

Die Post-Landwirtschaftliche Revolution

Oliver Stengel

Einleitung

Verschiedene Megatrends gestalten gegenwärtig und in Zukunft den Planeten neu: Der anthropogene Klimawandel und andere globale Umweltveränderungen transformieren die Ökosysteme in einer Weise, wie dies zuvor die Milankovic-Zyklen getan haben – nur erheblich schneller. Aber auch die menschliche Zivilisation verändert sich: Von den rund 100 Milliarden Menschen, die nach einer Schätzung des Population Reference Bureau in der gesamten Geschichte des anatomisch modernen Menschen auf der Erde gelebt haben (Kaneda/Haub 2018), leben gegenwärtig etwa 7,5 Milliarden Menschen. Schon in wenigen Jahrzehnten werden es voraussichtlich zehn oder elf Milliarden sein. Anders als in der Vergangenheit leben sie nicht mehr vorrangig auf dem Land, sondern in Städten, deren größte, Jing-Jin-Ji in China, bald 100 Millionen Einwohner*innen haben könnte.

Ein Grund für den Umzug der Menschen von Land in die Städte ist der, dass es auf dem Land immer weniger zu tun gibt: Der Klimawandel und die Erosion einst fruchtbarer Böden verwüsten viele Felder und dort, wo sich noch Bauern/Bäuerinnen oder Viehwirt*innen halten, ersetzen immer mehr (autonome) Maschinen die Arbeit der Menschen. Außerdem ziehen nicht nur Menschen vom Land in die Stadt, auch die Landwirtschaft zieht um: In vielen Städten sprießen vertikale Farmen, in denen Nutzpflanzen nahezu vollautomatisch angebaut werden, um Lebensmittel dort zu erzeugen, wo sie letztlich auch konsumiert werden. Aber nicht nur die Landwirtschaft wandert in die Städte, sondern auch die Viehwirtschaft – und das ist eine Entwicklung, welche die globale Umwelt abermals grundlegend verändern wird. Ihr zugrunde liegen wissenschaftliche Disziplinen, die das 21. Jahrhundert mitgestalten und deutlich vom 20. Jahrhundert unterscheiden werden: die Molekularbiologie und die Biotechnologie.

Vor dem globalen Öko-Kollaps

Einiges spricht dafür, dass sich die Menschheit in einer Art Flaschenhals befindet, in dem in der Vergangenheit bereits Kulturen wie die Maya (Kennett et al. 2012), die Anazazi (Billman et al. 2000; Kohler/Matthews 1988), das Volk der Nazca (Beresford-Jones et al. 2009, Coghlan 2009) und wohl auch die Bewohner*innen der Osterinsel (Hunt et al. 2006) stecken geblieben sind: Sie blühten, ihre Populationen nahmen zu, sie veränderten ihre lokale Umwelt vor allem durch Rodungen so sehr, dass eine Dürreperiode und anschließend ausbrechende gewalttätige Unruhen genügten, um sie teilweise oder ganz kollabieren zu lassen.

Was den Maya, Nazca, Anazazi und Osterinsulaner*innen widerfuhr, kann sich wiederholen und im 21. Jahrhundert ein globales Ausmaß annehmen. Treibende Faktoren hierfür sind die Land- und Viehwirtschaft. Zwar sind sie nicht die alleinige Ursache, aber die entscheidende. Durch sie werden Kippunkte des globalen Ökosystems erreicht und überschritten. Sie treiben den Klimawandel voran, sind der Hauptgrund für den Verlust fruchtbarer Böden, für den Verfall von Lebensräumen und für das weltweite Artensterben, sie verbrauchen riesige Flächen, das meiste Süßwasser, sie bringen den Phosphor- und Stickstoffkreislauf durcheinander und weiten dadurch die sauerstoffarmen Todeszonen in den Meeren aus (Stramma/Schmidtke 2019).

Sind die Kippunkte, die sog. planetaren Grenzen des globalen Ökosystems (Steffen 2015) überschritten, ist nicht vorhersehbar, was im Einzelnen passieren wird. Da sich manche von ihnen gegenseitig beeinflussen (der Klimawandel, die Versauerung der Ozeane, die Biodiversität, der *Land Use Change* sowie die Stoffkreisläufe von Phosphor und Stickstoff), ist zu erwarten, dass sich das globale Ökosystem innerhalb von zwei Jahrzehnten drastisch verwandeln wird – und zwar überwiegend negativ (Barnosky et al. 2012). Es ist zu erwarten, dass sich viele, vielleicht sogar die meisten Gesellschaften an die Geschwindigkeit und das Ausmaß der sich dann vollziehenden Transformation nicht werden anpassen können.

Damit kann – sofern größte ökologische und humanitäre Schäden vermieden werden sollen – die Land- und Viehwirtschaft wie sie in der Vergangenheit betrieben wurde, nicht fortgeführt werden. Seit Jahrtausenden gilt sie als selbstverständlich wie alternativlos. »Der Bauer ist der ewige Mensch, unabhängig von aller Kultur, die in den Städten nistet. Er geht ihr voraus, er überlebt sie«, schrieb der Geschichtsphilosoph Oswald Spengler

in den 1920ern (Spengler 1995: 669). Zu diesem Zeitpunkt arbeiteten die meisten Menschen im westlichen Kulturkreis seit rund 10.000 Jahren als Bauern/Bäuerinnen. Hundert Jahre später waren es nur noch zwei Prozent. Zwar schwand die Zahl der Bauern/Bäuerinnen, die Fläche der von ihnen bewirtschafteten Felder jedoch nicht. Dank neuer Maschinen konnten weniger Bauern/Bäuerinnen größere Flächen beackern und eine größere Anzahl von Nutztieren halten.

Nach dem IPCC sind mittlerweile 49 Prozent der eisfreien Landmassen auf der Erde Acker- oder Weideland (IPCC 2019: 4). Aber das wird sich in den kommenden Jahrzehnten ändern und am Ende des 21. Jahrhunderts könnten es nur noch zwei Prozent sein, so sich die Postlandwirtschaftliche Revolution weltweit durchsetzt. Während Landwirt*innen und Hirt*innen Jahrtausende lang weite Flächen entwaldeten, pflügten oder abgrasen ließen, könnte sich die Natur im 21. Jahrhundert jene Flächen, oder zumindest die meisten davon, wieder zurückholen und so dazu beitragen, dass ökologische planetare Grenzen nicht (weiter) überschritten werden.

