

2.6 Frühe Waldvernichtung, Biodiversität und Klima

DIETER KASANG, LINA TECKENTRUP & MARKUS ADLOFF

Frühe Waldvernichtung, Biodiversität und Klima: Fossile Pollen und andere historische und prähistorische Datenarchive zeigen, dass die Menschheit schon lange vor Beginn des Industriezeitalters die natürlichen Ökosysteme großflächig und nachhaltig verändert hat. Die von verschiedenen Zentren in der Welt ausgehende neolithische Agrarrevolution hat durch den Bedarf an Acker- und Weideflächen zunächst im Mittelmeerraum, dann auch in China und anderen Regionen zu umfangreichen Waldrodungen geführt. Die neu entstandene Kulturlandschaft veränderte auch die vorhandene Biodiversität. Im Mittelmeerraum und anderen Teilen Europas erhöhte die Umwandlung der Landschaft in eine mehr offene und mosaikartige Struktur den Artenreichtum. Für außereuropäische Regionen lassen die geringe Anzahl an Untersuchungen vergleichbare Schlussfolgerungen kaum zu. Die starke Entwaldung seit dem mittleren Holozän hat durch die Veränderung der Erdoberfläche und die Emission von Treibhausgasen auch einen Einfluss auf das regionale und globale Klima gehabt. Dessen Umfang und Art wird vor allem mit Bezug auf die Hypothese eines frühen Anthropozän in der Forschung diskutiert.

Early forest destruction, Biodiversity and Climate: Fossil pollen and other historical and prehistorical data archives show that humankind influenced natural ecosystems on a large scale long before the beginning of industrialisation. The Neolithic Revolution, which started in a variety of human population centres, led to extensive clearing of forests due to an increasing demand for pasture and farmland. This first occurred in the Mediterranean, followed by China and other regions. The newly cultivated landscape also altered the existing biodiversity. In the Mediterranean and other parts of Europe, the transformation of the landscape to a more open and mosaic-like structure enhanced the diversity of species. For the extra-European regions, a comparable conclusion is hardly possible due to the lack of proper data and studies. The extensive clearing of forests since the middle of the Holocene changed the Earth's surface and led to emissions of greenhouse gases, resulting in an impact on regional and global climate. The magnitude of those changes is mainly discussed with regard to the hypothesis of an early Anthropocene.

Die Beseitigung von Wald gilt als eine der wichtigsten anthropogenen Änderungen der natürlichen Umwelt. Durch Waldrodung wurden Acker- und Weideland, Siedlungen und Verkehrswege erschlossen. Gleichzeitig wurden Wälder für Brenn- und Baumaterialien genutzt. Sowohl paläoökologische als auch archäologische Daten zeigen, dass bereits 6.000 Jahre vor der industriellen Revolution intensive und kontinuierliche menschliche Besiedlungen stattfanden. Neben den direkten Folgen des menschlichen Eingriffs in die Umwelt können Landnutzungsänderungen auch biogeophysikalische (z.B. in der Albedo, Evapotranspiration und Oberflächenrauigkeit) sowie biogeochemische (z.B. Emission von Treibhausgasen und Aerosolen) Prozesse auslösen, die Auswirkungen auf die Hydrologie und das Klima auf regionaler und globaler Ebene haben.

Im Folgenden werden die vorindustrielle Entwaldung, ihre Wirkung auf die Biodiversität und ihre Effekte auf das Klima dargestellt.

Entstehung und Ausbreitung der Landwirtschaft

Seit dem Auftauchen des Homo sapiens vor rund 200.000 Jahren hat die Jäger- und Sammler-Gesellschaft über 95% der Zeit insgesamt verhältnismäßig wenig in die natürlichen Ökosysteme eingegriffen. Mit der Entstehung der Landwirtschaft vor ca. 11.000 Jahren begann eine zunehmend stärkere Änderung

der Bodenbedeckung, die in vielen Regionen der Welt durch Waldbeseitigung gekennzeichnet war (ELLIS et al. 2013). Dieser Prozess ist in Anlehnung an die »Industrielle Revolution« als »Neolithische Revolution« bezeichnet worden. Neuere Forschung geht davon aus, dass es sich dabei allerdings weniger um einen revolutionären Umwälzungsprozess gehandelt hat als um eine 3.000 Jahre andauernde Entwicklung mit vielen Fehlversuchen, Sackgassen und Zufällen (FULLER 2010). Außerdem zeigen archäologische Daten der jüngsten Zeit eine große Anzahl von Regionen als Ursprung der neuen Technik der Nahrungsbeschaffung, die heute auf bis zu 24 Zentren geschätzt wird (ELLIS et al. 2013).

