgeschichte als auch das analytische und heuristische Potenzial einer Infrastrukturgeschichte für die Geschichtswissenschaft ausloten.<sup>83</sup> Mit *Alles im Fluss* hat er 2018 eine große Synthese vorgelegt, in der er Wandlungsprozesse von Infrastrukturen über drei Jahrhunderte historisiert, hochaktuelle Themen wie Public Private Partnership, Lebenszyklen und Verwundbarkeit von Infrastrukturen thematisiert und auch Nutzer\*innen und Betreiberinteressen in den Fokus rückt.<sup>84</sup> Infrastruktursysteme seien für Historiker\*innen wertvolle »materialisierte Gedächtnispartikel« und »Substrate der kollektiven Wünsche und Ängste der Vergangenheit«, deren historisches Studium »vielleicht sogar zu einem bewußteren Umgang mit der Gegenwart« führen könne. »Als Traditionen früherer Generationen gedacht, ließen sie sich heute als Überreste früherer Raum- und Gesellschaftsentwürfe« lesen.<sup>85</sup>

Van Laak sieht in Infrastrukturen »Integrationsmedien erster Ordnung«, die »von technokratischen Staatsauffassungen als Steuerungsinstrument genutzt worden« sind und »insofern neben staatsrechtliche und politische Integrationsvorstellungen des 20. Jahrhunderts gestellt werden« müssen.<sup>86</sup> Als besonders erklärungsstark hat sich in diesem Zusammenhang das Konzept der »hidden integration« erwiesen, das am Beispiel Europas und seiner globalen Verflechtungen die Wirkungen beschreibt, die aus der transnationalen Zirkulation von Wissen, Technologien, Experten und technischen Infrastrukturen resultieren.<sup>87</sup> Die

82 Vgl. van Laak: *Imperiale Infrastruktur*, 2004.

83 Vgl. van Laak: *Der Begriff »Infrastruktur« und was er vor seiner Erfindung besagte*, 1999; van Laak: *Weißer Elefant*, 1999; van Laak: *Infra-Strukturgeschichte*, 2001; van Laak, Dirk: *Technological Infrastructure, Concepts and Consequences*, in: *Icon 10*, 2004, S. 53-64; van Laak, Dirk: *Planung. Geschichte und Gegenwart des Vorgriffs auf die Zukunft*, in: *Geschichte und Gesellschaft 34 (3)*, 2008, S. 305-326; van Laak, Dirk: *Archäologie des Alltags. Köln und seine Infrastruktur*, Köln 2017; van Laak: *Alles im Fluss*, 2018.

84 Vgl. van Laak: *Alles im Fluss*, 2018.

85 van Laak: *Infra-Strukturgeschichte*, 2001, S. 393.

86 Ebd., S. 368.

87 Vgl. Misa, Thomas J.; Schot, Johan: *Inventing Europe. Technology and the hidden integration of Europe*, in: *History and Technology 21 (1)*, 2005, S. 1-19; Kleinschmidt, Christian: *Infrastructure, Networks, (Large) Technical Systems. The »Hidden Integration« of Europe*, in: *Contemporary European History*

»co-evolution« von Infrastrukturprojekten und der Formierung nationaler Identitäten haben Gabrielle Hecht für die Atomenergie in Frankreich und Judith Schueler für den Gotthardtunnelbau der Schweiz eindrucksvoll herausgearbeitet.<sup>88</sup> Paul Edwards hat in diesem Sinne auf die enge Verflechtung von Infrastrukturen und Moderne hingewiesen. Er argumentiert, »that infrastructures simultaneously shape and are shaped by the condition of modernity«. Indem sie die Makro-, Meso- und Mikro-Ebenen von Zeit, Raum und sozialer Organisation verbinden, formen sie »the stable foundation of modern social worlds«.<sup>89</sup>

Doch Infrastrukturen verbinden nicht nur, sie entfalten auch eine trennende Wirkung.<sup>90</sup> Sie entstehen zum Vorteil einer Gruppe oder eines Ortes und wirken gleichzeitig zum Nachteil anderer,<sup>91</sup> sie verdrängen Anwohner und lokale Industrien, durchschneiden alte Verkehrs- und Handelswege oder Lebensräume und Wanderwege von Tierarten. Es stellt sich also immer auch die Frage, für wen eine Infrastruktur errichtet wird. Diese Aushandlungsprozesse im Spannungsfeld von Allgemeinwohl und Interessen einzelner Gruppen, Individuen oder Lebewesen unterliegen einem historischen Wandel, den die Geschichtswissenschaften bereits früh als Untersuchungsgegenstand für sich entdeckt haben.