Darüber hinaus sollte die sichere Versorgung mit Lebensmitteln durch diese Transformation sogar zunehmen. Denn momentan steigt die Nachfrage nach Lebensmitteln. In Folge des Klimawandels und anderer Umweltveränderungen dürften sich die Ernteerträge künftig jedoch verringern – wenngleich ideenreiche Gentechnologen viel unternehmen, um Nutzpflanzen an die neuen Umweltbedingungen anzupassen und ertragreicher zu machen. Gegen Dürren, Stürme, Überschwemmungen und Bodenerosion werden sie es jedoch schwer haben und man sollte sich nicht darauf verlassen, dass sie den Wettlauf gewinnen können.

Planet ohne Weiden: Teil I

In dieser ökologisch außerordentlich dynamischen Phase läuten nicht weniger ideenreiche Biotechnologen eine neue Ära in der Menschheits- und Umweltgeschichte ein: Die Post-Landwirtschaftliche Revolution (Stengel 2020).

In ihrer Geschichte hat die Menschheit bislang drei große Etappen zurückgelegt: Mit der *Landwirtschaftlichen Revolution* vollzog sich der Übergang von der Steinzeit ins Agrarzeitalter und mit der *Industriellen Revolution* der Übergang vom Agrar- ins Industriezeitalter. Gegenwärtig befindet sich die Menschheit mit der *Digitalen Revolution* im Übergang zum Digitalzeitalter (Stengel et al. 2017). In diesem muss sie sich mit den Altlasten ihrer Ver-

gangenheit beschäftigen: Mit der *Energiewende* sollen die atmosphärischen Veränderungen eingedämmt oder gar rückgängig gemacht werden, die durch die Verbrennung der industriellen Energieträger Öl, Gas und Kohle erfolgten. Mit der *Mobilitätswende* sollen die Schäden beseitigt werden, die durch das Industriezeitalter wohl am meisten prägende Verkehrsmittel verursacht wurden: dem Auto. Die *Konsumwende* zielt auf die Reduktion des Ressourcenverbrauchs, der durch die industrielle Massenproduktion und den Massenkonsum angefacht wurde.

Und mit der *Ernährungswende* sollen schließlich jene Veränderungen eingedämmt oder gar rückgängig gemacht werden, die ihren Ursprung im Agrarzeitalter haben. Ein zentrales Element der Ernährungswende sind tierische Lebensmittel, vor allem Fleisch- und Milchprodukte. Sie schädigen die globale Umwelt, weil die Tiere Fläche zum Leben und Fläche zum Anbau ihres Futters benötigen. Weideflächen sind bereits die dominante Landschaftsform weltweit geworden (Ramankutty et al. 2010), dennoch reichen sie nicht aus, um die im Dienst der Menschen stehenden rund 25 Milliarden Rinder, Yaks, Schweine, Ziegen, Schafe, Gänse und vor allem Hühner satt zu bekommen. Zusätzlich muss Viehfutter auf einem Drittel der globalen Ackerfläche angebaut werden. Dann verbrauchen diese Tiere bemerkenswerte Mengen an Trinkwasser und ihre Gülle belastet das Grundwasser mit Nitrat. Außerdem stoßen sie ebenfalls bemerkenswerte Mengen an dem Treibhausgas Methan aus (Robinson et al. 2014).

Selbstverständlich könnte sich die Menschheit jener ökologischen und obendrein tierethischen Probleme entledigen, die durch Viehbestand und Viehhaltung zustande kommen, indem sie ihre Ernährungsweise verändert und sich überwiegend vegetarisch oder besser noch vegan ernährt. Poore und Nemecek haben die ökologischen Belastungen der carnivoren, vegetarischen und veganen Ernährungsstile miteinander verglichen und dabei festgestellt, dass von einer veganen Ernährungsweise die geringsten Umweltbelastungen ausgehen (Poore/Nemecek 2018). Aber Menschen lassen sich mehrheitlich nur schwer durch rationale Argumente überzeugen, »eingefleischte« Gewohnheiten abzuschütteln und noch weniger, wenn diese Gewohnheiten Spaß machen oder gut schmecken. Diese menschliche Neigung bietet durchaus Anlass zum Fremdschämen, weshalb jede bewusstseinsbildende Maßnahme angemessen ist. Aber selbst in einem Land wie Deutschland, in dem das Problembewusstsein vergleichsweise groß ist, dürfte es mindestens eine, wahrscheinlich eher zwei Generationen – also zwanzig bis vierzig Jahre – dauern, bis sich die kollektive Ernährungspraxis grundlegend geändert

hat. Auf globaler Ebene wird sich dieser Prozess nicht schneller vollziehen. Global betrachtet nimmt der Pro-Kopf-Konsum tierischer Lebensmittel gegenwärtig sogar zu, die Zahl menschlicher Köpfe obendrein und ernährt sich die Menschheit zwanzig bis vierzig Jahre weiter wie bisher, wird das globale Ökosystem sehr wahrscheinlich kollabiert sein. Eine verhaltenswirksame hohe Steuer auf tierische Lebensmittel würde die Ernährungswende sicher beschleunigen, aber die meisten politischen Entscheidungsträger demokratischer Regierungen fürchten gegenwärtig noch einen kollektiven Shitstorm und ihre Abwahl. Neben der menschlichen Würde gelten den meisten Bürgern und Bürgerinnen westlicher Gesellschaften nun mal auch Steaks, Bratwürste und Milchschaum als unantastbar. Eine staatliche Kanalisierung der Ernährungspraxis würde zudem Widerstand in den Parteien entfachen: Liberale insistierten auf die Mündigkeit der Konsument*innen, Linke monierten Ungerechtigkeit und Ungleichheit, denn während Arme durch die Steuer nämlich zum Verzicht gezwungen würden, könnten Reiche ungehemmt weiter schlemmen. Konservative betonten, Menschen hätten seit biblischen Zeiten Fleisch und Milch genossen, weshalb dies natürlich und normal sei und so bleiben solle. Und ob eine außerparlamentarische Opposition wie Fridays for Future und die Extinction Rebellion eine den globalen Zeitgeist rechtzeitig wandelnde Bedeutung erlangen kann, bleibt abzuwarten.