Zuerst haben die Menschen den Schritt zur landwirtschaftlichen Produktion in der Region des »Fruchtbaren Halbmonds«, die sich vom Südosten der heutigen Türkei über Nordsyrien bis zum Nordirak erstreckte, vollzogen. Hier änderten Jäger und Sammler vor etwa 11 Jahrtausenden ihr Leben grundlegend und wurden sesshafte Bauern, die Getreide anbauten, Vieh züchteten und Vorratshaltung betrieben. Von hier breitete sich die neue Agrargesellschaft bis 5.700 v.h. über die meisten Gebiete Europas aus, zunächst im mediterranen Raum, dann aber auch über Mitteleuropa und bis zu den britischen Inseln. Ein zweiter Schwerpunkt der Entwicklung lag unabhängig davon in China, wo vor 8.500 Jahren der Reisanbau begann und um 5.500 v.h. Südostasien und gut tausend Jahre später Nordindien erreichte (YI et al. 2010). Ein dritter Schwerpunkt

befand sich in Mittelamerika, wo Mais möglicherweise schon um 9.000 v.h. kultiviert wurde (SMITH et al. 2016). Weitere Zentren gab es im Nordwesten Perus, im Osten der USA, in den nördlichen Anden, im südindischen Hügelland, in Westafrika und im Bergland von Neu-Guinea (Abb. 2.6-1).

Entwaldung

Eine wesentliche ökologische Folge der Ausbreitung der Landwirtschaft war die Entwaldung, die in zahlreichen Gebieten durch Pollenfunde und archäologische Daten belegt ist. Die frühesten Nachweise finden sich im östlichen Mittelmeerraum. Die Folgen menschlicher Aktivitäten lassen sich hier allerdings für die erste Hälfte des Holozäns nur schwer von den Auswirkungen der Klimaschwankungen unterscheiden (SADORI et al. 2011). Der anthropogene Einfluss auf die Änderungen der Vegetation macht sich jedoch ab

etwa 5000 v.h. zunehmend bemerkbar (AZUARA et al. 2015). In dieser Zeit breitete sich die Landwirtschaft auch in der nordwestlichen mediterranen Region aus und war im Vergleich mit den eher geringen Klimaschwankungen die primäre Ursache der beobachteten Vegetationsänderungen. Pollendaten zeigen auch für Mittel-, West- und Nordeuropa seit 6.000-5.000 Jahre v.h. eine durch landwirtschaftliche Prozesse bedingte Veränderung der Waldbedeckung zu einer mehr offenen Vegetation (RUDDIMAN et al. 2016).

Auch auf anderen Kontinenten kann die Entwaldung durch die Ausdehnung landwirtschaftlicher Aktivitäten belegt werden. In China zeigen Pollenserien zwar noch bis vor 8.000 Jahren eine starke Waldbedeckung, die jedoch besonders nach 6.000 v.h. durch Waldrodung kontinuierlich abnahm, nicht zuletzt infolge der sich ausbreitenden Nassreis-Kultur (YI et al. 2010, RUDDIMAN et al. 2016). Auch in Nordindien

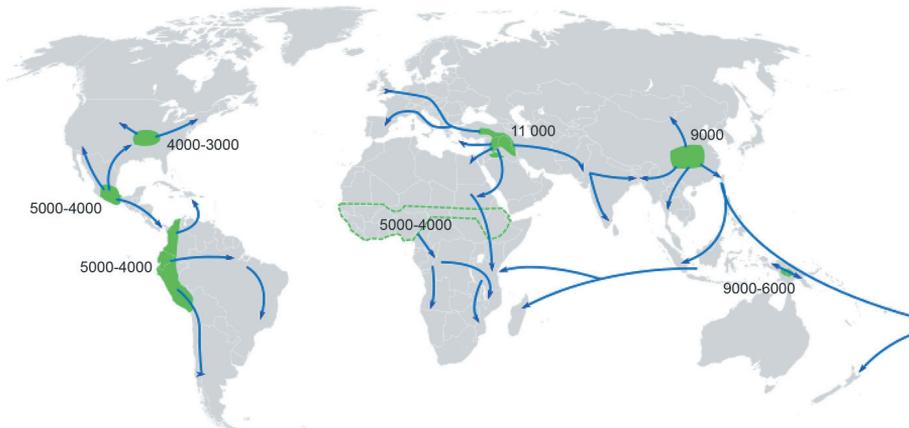


Abb. 2.6-1: Wichtige Ursprungszentren der Landwirtschaft und deren frühe Ausbreitung; Zeitangaben in Jahre v.h. (Quelle: Wikimedia: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centres_of_origin_and_spread_of_agriculture.svg, Autor: Joey Roe; Lizenz: CC BY-SA).

