

[W]enn wir forschen nach dem Ursprunge der Triebkräfte, die wir in unseren Dienst nehmen, so werden wir gewiesen auf die meteorologischen Vorgänge in der Atmosphäre der Erde, auf das Leben der Pflanzen im Ganzen, auf die Sonne.

Hermann Helmholtz (1821–1894)

Liebe Leserin, lieber Leser,

Helmholtz und die freie Energie sind Thema der August-Ausgabe. Auch geht es (wieder einmal) um den Wind und seine Nutzung. Wie üblich zunächst einige astronomische August-Ereignisse:

Vor 30 Jahren, am 30. August, entdeckten der Mauna-Kea-Astronom David C. Jewitt (geb. 1958) und seine Doktorantin Jane X. Luu (geb. 1963) in den Fischen den ersten transneptunischen Himmelskörper nach dem Pluto-Charon-Duo. Das lichtschwache Objekt „1992 QB₁“ von 23. Größe und gut 100 km Durchmesser wurde von der IAU 2018 auf den Namen 15760 Albion getauft. (Albion ist eine mythologische Bezeichnung für die Britische Insel.) Mit Albion begann recht eigentlich die Erforschung des Edgeworth-Kuiper-Gürtels. Inzwischen sind 2400 Himmelskörper in jener entlegenen Region des Sonnensystems aufgespürt worden.

Vor 200 Jahren, am 25. August 1822, starb nahe dem englischen Windsor der Militärmusiker und Astronom Sir Friedrich Wilhelm Herschel (geb. 1738). Herschel hatte am 13. März 1781 den Uranus entdeckt gehabt. Es war die erste Neuentdeckung eines Planeten seit grauer Vorzeit! Das beförderte ihn zum Privatastronomen von König Georg III. Er fand 1787 die Uranusmonde Oberon und Titania und 1789 die Saturnmonde Enceladus und Mimas. 1800 fiel ihm auf, dass auch jenseits des sichtbaren Roten im Sonnenspektrum die Sonne strahlt. Er ist damit der Begründer der Infrarotastronomie.

In dem Monat als Sir William starb erblickte in Berlin Heinrich Louis d’Arrest das Licht der Welt. Der Nachfahre französischer Hugenotten machte sich als Kometenentdecker einen Namen – und er war dabei, als am 23. September 1846 Johann Gottfried Galle (1812–1910) den Neptun entdeckte. Das Jahr zuvor war d’Arrest Assistent von Johann Franz Encke (1791–1865) geworden. Sternwartendirektor Encke feierte just seinen 55. Geburtstag, als seinem Observator und seinem Assistenten am Fraunhofer-Refraktor der Sternwarte der

große Wurf gelang, die Auffindung des „Berliner Planeten“ aufgrund des von Urbain Leverrier (1811–1877) berechneten Ortes. Der Neptunmitentdecker starb 1875 in Kopenhagen. Dort hatte er Galaxienhaufen studiert, insbesondere den Coma-Haufen.

Noch weiter zurück liegt die Entdeckung der Südpolkappe des Mars durch Christiaan Huygens (1629–1695) am 13. August des Jahres 1672. Das ist 350 Jahre her. Die Polkappen des Mars könnten sich wegen des dort erhaltenen Wassers für Marsfahrer als bedeutsam erweisen. (Das in den Wintern ausgefrorene „Trockeneis“ (CO₂) sublimiert in den Sommern.) Wasser ist knapp auf dem trockenen Planeten. Wegen dessen geringer Schwere (0,38 g) und des fehlenden magnetischen Schutzschirmes dürfte spätestens nach dem Abschalten des Marsdynamos dem Mars sein flüssiges Wasser abhanden gekommen sein. Der Wasserstoff entwich in den Weltraum, der 16-mal schwerere (also viermal langsamere) Sauerstoff verpasste dem Mars seine charakteristische rostrote Färbung.

Wie würde wohl der „Reichskanzler der Physik“ und Schöpfer des *Terminus technicus* „freie Energie“ (1882), Herr von Helmholtz, reagieren, vernähme er, wie unbedacht Politik und Gesellschaft von „erneuerbaren“ Energien daherreden, wo doch Energie das einzige in der Welt ist, das *partout* nicht erneuerbar ist? Er würde uns gehörig die Leviten lesen, meint

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im August

Venus klettert kurz vor Beginn der nautischen Dämmerung (Sonne 12° unterm Horizont) über den Horizont. Sie nähert sich unaufhaltsam der Sonne. Mars hingegen wird immer günstiger. Er gewinnt an Helligkeit und geht deutlich vor Mitternacht auf. Jupiter und Saturn sind fast die ganze Nacht über sichtbar. Saturn steht am 14. August der Sonne gegenüber. Beim Jupiter dauert es bis zur Opposition noch gut einen Monat länger.

Von den vier großen Planetoiden, wenn wir die Ceres einmal dazu zählen, ist die Vesta der hellste. Sie steht am 22. August in Opposition zur Sonne und erreicht 5,8-te Größe, sollte also mit einem Feldstecher und einer Aufsuchhilfe auch im sternreichen Wassermann auffindbar sein.