In dieser schwierigen Situation bietet die post-landwirtschaftliche Erzeugung ehemals landwirtschaftlicher Erzeugnisse einen Ausweg. Vielleicht sogar den einzigen, der der Menschheit noch bleibt. Die Rede ist von einer biotechnologischen Bewegung, die tierische Produkte ohne Tiere, sondern mit Zellen herstellt. In der *scientific community* hat sich für dieses Verfahren die Bezeichnung *Cellular Agriculture* etabliert. Mit der klassischen Agrarwirtschaft allerdings hat die zelluläre Herstellung nichts gemein. Der einzige gemeinsame Nenner besteht darin, dass Tiere ihr eigenes Fleisch, ihre Milch und ihre Eier zellulär produzieren. Davon abgesehen macht *Cellular Agriculture* alles anders: Das Verfahren benötigt so gut wie keine Flächen – keine Weideflächen, keine Ackerflächen, keine Flächen für Ställe oder Schlachthöfe – und kann darum in Städten erfolgen. Das Verfahren benötigt kaum Süßwasser (sofern das eingesetzte Wasser wieder recycelt wird), es erfolgt nicht unter freiem Himmel, sondern in Laboren bzw. Anlagen mit großen »Bioreaktoren« genannten Tanks, in denen Zellmassen gerührt werden.

Bei ihnen handelt es sich zunächst um Muskelstammzellen, die zuvor durch eine minimalinvasive Biopsie einem Tier entnommen und vermehrt

wurden. In den Tanks ist es für die Zellen so, als wären sie im Körper eines Tieres. Es ist genauso warm und es gibt die richtigen Nährstoffe. Dementsprechend verhalten sie sich wie im Körper: Sie differenzieren sich in Muskelzellen, teilen und mehrten sich. Anschließend verbinden sie sich zu Muskelfasern. Damit sich das Ganze im Mund »fleischig« anfühlt, werden die Muskelfasern (zumindest momentan) wie richtige Muskeln durch mechanische und elektrische Impulse trainiert. Auf diese Weise ziehen sie sich zusammen und entspannen sich, werden also gewissermaßen stärker. Klassisches Fleisch besteht jedoch nicht nur aus Muskelmasse, sondern auch aus Fett. Das ist, in erhöhten Mengen verspeist, nicht gesund, schmeckt den meisten aber. Um also den Geschmack tierischen Fleisches zu treffen, muss es hinzugegeben werden. Es darf kein tierisches Fett sein, da das Endprodukt vegan sein soll. Also nimmt man pflanzliche Fettsäuren oder lässt die Fettsäuren von Hefezellen herstellen, die so verändert wurden, dass sie tierische Fettsäurefabriken werden. Das solchermaßen biotechnologisch produzierte Fett unterscheidet sich letztlich nicht vom biologischen Original.

Hier wie bei den Muskelzellen gilt: Das Verfahren ist unnatürlich, das Endprodukt dagegen ist es nicht. Es besteht aus den gleichen Zellen wie das tierische Produkt. Allein der Ort, wo sich die Zellen vermehren, nämlich nicht in einem Körper (in vivo), sondern außerhalb von ihm (in vitro), ist neu. In den Niederlanden wurde bereits in den 1990ern erforscht, wie Muskelfleisch im Labor hergestellt werden könnte, um die Lebensmittelsicherheit zu erhöhen und Umweltschäden verringern zu können. 2013 wurde der erste in vitro-Burger unter der Leitung von Mark Post (Post 2012) von der Universität Maastricht öffentlich in London verkostet. Er enthielt eine Burger-Frikadelle aus zellulärem Rindfleisch. Seitdem ist eine Menge passiert und diverse Start-ups haben mit weiteren Erfolgen auf sich aufmerksam gemacht: 2016 war *Memphis Meats* das erste Unternehmen, das zelluläre Fleischbällchen herstellte. 2017 präsentierte Memphis Meats außerdem erstmals zelluläres Geflügelfleisch (Huhn und Ente). Im gleichen Jahr machte *Finless Foods* Thunfischfleisch aus Zellen, was schon deswegen interessant ist, weil Fischfleisch aus dem Labor, anders als natürlicher Fisch, nicht mit Mikroplastik kontaminiert ist (Smith et al. 2018). 2018 präsentierte *New Age Meats* die weltweit erste in vitro-Schweinewurst. Ebenfalls 2018 produzierte das israelische Start-up-Unternehmen *Aleph Farms* unter der Leitung von Didier Toubia das erste im Labor kultivierte Steak aus Rindfleisch. Das war ein besonderer Moment, denn ein tierfreies Steak zu kreieren, war bis dato das schwierigste Projekt. Nicht nur, dass ein Steak wie ein Steak aussehen muss – und dazu genügt

es nicht Zellen so zusammenzupressen, wie man es bei Fleisch- und Fischbällchen, Frikadellen oder Würsten machen kann. Die Zellen müssen in die Höhe, auf ess- und genießbaren Strukturen wachsen. Zudem bestehen Steaks zu unterschiedlichen Anteilen aus Muskel-, Fett- und Bindegewebe und dann ziehen sich durch ein Steak auch noch Blutadern. Man muss folglich vier Zelltypen in einer 3D-Struktur kultivieren und dazu bringen, dass sie zusammenwachsen. *Aleph Farms* hat dieses Kunststück vollbracht. 2019 folgten die nächsten Premieren: *Shiok Meats* aus Singapur führte zellulär gewonnenes Fleisch von Schrimps vor. Fleisch von Hummern und Krebsen planen die beiden Gründerinnen Sanhya Siram und Ka Yi Ling von *Shiok Meats* ebenfalls, ohne die Meerestiere im Tank zu kultivieren. Im gleichen Jahr verkostete *Wild Type* das weltweit erste zellulär gewonnene Lachsfleisch in Portland.

Diese Start-ups demonstrieren, dass der Geist aus der Flasche entwichen ist. Er wird nicht mehr in sie zurückkehren, zumal die klassische Fleischproduktion ein immenses Risiko für die Entwicklung der Menschheit ist und sich überdies jedes Jahr neue Teams zusammenfinden, um tierische Produkte im Labor herzustellen. Die Start-ups demonstrieren auch, dass die zellbasierte Produktion von Fleisch bereits im kleinen Maßstab funktioniert. Allerdings ist der Weg von kleinen Produktionsmengen im Labor in die Großproduktion eines jeden zellulär hergestellten Produktes mit Hindernissen bestückt und nimmt etwa zehn Jahre in Anspruch.

Wie ist die Ökobilanz des zellulären Fleisches im Vergleich zum tierischen? Während der weltweite Viehbestand das globale Ökosystem und die menschliche Zivilisation gefährdet, hat das *in vitro*-Verfahren eine Schwachstelle – nämlich den Energieverbrauch, der notwendig ist, um die Tanks auf 37 Grad Celsius zu erwärmen und warm zu halten. Wird die benötigte Energie mittels fossiler Energieträger gewonnen, ist die Klimabilanz negativ. Stammt die Energie jedoch von Wind und Sonne, oder später einmal aus Fusionskraftwerken, ist die Bilanz entsprechend besser (Lynch/Pierrehumbert 2019; Mattick et al. 2015). Die beste Umwelt- und Ethikbilanz nutzt jedoch nichts, wenn das zelluläre Produkt vom Konsumenten verschmäht wird. Wie steht es also um die Akzeptanz von zellulärem Fleisch?