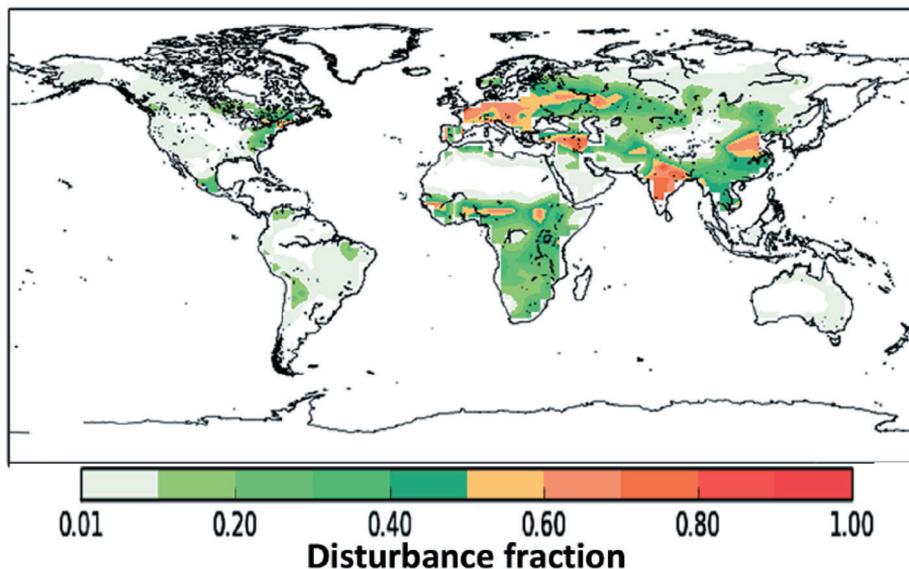


Abb. 2.6-2: Veränderungsgrad der anthropogen beeinflussten Landflächen um 1850 nach dem KK10-Modell. Die Skala gibt den Grad der Störung der natürlichen Vegetation durch anthropogene Nutzung an (1 = 100%). (SMITH et al. 2016, Lizenz: CC BY).

und Thailand war der Übergang vom Trocken- zum Nassreisbau um 3000 v.h. mit einer großflächigen Entwaldung verbunden (FULLER 2011). Ebenso kam es nach FULLER et al. (2014) in den Hirseanbaugebieten in Nordchina seit 5.000 v.h. zur Beseitigung von Wald, wie auch im südindischen Hügelland (ab 3.500 v.h.), in den östlichen Waldgebieten Nordamerikas (ab 4.500-4.000 v.h.) und auf Neuguinea (ab 7.000-6.000 v.h.).

Die empirischen Daten aus Pollenserien und archäologischen Fundstellen zur frühen Waldrodung beschränken sich jedoch auf einzelne Feldstudien und sind oft nur für einen relativ kleinen Raum aussagekräftig. Für die Zeit vor 1700 n.Chr. beruhen daher alle großräumigen und globalen Abschätzungen zur Landnutzung auf Rekonstruktionen, die sich auf Modellsimulationen stützen (ELLIS et al. 2013). Die Modelle gehen dabei von Schätzungen der Bevölkerungsentwicklung auf regionaler Ebene aus, aus denen dann die Landnutzung abgeleitet wird. Dabei werden allerdings sehr unterschiedliche Annahmen über den Flächenbedarf pro Person zugrunde gelegt, so dass die Ergebnisse stark voneinander abweichen. Die Landschaftsveränderungen in Abb. 2.6-2 beruhen auf dem KK10-Modell (SMITH et al. 2016; »KK10« benannt nach KAPLAN & KRUMHARDT et al. 2010), das von einem relativ hohen Flächenbedarf im mittleren Holozän ausgeht.