Das Perseidenmaximum wird für die Nacht vom 12. auf den 13. August erwartet. Leider stört der Vollmond.

„Die Weltherrin und ihr Schatten¹“

Aus dem ersten Teil der Bemerkungen über Energie und Zeit könnten wir, wie 1847 Helmholtz zu dem Schluss kommen, „dass die Summe der wirkungsfähigen Kraftmengen [gemeint sind Energiemengen] im Naturganzen bei allen Veränderungen in der Natur ewig und unverändert dieselbe bleibt. Alle Veränderung in der Natur besteht darin, dass die Arbeitskraft ihre Form und ihren Ort wechselt, ohne dass ihre Quantität verändert wird. Das Weltall besitzt ein für alle Mal einen Schatz von Arbeitskraft, der durch keinen Wechsel der Erscheinungen verändert, vermehrt oder vermindert werden kann und der alle in ihm vorgehende Veränderung unterhält.“

Diese optimistische Sicht auf die Welt erhielt bereits fünf Jahre später einen Dämpfer, als nämlich William Thomson (1824–1907), der spätere Lord Kelvin, erstmals von der Tendenz der Natur zur Dissipation (Zerstreuung) mechanischer Energie sprach und damit das Schreckgespenst des universellen Wärmetods heraufbeschwor. (Thomson war es auch, der um 1850 den Begriff „Energie“ anstelle der „Kraft“ einführte.) Helmholtz nahm es zur Kenntnis und konstatierte 1854 lakonisch: „Kurz das Weltall wird von da an zu ewiger Ruhe verurtheilt sein.“

Tatsächlich geht, wie alles in der Welt, auch die Energie den Bach hinunter. Sie verschwindet zwar nicht – wir haben ja Energieerhaltung –, verliert aber klammheimlich an Wert, dem Vermögen, Arbeit zu verrichten. Was zunimmt, ist die Entropie, sie bemisst die statistische² Unordnung. Zum Arbeiten bedarf es Helmholtz’scher³ freier Energie, und für die gilt kein Erhaltungssatz, nur Wilhelm Ostwalds (1853–1932) „energetischer Imperativ“: „Vergeude keine Energie – verwerte sie!“

Freie Energie

Bevor der 1. Hauptsatz der Thermodynamik, er handelt von der Energieerhaltung, das Licht der Welt erblickt hatte, war Technikern bereits der

¹Der Jenaer Physiker Felix Auerbach (1856–1933) hatte 1902 eine kleine Schrift über Energie publiziert gehabt. Der „Schatten“ ist eine Allegorie der Entropie.

²Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik ist ein Gesetz 2. Klasse. Er ist exakt nur im statistischen Sinne. Fluktuationen sind nicht ausgeschlossen, was nicht nur für das biologische Werden bedeutsam ist.

³Genaugenommen handelt es sich bei der Helmholtz-Energie um die maximale Arbeit, welche ein System isotherm zu leisten vermag.

2. Hauptsatz geläufig – und ein Dorn im Auge. Die Rede ist vom Entropiesatz: Energie büßt bei Verwandlung stets an Arbeitsfähigkeit ein, niemals umgekehrt, – sie wird, wenn man so will, immer „dreckiger“. Der bekannteste „Verlust“ an Qualität – nicht an Quantität, die bleibt ja wegen der Homogenität der Zeit erhalten! – ist der durch Reibung, wobei Wärme entsteht: Makroskopisch geordnete Bewegung wird unumkehrbar⁴ zu mikroskopisch ungeordneter. Ein dünner Draht wird glühend heiß, fließt ein starker Strom. Den Technikern, denen es aus ökonomischen Gründen um die Minimierung von Energieverlusten ging, war dies sehr bewusst. Die Forschung war weitgehend Technik-getrieben!

Auch wenn Politik wieder und wieder das Gegenteil beschwört: Energie ist das einzige, was nicht „erneuerbar“ ist. Es ist ihr Niedergang, der die Zeitrichtung vorgibt!

Es reicht nicht, Kilowattstunden (kWh) zu zählen, man muss zwischen nützlichen und nutzlosen kWh unterscheiden! Freie Energie bezeichnet jenen Energieanteil, mit dem man etwas anfangen kann, z. B. Maschinen antreiben. Wärmeenergie auf dem Niveau der Umgebungstemperatur hingegen ist nutzlos. Die Strahlungsenergie, die das Universum hauptsächlich erfüllt, gehört in diese Kategorie. Die Energiedichte dieser 3-K-Strahlung⁵ beläuft sich auf 10^{-13} Ws/m³. 3-K-Photonen fallen aus allen Richtungen ein und sind völlig nutzlos. Nur dank ihrer Sonnennähe ist die Erde ein privilegierter Ort. Die im Prinzip „nutzbare“ Energiedichte ist hier 40 Millionen Mal höher! Diese $4 \cdot 10^{-6}$ Ws/m³ sind nützlich, weil es sich um (von der Sonne weg) g e r i c h t e t e⁶ Strahlung handelt, die sich zu über 90 % in Arbeit umsetzen ließe. Doch Sonnenlicht verliert beim Bodenkontakt seine Arbeitsfähigkeit. Was nicht reflektiert wird, wird beim Aufprall absorbiert, also thermalisiert. Nur ein winziger Teil⁷ davon, nämlich 0,2 %, wird von Grünpflanzen dank speziell präparierter Blattoberflächen in chemische Energie (Kohlenhydrate)

⁴Der 2. Hauptsatz ist das einzige Gesetz, das eine Zeitrichtung auszeichnet.