Gut. Und auch dies spricht dafür, dass hier ein neuer Trend entsteht. In Indien, China und den USA durchgeführte repräsentative Umfragen, zeigen, dass die Mehrheit der Befragten in jedem der drei Länder, in denen zusammen fast drei Milliarden Menschen leben, zellulär hergestelltes Fleisch bevorzugen würden, sofern es nicht teurer als das tierische ist. Im Allgemeinen war die Akzeptanz bei höher gebildeten Stadtbewohner*innen am höchsten.

In den USA waren nur 26 Prozent der Befragten der Ansicht, sie würden das neue Fleisch definitiv nicht in Erwägung ziehen, in Indien waren es elf und in China sogar nur sieben Prozent (Bryant et al. 2019). Auch in Deutschland deuten erste Umfragen darauf hin, dass eine Akzeptanz für zelluläres Fleisch vorhanden ist. So war in einer Umfrage die Mehrheit der Befragten der Meinung, dass für sie in vitro produziertes Fleisch eine akzeptable Alternative darstelle (Böhm et al. 2018).

Berücksichtigt man, dass offenbar nur ein Viertel der Mitglieder einer Grundgesamtheit erforderlich sind, damit sich eine neue Norm in der Gruppe durchsetzen kann, wird die zelluläre Revolution realistisch: Centolaet et al. konnten in verschiedenen Experimenten zeigen, dass ein Schwellenwert von 25 Prozent erreicht sein muss, damit sich in einer Gruppe oder Gesellschaft eine Einstellung oder Verhaltensweise ändert. Dieser Schwellenwert scheint damit zu sein, was man gerne als »kritische Masse« bezeichnet. Sobald dieser Schwellenwert erreicht wurde, änderte sich in den Experimenten die Gruppendynamik und die Mehrheit der Gruppe übernahm die neue Norm. Dies war in Experimenten sogar dann der Fall, wenn Belohnungen für die Beibehaltung der etablierten Verhaltensweise ausgesetzt und schließlich erhöht wurden (Centolaet et al. 2018).

Folglich kann angenommen werden, dass die gesellschaftliche Verbraucherakzeptanz für in vitro-Produkte rasch zunimmt, sobald der genannte Schwellenwert in der jeweiligen Gesellschaft erreicht ist – und dies ist er in den großen Volkswirtschaften offenbar bereits. Allerdings darf das kultivierte Fleisch nicht teurer sein, und schlechter schmecken als das tierische darf es auch nicht. Können die Hersteller dies leisten, dürfte die Revolution schnell gehen, da viele Verbraucher Fleisch nun ohne schlechtes Gewissen konsumieren können. Umgekehrt müssen sich jene, die am Verzehr tierischen Fleisches festhalten, zunehmend unangenehme Fragen gefallen lassen.

Wenn die Akzeptanz für zellulär hergestelltes Fleisch schon in der Gegenwart hinreichend groß ist, kann dies für einen Megatrend sprechen, der das 21. Jahrhundert prägen wird. Dies umso mehr, da zelluläres Fleisch zugleich als eine Art Akzeptanzbeschaffer für andere in vitro-Produkte fungiert – und von ihnen gibt es weitere. Zum Beispiel Insektenfleisch, Leder oder Milchprodukte.

Planet ohne Weiden: Teil II

Im Sommer 2019 verkostete das Start-up *Perfect Day* das erste aus zellulärer Milch gewonnene Produkt: Eiscreme. Milch wird das erste einer neuen Generation post-landwirtschaftlicher Lebensmittel sein, das auf den Markt kommt (siehe perfectdayfoods.com).

Möchte man nachvollziehen, wie Kuhmilch ohne Kühe hergestellt werden kann, muss man Kuhmilch unter die Lupe nehmen. Obwohl sie das Wunder vollbringt, dass Babys wachsen und sich entwickeln, ist Milch nicht sehr kompliziert. Kuhmilch besteht zu 88 Prozent aus Wasser, zu drei Prozent aus sechs verschiedenen Proteinen (wobei Casein den mit Abstand größten Anteil ausmacht), zu vier Prozent aus acht Fettsäuren und zu fünf Prozent aus Kohlenhydraten. Hat man alle Zutaten beisammen, mixt man sie – erhält man Milch. Milch, die identisch mit dem ist, was aus dem Euter einer Kuh gezapft wird (abzüglich der Hormonzusätze, Steroid- und Antibiotikarückstände, die in Kuhmilch aus der Massentierhaltung enthalten sind). Hat man die Milch aus ihren einzelnen Bestandteilen zusammengesetzt, kann man sie trinken oder in alle möglichen Milchprodukte verarbeiten.

Die Kunst besteht nun darin, die Proteine und Fettsäuren der Milch *in vitro* herzustellen. Hierzu kann man Mikroorganismen wie Hefezellen so umprogrammieren, dass sie das jeweils gewünschte Produkt herstellen. Dazu benötigen die Hefezellen die genetischen Informationen, die sie zur Herstellung der Proteine und Fette benötigen. Diese Informationen kann man aus der DNA von Kuhzellen ablesen und in die DNA der Hefen integrieren. Die solchermaßen genetisch veränderten Mikroorganismen kommen in einen Tank, wo sie ideale Bedingungen (Wärme und Zucker) vorfinden, sich teilen und z.B. Casein oder andere Milcheiweiße herstellen. Das bedeutet: Die Mikroorganismen, die sozusagen zu Proteinfabriken umgebaut wurden, sind genetisch verändert worden. Aber das Endprodukt, die Milchproteine und damit auch die Milch (und der Käse), ist frei von genetischen Veränderungen. Auf diese selbe Weise lassen sich auch die einzelnen Fettsäuren der Milch produzieren. Letztlich lässt sich tierfreie Milch einfacher als tierfreies Fleisch herstellen.