Veränderung der Artenvielfalt

Welche Folgen die weltweit umfangreiche frühe Waldbeseitigung zugunsten der landwirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen auf Änderungen der Biodiversität im Holozän gehabt hat, ist nur in wenigen regionalen Studien, die sich im Wesentlichen auf Pollenfunde stützen, untersucht (BIRKS et al. 2016). Die am besten

erforschte Region ist der Mittelmeerraum. Der primär durch den Gebrauch des Feuers verursachten Entwaldung fielen hier über die Jahrtausende wahrscheinlich 85% der ursprünglichen Wälder zum Opfer (BLONDEL 2006). Die Folge war eine deutliche Reduktion von Baumarten wie Weißtannen, Ulmen, Eschen, Steineichen und Pinien (COLOMBAROLI & TINNER 2013). Durch die Waldbeseitigung und die Entwicklung der Landwirtschaft wurde die mediterrane Landschaft jedoch in neue, offene und mosaikartige Lebensräume mit unterschiedlicher anthropogener Nutzung umgewandelt. Pollenfunde über eine große Distanz von mehr als 1.000 km von der Schweiz bis nach Sizilien zeigen, dass auf diesen Flächen der Wald durch eine artenreiche Feld-, Wiesen- und Macchiavegetation ersetzt und die Biodiversität insgesamt erhöht wurde (COLOMBAROLI & TINNER 2013).

Vor allem bereicherten zahlreiche Kulturpflanzen wie Getreide, Futterpflanzen, Ölpflanzen, Obstbäume, Gemüse einschließlich domestizierter Tiere mit der Einführung der Landwirtschaft die Biodiversität. Früher isolierte Arten wurden durch den Handel und durch Kolonisten zusammengeführt und bildeten neue Formen. Genetische Änderungen in neuen Lebensräumen führten teilweise zu neuen Arten. Über die Zeit entstanden z.B. hunderte Variationen von Olivenbäumen, Mandelbäumen, Weizenpflanzen und Weinstöcken, die ebenfalls die Biodiversität erhöhten. So waren allein auf Mallorca um 1900 fast 400 Mandelbaumsorten in Nutzung. Auch der Olivenbaum, die Symbolpflanze der mediterranen Kultur, weist heute mehr als 600 kultivierte Sorten auf (BLONDEL 2006). Hinzu kam die Verbreitung invasiver Arten durch Viehherden. Nach BLONDEL (2006) hat es die höchste Biodiversität in me-

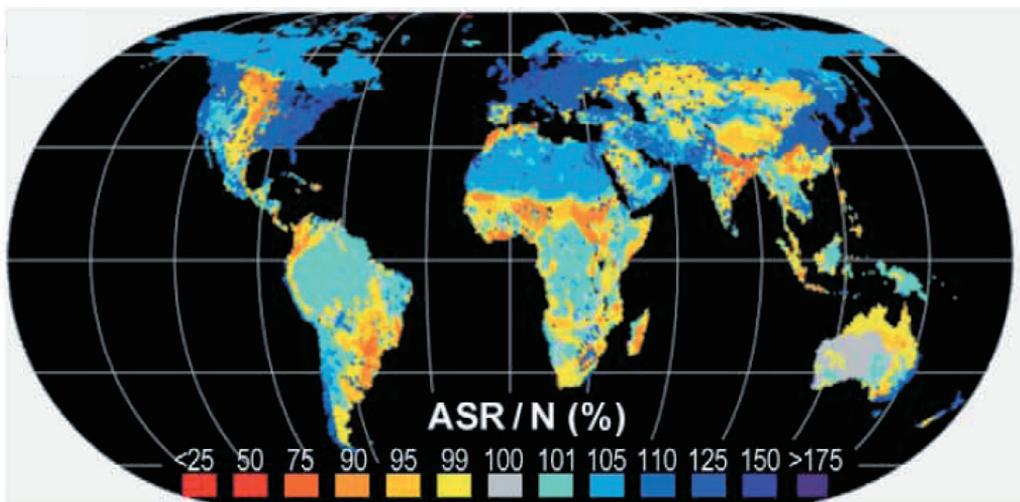


Abb. 2.6-3: Anthropogene (ASR) im Verhältnis zur natürlichen Artenvielfalt (N): >100 = Überwiegen der anthropogenen Artenvielfalt gegenüber der natürlichen in% (ELLIS et al. 2012; Lizenz: CC BY).

diterranen Ökosystemen während des Holozäns wahrscheinlich nie in Wäldern gegeben, sondern in agrarisch geprägten Landschaften.