19 (3), 2010, S. 275-284; Högselius, Per u. a.: *The Making of Europe's Critical Infrastructure. Common Connections and Shared Vulnerabilities*, Houndmills/Basingstoke/Hampshire 2013; Oldenziel, Ruth; Hård, Mikael: *Consumers, Tinkerers, Rebels. The People Who Shaped Europe*, New York 2013; Kaiser, Wolfram; Schot, Johan: *Writing the Rules for Europe. Experts, Cartels, and International Organizations*, Basingstoke 2014; Kohlrausch, Martin; Trischler, Helmut: *Building Europe on Expertise. Innovators, Organizers, Networkers*, Basingstoke 2014; Jajeśniak-Quast, Dagmara: »Hidden Integration« – RGW-Wirtschaftsexperten in europäischen Netzwerken, in: *Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte / Economic History Yearbook* 55 (1), 2014, S. 179-196.

88 Vgl. Hecht, Gabrielle: *The Radiance of France. Nuclear Power and National Identity after World War II*, Cambridge, MA 1998; Schueler, Judith: *Materialising Identity. The Co-construction of the Gotthard Railway and Swiss National Identity*, Amsterdam 2009.

89 Edwards, Paul: *Infrastructure and Modernity. Force, Time and Social Organization in the History of Sociotechnical Systems*, in: Misa, Thomas J.; Brey, Philip; Feenberg, Andrew (Hg.): *Modernity and technology*, Cambridge, MA 2003, S. 186; weiterhin zu Infrastrukturen und Moderne siehe auch Engels, Jens Ivo; Obertreis, Julia: *Infrastrukturen in der Moderne*, in: *Saeculum* 58 (1), 2007, S. 1-12.

90 Vgl. Heine, Eike-Christian: *Vom großen Graben. Die Geschichte des Nord-Ostsee-Kanals*, Berlin 2015, S. 271f.

91 Vgl. Jones: *Routes of Power*, 2014, S. 10 sowie allgemein Scott, James C.: *Seeing like a State. How certain schemes to improve the human condition have failed*, New Haven 1998.

Als eines der Frühwerke gilt Karl Wittfogels *Oriental Despotism* (1957).<sup>92</sup> Der deutsche Sinologe und Historiker argumentierte, dass die strukturelle Erschließung abgelegener Regionen Chinas mithilfe von Dämmen und Kanälen bis ins 18. Jahrhundert zu einer Konzentration der Macht bei einer bürokratischen Elite geführt hätte, den sogenannten »hydraulic societies«. Ihre Herrschaftsstrukturen konnten sich zu einem despotischen System ausbilden, den von Wittfogel beschriebenen »Hydraulic Empires«. In *Rivers of Empire* (1985) historisiert der amerikanische Umwelthistoriker Donald Worster diese Traditionslinie von Wittfogel mit Verweis auf dessen Ursprünge bei Karl Marx, Max Weber und der frühen Frankfurter Schule.<sup>93</sup> Er zeigt, dass die Erschließung des amerikanischen Westens mithilfe systematischer Flussregulierung und der Errichtung von Dammsystemen katastrophale ökologische Konsequenzen und ebenfalls die Machtkonzentration bei einer ökonomischen und bürokratischen Elite zur Folge hatte. In Anlehnung an Marvin Harris spricht er von einer »hydraulic trap«, in die sich diese Gesellschaften begeben hätten. Ihre Entscheidung für großdimensionierte Infrastrukturen zur Kontrolle der Natur im »goldenen Westen« hätten sie ihrer Flexibilität beraubt, sie ängstlich vor Veränderungen und abhängig von einer Administration gemacht, welche die Wasserknappheit verwaltete.<sup>94</sup> In einem epochenübergreifenden Sammelband betonen auch Birte Förster und Martin Bauch, dass die Erforschung von Wasserinfrastrukturen es erlaubt, neue Perspektiven auf die Geschichte von Machtbeziehungen zu entwerfen, denn sie seien »nicht nur *Ergebnis*, sondern zugleich *Voraussetzung*, *Instrumente* und *Quellen* von Macht«. <sup>95</sup> Die Möglichkeit zur Rekonstruktion komplexer »Machtfragen« sieht auch Jens Ivo Engels in seinem Forschungsüberblick als eine Stärke der Infrastrukturgeschichte.<sup>96</sup> In diesem Zusammenhang hat sie früh in der Imperialismus- und (Post-)Kolonialismusforschung ihre Wirkung entfaltet. Besonders einflussreich war lange Zeit Daniel Headricks These zu Infrastrukturen als »tools of empire«, denen bei der Ausbeutung der Natur und der Men-

92 Vgl. Wittfogel, Karl A.: *Oriental Despotism. A Comparative Study of Total Power*, New Haven 1957.

93 Vgl. Worster, Donald: *Rivers of Empire. Water, Aridity, and the Growth of the American West*, Oxford 1992 [Paperback-Neuaufgabe; erstmals erschienen 1985].

94 Vgl. ebd., S. 329.

95 Förster, Birte; Bauch, Martin (Hg.): *Wasserinfrastrukturen und Macht. Politisch-soziale Dimensionen technischer Systeme*, München 2014, S. 10. Hervorhebungen im Original.

96 Vgl. Engels, Jens Ivo: *Machtfragen. Aktuelle Entwicklungen und Perspektiven der Infrastrukturgeschichte*, in: *Neue Politische Literatur* 55, 2010, S. 51-70.