Ethisch spricht jedes Argument für den Umstieg auf *in-vitro*-Milch, weshalb sie in den letzten Jahren vermehrt mit dem Begriff »Clean Milk« bezeichnet wird (Milburn 2018). Aber auch bei ihr stellt sich die Frage nach der Ökobilanz. Da die großtechnische Produktion tierfreier Milch noch aussteht, lassen sich hierzu bislang nur vorläufige Aussagen treffen. Da Kühe aber gro-

ße Mengen Trinkwasser konsumieren, Treibhausgase emittieren und Landflächen für ihr Futter konsumieren, sollte das *in vitro*-Verfahren mit deutlich weniger Umweltbelastungen einhergehen. Ein erster Vergleich zwischen Kuhmilch und *in vitro*-Milch ergab, dass sowohl der *Carbon Footprint*, der *Water Footprint* sowie der *Land Footprint* erheblich günstiger für das synthetische Verfahren ausfallen (Steer 2015).

Um die heimische Viehindustrie zu schützen, könnten Regierungen die Zulassung der *in vitro*-Produkte erschweren. Da aber vergleichsweise wenige Arbeitnehmer*innen in dieser Branche angestellt sind und keine volkswirtschaftlichen Einbußen durch die Umstellung auf das neue Verfahren drohen, dieses aber globalökologische Vorteile mit sich bringt, sollte keine vernünftige Regierung solche Schritte erwägen (konservative Regierungen sind für ökologisch unvernünftige Entscheidungen allerdings anfällig). Gleichwohl braut sich Widerstand aus der Viehindustrie zusammen. Die Argumentationsstrategie läuft auf die Behauptung hinaus, Fleisch von Tieren sei natürlich und darum gesund, indes »Fake Meat« ungesund sein muss.¹ Nun sind weder die Massentierhaltung noch das Vieh natürlich. Letzteres ist ein Zucht- bzw. Kunstprodukt, das nach den Vorlieben des Profits gestaltet wurde und oft mit Hormonen und Antibiotika aufgepäppelt wird. Und gesund ist vor allem der Verzicht auf Fleisch – speziell auf tierisches (IARC 2015).

Da die Produktion umweltunabhängig erfolgt, ist die Erzeugung von und die Versorgung mit »Clean Milk« auch bei Umweltbedingungen gesichert, die für Kühe eine (zu) große Belastung sind. Selbst für ein von der Viehwirtschaft geprägtes Land wie Neuseeland lassen sich keine objektiv plausiblen Gründe für die Beibehaltung der hergebrachten Viehindustrie aufführen (Dixon 2019).

Planet ohne Felder

Vertical Farming steht für eine *Landwirtschaft ohne Land* und sollte sie einmal für alle Nutzpflanzen konsequent verwirklicht werden können, könnte

1 2019 schaltet das »Center for Consumer Freedom« eine populistische Kampagne gegen pflanzliches »Fleisch« in überregionalen US-Zeitungen und auf cleanfoodfacts.com. Das Center bestand aus zwei Personen (!), deren »Präsident« zugleich Präsident der rechtskonservativen Werbeagentur Berman and Company war, die zwei weitere Mitarbeiter*innen beschäftigte.

sie die Erde langfristig von ihren Feldern befreien. Eine Fläche, die mindestens vom Kap Hoorn bis zum Rio Grande reicht, könnte wieder ein Lebensraum für viele Arten werden. Eine andere Revolution geht noch einen Schritt weiter, denn sie kommt nicht nur ohne Land, sondern zusätzlich *ohne Pflanzen* aus. Sie ist der zweite Teil der Post-Landwirtschaftlichen Revolution. Deren erster Teil kann die Weideflächen abschaffen, ihr zweiter die Ackerflächen. Denn nicht nur tierische Produkte können zellulär hergestellt werden, sondern auch pflanzliche.

In der Cultured Meat-Szene kursiert ein Zitat von Winston Churchill, das dieser 1931 in seinem Essay ›Fifty Years Hence‹ niederschrieb (Churchill 1931). In diesem nahm Churchill die große Leitidee des tierlosen tierischen Fleisches vorweg: »Wir werden der Absurdität entkommen, ein ganzes Huhn zu züchten, um die Brust oder den Flügel zu essen, indem wir diese Teile separat in einem geeigneten Medium züchten.« Churchill's Prognose beginnt sich rund hundert Jahre später zu bewahrheiten. Warum jedoch nicht auch auf Pflanzen anwenden, was er in Bezug auf das Huhn vorhergesagt hat: Warum nicht der Absurdität entkommen, eine ganze Öpalme oder Kartoffelpflanze zu züchten, nur um deren Früchte ernten zu können? Warum sollte man die Früchte nicht separat in einem geeigneten Medium hervorbringen können?

Und warum könnte es überhaupt Sinn machen, auch pflanzliche Produkte zellulär herzustellen? Zum einen sind die von der Landwirtschaft, ihrem Flächen-, Wasser- und Düngerverbrauch verursachten Schäden hochproblematisch. Zudem gelangen durch sie große Mengen an Pflanzen-, Pilz- und Insektengiften in die Umwelt. Diese Vorgänge befördern den Klimawandel, die Ausbreitung sauerstoffarmer Zonen in den Meeren sowie den Rückgang der Biodiversität.

Der landwirtschaftliche Bio-Anbau ist keine Rettung, da er größere Flächen beansprucht. Obendrein gefährdet der Klimawandel die sichere Versorgung mit Ackerfrüchten. Das alles spricht gegen den klassischen Ackerbau, aber auch für vertikale Farmen, doch sind ihr Bau und Betrieb (noch) teuer und das spricht eben gegen sie.

Der Ausgangspunkt ist erneut die *Stammzelle*. Jede Pflanze hat Stammzellen, die sich (a) teilen und mehr Zellen ihrer Art erzeugen und sich (b) in jeden Gewebetyp der jeweiligen Pflanze verwandeln können – z.B. in die Zellen der Kartoffelknolle. Diese besteht aus Zellen nur eines Zelltyps, die Stärke speichern. Stammzellen der Kartoffel werden also vermehrt und in die Zellen der Kartoffelknolle umgewandelt. Damit die Stammzellen wissen, in welchen Zelltypus sie sich vermehren sollen, benötigen sie eine Anweisung. In

der Pflanze erhalten sie diese durch bestimmte Signalstoffe. Dabei handelt es sich um bestimmte Hormone und Proteine. In den letzten Jahren wurden sie entschlüsselt (Kolachevskaya et al. 2018: Signalthormone; Hannapel et al. 2017; Dutt 2017: Signalproteine) und gibt man sie den Stammzellen ins Nährmedium, beginnen sie sich wie gewünscht zu differenzieren. Die Stammzellen der Reis-, Soja- oder Maispflanze hören auf andere Signale, aber auch sie hören auf Signale, die aus Hormonen und Proteinen bestehen. Auch bei ihnen lässt sich das zelluläre Verfahren anwenden.