Möglicherweise unterscheidet sich der Mittelmeerraum mit dieser Entwicklung von anderen klimatisch ähnlichen Gebieten in der Welt wie Kalifornien, Chile, Südafrika und das südliche Australien (BLONDEL 2006). Grund dürfte die Jahrtausende alte Interaktion zwischen menschlichen Aktivitäten und natürlichen Ökosystemen gewesen sein, die eine hohe Anpassungsfähigkeit mediterraner Pflanzen und Tiere an die anthropogen geprägte Landschaft zur Folge hatte. Voraussetzung war allerdings ein nur mittlerer Grad an Störung der natürlichen Lebensräume, wie er für traditionelle landwirtschaftliche Systeme typisch war, der in der modernen industriellen Landwirtschaft jedoch deutlich überschritten wird.

Wieweit eine Erhöhung der Biodiversität durch die Ablösung von Waldökosystemen durch landwirtschaftlich bestimmte Lebensräume auch auf andere Regionen in der Welt zutrifft, lässt sich aufgrund der nur spärlichen Daten und Untersuchungen kaum einschätzen. Eine Zunahme der Artenvielfalt wurden in Einzeluntersuchungen auch für Nordwesteuropa (BIRKS et al. 2016), Südschweden und die Pyrenäen (DEARING et al. 2015) festgestellt. Dagegen nimmt HABERLE (2007) eine lokale und regionale Reduzierung der Biodiversität durch frühe Waldvernichtung in den Tälern Neu-Guineas an. Eine Zusammenführung unterschiedlicher Proxydaten wie z.B. auch aus DNA-Techniken gewonnenen Erkenntnissen zu einem globalen Bild der Änderungen der Biodiversität im Holozän wird nach BIRKS et al. (2016) eine Herausforderung für die Zukunft sein.

Gegenwärtig kann ein globaler Überblick nur mit Hilfe von Modellstudien erstellt werden. So haben nach einer Modellsimulation von ELLIS et al. (2012), die bis an die Gegenwart heranreicht (und daher nur einen eingeschränkten Wert für die Zeit vor der Industrialisierung besitzt), die lokalen Einheiten der terrestrischen Biosphäre durch die anthropogene Landnutzung 5% ihres pflanzlichen Artenreichtums verloren, auf der anderen Seite aber 7% vor allem durch exotische Arten hinzugewonnen. Die Landnutzung für Ackerbau und Viehzucht reduzierte zwar den natürlichen Pflanzenbestand, erleichterte aber zugleich das Eindringen von exotischen Arten in neue Lebensräume. *Abb. 2.6-3* zeigt, dass die Gewinne durch Exoten vor allem in Regionen mit dichter Bevölkerung und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung in Europa, Nordamerika und China liegen. Andererseits ist davon auszugehen, dass die Biomasse durch die Umwandlung von Wäldern in landwirtschaftlich genutzte Flächen deutlich abgenommen und die Art der Bodenbedeckung sich stark geändert hat, mit regionalen und globalen Auswirkungen auf das Klima.

Auswirkungen auf das Klima

Nachdem man lange Zeit davon ausgegangen ist, dass der Mensch das Klima der Erde erst seit dem Beginn der Industrialisierung beeinflusst hat, ist in der jüngeren Forschung eine Diskussion darüber entstanden, ob dieser Einfluss möglicherweise nicht erheblich früher stattgefunden hat (IPCC 2013). Die umfangreichen Landnutzungsänderungen und dabei besonders die Entwaldung seit dem mittleren Holozän haben nicht nur regionale klimatische Auswirkungen durch die Veränderung der Erdoberfläche (sog. biogeophysische Effekte) gehabt, die in der Summe abkühlend wirken, sondern auch globale Folgen durch die Freisetzung von Treibhausgasen (biogeochemische Effekte), die eine Erwärmung der Atmosphäre zur Folge haben. Die Debatte ist besonders durch die Hypothese von einem frühen Anthropozän des amerikanischen Paläoklimatologen William Ruddiman angeregt worden (RUDDIMAN 2003).

Es besteht weitgehende Übereinstimmung darüber, dass die biogeochemischen Folgen der Entwaldung die biophysikalischen Effekte global übertreffen (SMITH et al. 2016). Nach RUDDIMAN et al. (2016) haben die Emissionen von Kohlendioxid seit 7000 v.h. und daneben von Methan seit 5000 Jahren v.h. bis zum Beginn der Industrialisierung sogar dazu geführt, dass die Erde vor dem Beginn einer neuen Eiszeit bewahrt wurde. Allerdings zeige sich die vorindustrielle anthropogene Erwärmung nicht in einer Erhöhung der beobachteten globalen Temperatur, da gleichzeitig die Solareinstrahlung vom mittleren Holozän bis zur vorindustriellen Zeit abgenommen habe, was ohne die anthropogenen Treibhausgasemissionen eine globale Abkühlung mit Eisbildungen im Norden Nordamerikas und Eurasiens zu Folge gehabt hätte (vgl. *Abb. 2.6-4*).