Die Schale kann dabei allerdings nicht hergestellt werden, da sie aus anderem Material besteht. Da die Schale der Kartoffel aber keine Nährstoffe, sondern das Gift Solanin enthält, um Fraßfeinde abzuwehren, ist das sogar ein Vorteil. Man kann die so gewonnen Knollenzellen essen, man kann ihnen aber auch die gespeicherte Stärke entnehmen, um sie als Industriestärke z.B. in der Produktion von Biokunststoffen einzusetzen.

Selbst Fruchtfleisch kann zellulär gewonnen werden, da es seinerseits nur aus Zellen besteht. Ein Team der Universität Helsinki um Heiko Rischer zerkleinerte diverse Beerenpflanzen. Daraufhin bildete sich an den Schnittstellen der Pflanzen Kallusgewebe, dass sich sehr gut vermehren lässt. Die Kallihäufen untersuchte das Team anschließend nach Zellen, die eine fruchtfleischartige Morphologie (z.B. Farbe) aufwiesen. Diese wurden extrahiert und in einer Standardnährlösung vermehrt. Das Endprodukt war ein Beerenfruchtmus aus Fruchtfleischzellen. Das Zellmaterial aller Beerenarten ähnelte farblich den frischen Originalbeeren. Der Clou aber waren die Nährwerte, denn sie waren im Vergleich mit den Nährwerten pflanzlicher Beeren entweder gleich oder deutlich besser (Nordlund et al. 2018).

Neben pflanzlichen Lebensmitteln lassen sich weitere pflanzliche Produkte ohne nennenswerten Flächenverbrauch herstellen – z.B. Palmöl. Ungefähr 22 Prozent der eisfreien Landflächen der Erde sind für die Forstwirtschaft reserviert (IPCC 2019: 4). In der Regel handelt es sich dabei um Monokulturen, die speziell in tropischen Regionen, in denen die Biodiversität besonders hoch ist, ein großes ökologisches Problem sind. Auf ausgedehnten Flächen in Indonesien, Malaysia und Kolumbien wurde tropischer Wald abgebrannt und in Plantagen für die Ölpalme umgewandelt. Von ihren Früchten wird Palmöl extrahiert und dieses Öl ist das weltweit am meisten genutzte pflanzliche Öl. Denn die Ölpalme kann auf Böden gedeihen, auf denen andere Nutzpflanzen nicht wachsen können. Sie liefert den höchsten Ertrag pro Hektar unter allen Ölpflanzen – fast fünfmal so viel Öl pro Hektar wie Raps, fast sechsmal so viel wie Sonnenblumen und mehr als achtmal so viel wie Sojabohnen.

Die Substituierung von Palmöl würde folglich erheblich mehr Fläche bzw. Lebensraum für viele Arten benötigen (Tullis 2019). Es wäre darum ökologisch sehr bedeutsam, Palmöl ohne Ölpalmen zu gewinnen.

Seit Jahren wird daran geforscht, die Lipide der Ölpalme von Hefe- oder Algenzellen herstellen zu lassen. Manche dieser Versuche waren dabei in der Sache erfolgreich, aber ökonomisch noch ineffizient. Die eingesetzten Mikroorganismen konnten Palmöl herstellen, doch mit Kosten von über fünf Dollar pro kg (im Vergleich dazu kostet Palmöl ca. 50 Cent pro kg). Denn die Ölpalme ist nicht nur sehr ergiebig, ihr Anbau und die Ernte ihrer Früchte sind außerdem sehr billig. Die Integration der ökologischen Kosten in den Marktpreis des Palmöls würde dieses zwar sehr teuer machen, doch ist eine solche Maßnahme nicht in Sicht.

Masri et al. (2019) konnten die Produktion pflanzlicher Öle durch Hefezellen nun so optimieren, dass sie auf Kosten von immerhin 1,60 Dollar pro kg kommen. Dazu schleusten sie den Hefezellen die gewünschten Lipid-Gene ein und setzten sie anschließend auf Diät, indem sie ihnen während des Wachstums Stickstoff und Phosphat entzogen. Darauf reagierte die Hefe, indem sie Fette als Notvorrat einlagerte. Normalerweise besteht eine Hefezelle aus rund 20 Prozent Fett, während der Diät aber aus bis zu 80 Prozent. Obendrein konnten Masri et al. mit den Hefen verschiedene pflanzliche Öle und Fischöl erzeugen, indem sie die Einzeller mit Essigsäure und verschiedenen Zuckern fütterten. Je nach Zuckerart produziert die Hefe anschließend ein anderes Fettsäureprofil – ganzjährig und von gleichbleibend hoher Qualität. Darüber hinaus waren die CO₂-Emissionen bei der Hefeölherstellung niedriger als bei der konventionellen Palmölherstellung, ferner musste kein tropischer Lebensraum zerstört werden.

Auch hier steht die großtechnische Produktion noch aus, doch ist zu erwarten, dass sie in den 2020ern ökonomisch konkurrenzfähig realisiert wird. Bislang schätzen die Biotechnolog*innen, dass sie in einem Tank mit 10.000 Liter Volumen täglich 108 kg und jährlich fast 40.000 kg pflanzliches Öl herstellen können (Masri et al. 2019).

Damit besteht langfristig die Option, Ökosystemen weite Acker- und Plantagenflächen und damit Lebensraum für viele Tier- und Pflanzenarten zurückzugeben. Ausgerechnet im Anthropozän könnte damit die von Menschen genutzte Fläche auf der Erde schrumpfen, obwohl die Zahl der Menschen steigt.