Tatsächlich belegen Eisbohrkerne einen CO₂-Anstieg von 7.000 v.h. bis zur vorindustriellen Zeit (1750) um 20 ppm (IPCC 2013). Für RUDDIMAN et al. (2016) ist dieser Anstieg anthropogen bedingt. Die Autoren begründen das zum einen durch einen Vergleich mit früheren Warmzeiten (Interglazialen) und zum anderen mit paläoökologischen und archäologischen Daten über die großräumige Ausbreitung der Landwirtschaft auf Kosten der Waldbedeckung. In früheren Warmzeiten habe es ähnlich wie im Holozän zu Beginn zunächst einen Anstieg von CO₂ und Methan gegeben, der sich dann aber infolge einer sich verringernden Solarstrahlung in eine anhaltende Abnahme der Konzentration beider Treibhausgase verwandelt habe. Das Holozän folge zunächst ebenfalls diesem Muster, zeige dann aber ab 7.000 v.h. bei CO₂ und ab 5.000 Jahre v.h. bei Methan eine stetige Zunahme der Konzentration, die durch menschliche Aktivitäten verursacht sei.

Nach RUDDIMAN et al. (2016), der hier die Ergeb-

nisse des KK10-Modells aufgreift (s.o.), war der Landbedarf der frühen Agrarbevölkerung seit dem mittleren Holozän aufgrund der geringen technologischen Entwicklung etwa viermal höher als vor Beginn der industriellen Revolution. Entsprechend waren auch die CO₂-Emissionen mit 343 GtC fast fünfmal so hoch wie bei der Annahme einer konstanten Pro-Kopf-Landnutzung. Die sich daraus ergebende Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre habe nach dem Erreichen eines Gleichgewichtszustandes mit dem Ozean und anderen Kohlenstoffreservoirs 24 ppm betragen.

Dieser Argumentation wird in der Forschung z.T. deutlich widersprochen. Dabei konzentrieren sich die Gegenargumente auf drei Punkte. Erstens werden der Vergleich des Holozäns mit früheren Interglazialen und der daraus abgeleitete anthropogene Charakter des Anstiegs der Treibhausgaskonzentration in Frage gestellt. Nach VETTORETTI & PELTIER (2011) hat jedes Interglazial seine eigene orbitale Signatur, die nicht besonders ähnlich mit der gegenwärtigen sei. Zweitens bestehen erhebliche Zweifel an dem anthropogenen Ursprung der Zunahme der CO₂-Konzentration um ca. 20 ppm seit dem mittleren Holozän, die nach KLEINEN et al. (2015) eher auf Austauschprozesse mit dem Ozean zurückzuführen sind. Drittens wird den Änderungen der Treibhausgaskonzentrationen im Holozän gegenüber den Schwankungen der Solarstrahlung nur ein geringer Einfluss auf Klimaänderungen und insbesondere auf den möglichen Beginn einer neuen Eiszeit zugesprochen (CLAUSSEN et al. 2005). Nach STOCKER et al. (2011) überschreiten die anthropogenen CO₂-Emissi-

onen auch bei unterschiedlichen Annahmen über den Umfang der vorindustriellen Landnutzung mit weniger als 12 ppm bis 1850 die natürlichen Schwankungen erst um 1.000 n.Chr. und besäßen daher nur einen globalen Temperatureffekt von 0,1-0,2 °C.

Ausblick

Die Diversität des Lebens auf der Erde verändert sich kontinuierlich und viele heutige Landschaften verdanken ihre Einzigartigkeit den menschlichen Eingriffen in der Vergangenheit. Gebiete mit hoher Diversität zeigen oft ein komplexes Mosaik aus Artengemeinschaften, dessen Ursache vielfach ein Zusammenspiel aus klimatischen und anthropogenen Einflüssen ist. Eine paläo-ökologische Perspektive ist daher von großer Bedeutung, um auch heutige Ökosysteme zu verstehen und die Biodiversität der Zukunft zu prognostizieren und zu steuern.

Seit Beginn der Industrialisierung hat die Dynamik der anthropogenen Umwandlung der natürlichen Ökosysteme durch den Menschen noch einmal deutlich zugenommen. Gegenwärtig sind Dreiviertel der terrestrischen Biosphäre anthropogen geprägte Lebensgemeinschaften (ELLIS 2012). Verbunden damit sind weitverbreitet Verluste natürlicher Arten, wobei sich die lokale Biodiversität durch die Ausbreitung exotischer Arten jedoch nicht verringert hat. Hat die Umwandlung der Biodiversität durch den Menschen in vorindustrieller Zeit langfristige Auswirkungen auf das Klima gehabt, so wirkt heute der anthropogene Klimawandel auf die weltweiten Ökosysteme zurück und gefährdet z.B.

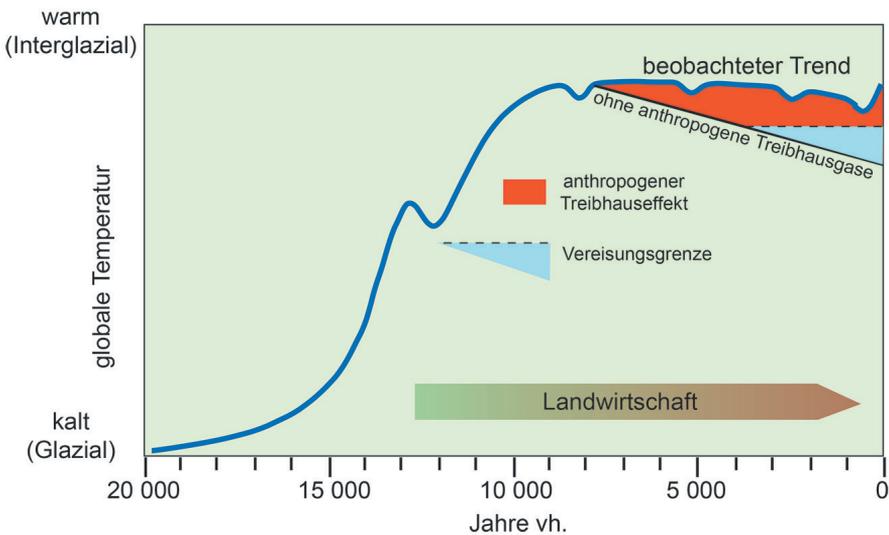


Abb. 2.6-4: Schematische Darstellung der Klimaentwicklung im Holozän nach RUDDIMAN et al. (2016): Nach dem Ende der Eiszeit hat sich die globale Temperatur auf einem relativ stabilen Niveau bewegt. Ohne anthropogene Treibhausgase wäre sie jedoch seit ca. 8.000 Jahren v.h. stetig gesunken, so dass es vor ca. 3.000 Jahren zu einer neuen Vereisung gekommen wäre (gestrichelte Linie).