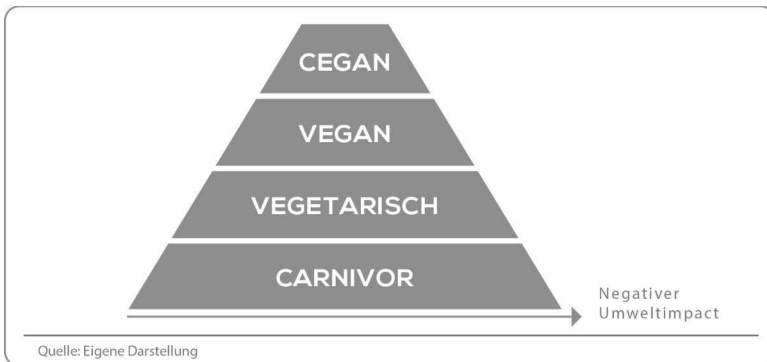
Von vegan zu cegan

Die vegane Ernährungsweise gilt derzeit zu Recht als die umweltverträglichste. Aber auch sie greift noch in Ökosysteme ein, benötigt sie doch große Flächen für den Anbau der Pflanzen. Eine maximale ökologische Entlastung geht nur mit minimalinvasiven ökologischen Eingriffen einher und in dieser Hinsicht kann der Veganismus übertroffen werden. Die Postlandwirtschaftliche Revolution gewährt die Möglichkeit, pflanzliche und tierische Produkte ohne Pflanzen und Tiere konsumieren zu können. Dadurch tut sich eine völlig neue Ernährungsweise auf, die den in der menschlichen Geschichte bisher bekannten künftig hinzuzufügen ist: In der menschlichen Geschichte dominierten bislang vor allem der carnivore, dann der vegetarische Ernährungsstil. In den letzten Jahren wurde in manchen Ländern zudem der Veganismus populär. Die auf zelluläre Verfahren basierende Produktion von Lebensmitteln ermöglicht nun einen Ernährungsstil, der *cegan* genannt werden kann. Während sich das »veg« in vegan von Vegetation bzw. Pflanzen ableitet, leitet sich das »ce« in cegan von Cell bzw. Zelle ab.

Schluss

Die Postlandwirtschaftliche Revolution vollzieht sich wie die Industrielle und Digitale Revolution nicht über Nacht. Absehbar ist jedoch, dass die Post-Landwirtschaftliche Revolution eine Disruption für die Viehindustrie und Agrarkonzerne sein wird. Diese verdienen viel Geld mit dem Verkauf von Schlachtfleisch, Dünger, Insekten- und Unkrautvernichtungsmitteln und Saatgut. Diese Produkte werden mit der zellulären Revolution an ökonomischer Bedeutung verlieren. Die betroffenen Konzerne werden sich wehren. Sie gilt es jedoch nicht zu retten, sondern eine Welt, die im Sterben liegt. Nicht zuletzt können cegane Verfahren auch für die Raumfahrt von großem Interesse sein. Denn die Besiedelung des Sonnensystems sollte ein weiterer Megatrend im 21. Jahrhundert werden.

Abb. 1: Die Abbildung zeigt weltweite Ernährungsstile und ihren Einfluss auf das globale Ökosystem. Je größer die Fläche des jeweiligen Feldes ist, desto mehr wird die Umwelt durch den jeweiligen Ernährungsstil belastet. Die größten negativen Einwirkungen gehen vom carnivoren Ernährungsstil aus, den der Verzehr von tierischem Fleisch (inkl. Fisch und Meeresfrüchte), von tierischen Milchprodukten und Eiern kennzeichnet. Der vegetarische Stil verzichtet auf den Konsum von Tieren, die auf dem Land oder im Wasser leben. Veganer tun dies ebenfalls und nehmen zusätzlich keine tierischen Milchprodukte und Eier zu sich, weshalb Veganer nicht auf die Viehwirtschaft angewiesen sind. Ein ceganer Ernährungsstil würde Lebensmittel bevorzugen, die zellulär hergestellt sind. Die cegane Ernährungsweise kann äußerlich sogar der carnivoren gleichen, da auch Fleisch und Milch konsumiert werden können. Diese stammen jedoch nicht von Tieren. Auch die pflanzlichen Produkte der Ceganer*innen stammen nicht von Pflanzen, weshalb eine konsequente cegane Ernährung ohne die klassische Vieh- und Landwirtschaft auskommt.



Quelle: Eigene Darstellung.

Literatur

Barnosky, Anthony/Hadly, Elizabeth A., Bascompte, Jordi/Berlow, Eric L./Brown, James H./Fortelis, Mikael/Getz, Wayne M./Harte, John/Hastings, Alan/Marquet, Pablo A./Martinez, Neo D./Mooers, Arne/Roopnarine, Peter/Vermeij, Geerat/Williams, John W./Gillespie, Rosemary/Kitzes, Justin/Marshall, Charles/Matzke, Nicholas/Mindell, David P./Revilla, Eloy/Smith, Adam B. (2012): »Approaching a state shift in Earth's biosphere«, in: *nature* 486, S. 52-58. <https://doi.org/10.1038/nature11018>

- Beresford-Jones, David/Arce, Susana/Whaley, Oliver/Chepstow-Iusty, Alex (2009): »The Role of Prosopis in Ecological and Landscape Change in the Samaca Basin, Lower Ica Valley, South Coast Peru from the Early Horizon to the Late Intermediate Period«, in: *Latin American Antiquity* 20, S. 303-332. <https://doi.org/10.1017/S1045663500002650>
- Billman, Brian/Lambert, Patricia Marie/Leonard, Banks (2000): »Cannibalism, Warfare, and Drought in the Mesa Verde Region during the Twelfth Century A.D.«, in: *American Antiquity* 1, S. 145-178. <https://doi.org/10.2307/2694812>
- Böhm, Inge/Ferrari, Arianna/Woll, Silvia (2018): »Visions of in vitro meat among experts and stakeholders in Germany«, in: *NanoEthics* 12, S. 211-224. <https://doi.org/10.1007/s11569-018-0330-0>
- Bryant, Christopher/Szejda, Keri/Parekh, Nishant/Desphande, Varun/Tse, Brian (2019): »A Survey of Consumer Perceptions of Plant-Based and Clean Meat in the USA, India, and China.«, in: *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00011>
- Centolaet Damon/Becker, Joshua/Brackbill, Devon/Baronchelli, Andrea (2018): »Experimental evidence for tipping points in social convention«, in: *Science* 360, 6393, S. 1116-1119. <https://doi.org/10.1126/science.aas8827>
- Churchill, Winston (1931): »Fifty years hence«, in: *The Strand Magazine* 488.
- Coghlan, Andy (2009): »Clearing oasis trees felled ancient Peru civilization«, in: *New Scientist* 204, 2733, S. 16. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(09\)62909-2](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(09)62909-2)
- Dixon, Hugh (2019): Synthetic food: should NZ worry? Online verfügbar unter: <https://berl.co.nz/research/synthetic-food-should-nz-worry>. Zuletzt aufgerufen am 20.01.2020.
- Dutt, Som/Manjul, Anshul/Raigond, Pinky/Singh, Brajesh/Siddappa, Sundaresha/Bhardwaj, Vinay/Kawar, Prashant/Patil, Virupaksh/Kardile, Hemant (2017): »Key players associated with tuberization in potato«, in: *Critical Reviews in Biotechnology* 7, S. 942-957. <https://doi.org/10.1080/07388551.2016.1274876>
- Hannapel, D.J. et al. (2017): »The Multiple Signals That Control Tuber Formation«, in: *Plant Physiology* 174, S. 845-856. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00272>
- Hunt, T. L. et al. (2006): »Ancient DNA of the Pacific rat (*Rattus exulans*) from Rapa Nui (Easter Island)«, in: *Journal of Archaeological Science* 33, S. 1536-1540. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.02.006>