durch hohe Temperaturen, Trockenheit und dadurch begünstigte Schädlinge Wälder an zahlreichen Standorten (IPCC 2014). Trotz aller Unsicherheiten in den Modellprojektionen scheint dieser Aspekt neben den direkten menschlichen Eingriffen zukünftig noch an Bedeutung zu gewinnen.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- AZUARA, J., N. COMBOURIEU-NEBOUT, V. LEBRETON, F. MAZIER et al. (2015): Late Holocene vegetation changes in relation with climate fluctuations and human activities in Languedoc (Southern France), *Climate of the Past* 11, 1769-1784, doi:10.5194/cp-11-1769-2015.
- BIRKS, H. J. B. (2012): Ecological palaeoecology and conservation biology: controversies, challenges, and compromises, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8:4, 292-304.
- BIRKS, H. J. B., V.A. FELDE & A.W.R. SEDDON (2016): Biodiversity trends within the Holocene, *The Holocene* 26, 994-1001.
- BLONDEL, J. (2006): The 'Design' of Mediterranean landscapes: A millennial story of humans and ecological systems during the historic period. *Human Ecology* 34: 713-729.
- CLAUSSEN, M., V. BROVKIN, R. CALOV, A. GANOPOLSKI et al. (2005): Did Humankind Prevent a Holocene Glaciation? Comment on Ruddiman's Hypothesis of a Pre-Historic Anthropocene, *Climatic Change* 69, 409-17.
- COLOMBAROLI, D., & W. TINNER (2013): Determining the long-term changes in biodiversity and provisioning services along a transect from central Europe to the Mediterranean. *The Holocene* 23, 1625-1634.
- DEARING, J. A., et al. (2015): Social-ecological systems in the Anthropocene: The need for integrating social and biophysical records at regional scales. *The Anthropocene Review* December 2015 2: 220-246, doi:10.1177/2053019615579128.
- ELLIS, E. C. (2011): Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1010-1035, doi:10.1098/rsta.2010.0331.
- ELLIS, E. C., E. C. ANTILL & H. KREFT (2012): All Is Not Loss: Plant Biodiversity in the Anthropocene. *PLoS ONE* 7(1): e30535. doi:10.1371/journal.pone.00.
- ELLIS, E. C., J. O. KAPLAN, D. Q. FULLER, S. VAVRUS et al. (2013), Used planet: A global history, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110, 7978-7985.
- FULLER, D. O. (2010): An Emerging Paradigm Shift in the Origin of Agriculture, *General Anthropology* 17, 7-12.
- FULLER, D. Q., J. VAN ETEN, K. MANNING, C. CASTILLO et al. (2011): The contribution of rice agriculture and livestock pastoralism to prehistoric methane levels: An archaeological assessment, *The Holocene*, 21(5), 743-759.
- FULLER, D. Q., T. DENHAM, M. ARROYO-KALIN, L. LUCAS et al. (2014): Convergent evolution and parallelism in plant domestication revealed by an expanding archaeological record. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 111: 6147- 6152.
- HABERLE, S. G. (2007): Prehistoric human impact on rainforest biodiversity in highland New Guinea, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 362, 219-228.
- IPCC (2013): *Climate Change 2013, Working Group I: The Science of Climate Change*, 6.2.2.
- IPCC (2014): *Climate Change 2014, Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Box 4-2.
- KAPLAN, J., K. KRUMHARDT & N. ZIMMERMANN (2009): The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe, *Quaternary Science Reviews* 28, 3016-3034.
- KAPLAN, J., K. KRUMHARDT, E. ELLIS, W. RUDDIMAN, C. LEMMEN & K. GOLDEWIJK (2010): Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change, *The Holocene*, 21(5), 775-791, doi:10.1177/0959683610386983.
- KLEINEN, T., V. BROVKIN & G. MUNHOVEN (2015): Carbon cycle dynamics during recent Interglacials, *Clim. Past Discuss.*, 11, 1945-1983.
- RUDDIMAN, W. F. (2003): The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago, *Climatic Change* 61, 261-293.
- RUDDIMAN, W. F., D. Q. FULLER, J. E. KUTZBACH, P. C. TZEDAKIS et al. (2016): Late Holocene climate: Natural or anthropogenic?, *Reviews of Geophysics* 54, 93-118, doi:10.1002/2015RG000503.
- SADORI, L., S. JAHNS & O. PEYRON (2011): Mid-Holocene vegetation history of the central Mediterranean, *Holocene*, 21, 117-129, 2011.
- SMITH, M. C., J. S. SINGARAYER P. J. VALDES, J. O. KAPLAN et al. (2016): The biogeophysical climatic impacts of anthropogenic land use change during the Holocene, *Climate of the Past*, 12, 923-941, doi:10.5194/cp-12-923-2016.
- STOCKER, B. D., K. STRASSMANN & F. JOOS (2011): Sensitivity of Holocene atmospheric CO2 and the modern carbon budget to early human land use: analyses with a process-based model. *Biogeosciences* 8, 69-88, doi:10.5194/bg-8-69-2011.
- VETTORETTI, G., & W. R. PELTIER (2011): The impact of insolation, greenhouse gas forcing and ocean circulation changes on glacial inception, *The Holocene* 21, 803-817.
- WEISDORF, J. L. (2005): From Foraging to Farming: Explaining the Neolithic Revolution, *Journal of Economic Surveys* 19, 562-686.
- YASUDA, Y., H. KITAGAWA & T. NAKAGAWA (2000): The earliest record of major anthropogenic deforestation in the Ghab Valley, northwest Syria: a palynological study, *Quaternary International* 73/74, 127-136.
- YI, S., W.-M. WANG & H. TAKAHARA (2010): Holocene vegetation dynamics and human impact, I: Agricultural activities and rice cultivation in East Asia, *Quaternary International*, Volume 227, Issue 1, 1 November 2010, Pages 1-2.

Kontakt:

Dr. Dieter Kasang
Lina Teckentrup
Markus Adloff
Deutsches Klimarechenzentrum, Hamburg
kasang@dkrz.de

Kasang, D., L. Teckentrup & M. Adloff (2016): Frühe Waldvernichtung, Biodiversität und Klima. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. pp. 96-101. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.15.