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019): Climate change and land. Summary for policy makers. Online verfügbar unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf. Zuletzt aufgerufen am 20.01.2020.
- Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Online verfügbar unter: https://ipbes.net/sites/default/files/ipbes_7_10_add.1_en_1.pdf. Zuletzt aufgerufen am 20.01.2020.
- International Agency for Research on Cancer (IARC) (2015): Q&A on the carcinogenicity of the consumption of red meat and processed meat. Online verfügbar unter: https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/Monographs-QA_Vol114.pdf. Zuletzt aufgerufen am 06.02.2020.
- Kaneda, Toshiko/Haub, Carl (2018): How many people have ever lived on Earth? Online verfügbar unter: <https://www.prb.org/howmanypeoplehaveeverlivedonearth/>. Zuletzt aufgerufen am 20.01.2020.
- Kennett, Douglas J./Breitenbach, Sebastian F. M./Aquino, Valorie V./Asmerom, Yemane/Awe, Jaime/Baldini, James U. L./Bartlein, Patrick/Culleton, Brendan J./Ebert, Claire/Jazwa, Christopher/Macri, Martha J./Marwan, Norbert/Polyak, Victor/Prufer, Keith M./Ridley, Harriet E./Sodemann, Harald/Winterhalder, Bruce/Haug, Gerald H. (2012): »Development and Disintegration of Maya Political Systems in Response to Climate Change«, in: *Science* 338, 6108, S. 788-791. <https://doi.org/10.1126/science.1226299>
- Kohler, Timothy A./Matthews, Matthews H. (1988): »Long-Term Anasazi Land Use and Forest Reduction«, in: *American Antiquity* 3, S. 537-564. <https://doi.org/10.2307/281216>
- Kolachevskaya, Oksana O./Sergeeva, Lidiya I./Getman, Irina A./Lomin, Sergey N./Savelieva, Ekaterina M./Romanov, Georgy A. (2018): »Core features of the hormonal status in in vitro grown potato plants«, in: *Plant Signaling & Behavior* 13, 5. <https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1467697>
- Lynch, John/Pierrehumert, Raymond (2019): »Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle«, in: *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00005>
- Masri, Mahmoud A./Garbe, Daniel/Mehlmer, Norbert/Brück, Thomas B. (2019): »A sustainable, high-performance process for the economic production of waste-free microbial oils that can replace plant-based equiv-

- alents«, in: *Energy & Environmental Science* 9. <https://doi.org/10.1039/C9EE00210C>
- Mattick, Carolyn S./Ladnis, Amy E./Allenby, Braden R./Genovese, Nicholas J. (2015): »Anticipatory life cycle analysis of in vitro biomass cultivation for cultured meat production in the United States«, in: *Environmental Science & Technology* 49, S. 11941-11949. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01614>
- Milburn, Josh (2018): »Death-Free Dairy? The Ethics of Clean Milk«, in: *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 2, S. 261-279. <https://doi.org/10.1007/s10806-018-9723-x>
- Nordlund, Emilia/Lille, Martina/Silventoinen, Pia/Nygren, Heli/Seppänen-Laasko, Tuulikki/Mikkelsen, Atte/Aura, Anna-Maria/Heiniö, Raija-Liisa/Nohynek, Liisa/Puupponen-Pimiä, Riita/Rischer, Heiko (2018): »Plant cells as food – A concept taking shape«, in: *Food Research International* 107, S. 297-305. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.045>
- Poore, Joseph/Nemecek, Thomas (2018): »Reducing food's environmental impacts through producers and consumers«, in: *Science* 360, 6392, S. 987-992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Post, Mark J. (2012): »Cultured meat from stem cells«, in: *Meat Science* 3, S. 297-301. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>
- Ramankutty, Navin/Evan, Amato/Monfreda, Chad/Foley, Jonathan (2010): *Global Agricultural Lands: Pastures, 2000*. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H47H1GGR>.
- Robinson, Timothy P./Wint, G. R. William/Conchedda, Guilia/Boeckel, Thomas P. van/Ercoli, Valentina/Palamara, Elisa/Cinardi, Giuseppina/D'Aietti, Laura/Hay, Simon I./Gilbert, Marius (2014): »Mapping the Global Distribution of Livestock«, in: *PLoS ONE*, 5, e96084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096084>
- Smith, Madeleine/Lover, David C./Rochmann, Chelsea M./Neff, Roni A. (2018): »Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health«, in: *Current Environmental Health Reports* 3, S. 375-386. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>
- Spengler, Oswald (1995) [1923]: *Der Untergang des Abendlandes*. München: dtv.
- Steer, Mark (2015). *A comparison of land, water and energy use between conventional and yeast-derived dairy products: An initial analysis*. Report.

- Online verfügbar unter: www.animalfreemilk.com/files/PD-LCA.pdf. Zuletzt aufgerufen am 30.01.2020.
- Steffen, Will/Richardson, Katherine/Rockström, Johan/Cornell, Sarah/Fetzer, Ingo/Bennet, Elena/Biggs, Reinette/Carpenter, Stephen/Vries, Wim/Witt, Cynthia de/Folke, Carl/Gerten, Dieter/Heinke, Jens/Persson, Linn/Ramanathan, Veerabhadran/Reyers, Belinda/Sörlin, Sverker (2015): »Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing Planet«, in: *Science* 347, 6223. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stengel, Oliver (2020): *Ohne Vieh und Acker*. München: oekom.
- Stengel, Oliver/Looy, Alexander van/Wallaschkowski, Stephan (Hg.) (2017): *Digitalzeitalter – Digitalgesellschaft*. Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-16509-3>
- Stramma, Lothar/Schmidt, Sunke (2019): Global evidence of ocean deoxygenation, in: Dan Laffoley/John Baxter (Hg.), *Ocean deoxygenation: Everyone's problem*, Gland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2019.13.en>
- Tullis, Paul (2019): How the world got hooked on palm oil. Online verfügbar unter: <https://www.theguardian.com/news/2019/feb/19/palm-oil-ingredient-biscuits-shampoo-environmental>. Zuletzt aufgerufen am 23.01.2020.