⁵Die Sterne tragen trotz hoher Oberflächentemperatur energetisch nur marginal zum Strahlungshintergrund bei. Sternscheibchen machen vom Firmament nur den 10^{17} -ten Teil aus! Wohin man auch schaut, man schaut $10^{17} : 1$ an Sternen vorbei auf den -270°C-warmen (3-K) Hintergrund.

⁶Wäre der Himmel mit Sonnenscheiben vollgepflastert, könnte man mit der Fülle an Strahlungsenergie rein gar nichts anfangen! Es wäre bloß heiß, so heiß wie auf der Sonne.

⁷Helmholtz sprach in diesem Zusammenhang von „chemischen Strahlen“, weil sie Photosynthese bewirken. Der Wirkungsgrad der photochemischen Spaltung von Wasser ist mit ≤ 3 % bescheiden, könnte aber gentechnisch verbessert werden. Rein physikalisch betrachtet, wären im Wellenlängenbereich der „chemischen Strahlen“ (400–700 nm) 34 % drin – also das Zehnfache! Vielleicht fehlt es auch bloß an Wasser.

überführt. Der ganze Rest, also fast alles, wird beim „Sonnenbaden der Erde“ in wohlige Wärme verwandelt – und damit aus Sicht des Wärmetechnikers schlicht „vergeudet“! Nur 0,7 % der erzeugten Wärme findet sich letztlich in (technisch nutzbaren) atmosphärischen und ozeanischen Strömungen wieder. Von der kinetischen Energie des Windes sind maximal 26 % verstrombar. (Wind ist nicht vollständig stoppbar!) 26 % von 0,7 % macht 0,2 %. Mit anderen Worten: Lediglich 0,2 % der Sonnenenergie wären überhaupt über den Umweg Windnutzung verstrombar! Das Potential an Windenergie entspricht damit dem, was die grünen Pflanzen heute schon leisten. Solarzellen, die, wie Pflanzen, das Sonnenlicht unmittelbar verwerten, sind 100-mal effizienter als Pflanzen. Ihr Wirkungsgrad liegt bei 20 %. Biogas schneidet kaum besser ab als Wind, da die Photosynthese ineffektiv ist und das Gas zur Stromerzeugung erst verbrannt werden muss.

Die geringe Effizienz – 0,7%! – der planetaren „Windmaschine“ ist der Erde Kugelgestalt geschuldet und Geophysikern seit 1917 bekannt. Wäre die Erde eine Scheibe, gäbe es überhaupt keine nutzbaren Temperaturunterschiede. Dennoch stünde „Flacherdlern“ die *p r i m ä r e* Sonnenenergie voll zur Verfügung.

Die Unterscheidung zwischen primärer und sekundärer Sonnenenergie ist von energiepolitischer Brisanz! An ersterer besteht kein Mangel, worauf der US-amerikanische Planetologe Carl Sagan (1934–1996) hingewiesen hat. Was die Sonne an freier Energie frei Haus liefert, übersteigt den derzeitigen Energiehunger der Menschheit an Primärenergie (inkl. Nahrungsmittel) um das 7000-fache! Bei der sekundären Sonnenenergie, dem Wind und den ozeanischen Strömungen, sieht die Bilanz nicht so rosig aus. Es handelt sich ja um bereits *e n t w e r t e t e* Sonnenenergie, und deren vollständige Verstromung (was unmöglich ist) überstiege den weltweiten Energiehunger der Menschen nur noch um das 14-fache ($0,002 \times 7000$). Ein Ökologe hätte sicherlich Bedenken, mehr als, sagen wir, 5 % davon auszuschöpfen. Fazit: Der *d e r z e i t i g e* Primärenergiebedarf ließe sich mit Ach und Krach durch Windverstromung decken. Langfristig sollte man nicht auf Wind bauen: Er ist nicht zukunftsfähig. Es gibt ihn nicht im Überfluss! Windenergie ohne Not durch *power-to-heat* zu degradieren, wie mancherorts üblich, kommt einer zwiefachen „Vergeudung 2. Art“ gleich: Aus wertvollen Wind-kWh würden nahezu wertlose Wärme-kWh, nur noch zum Heizen geeignete! (Wie jeder Iglubesitzer weiß, muss man aber gar nicht heizen, möchte man es warm haben, es reicht, sein Gebäude wärmeisulieren!)

Der Mensch ist inzwischen zu einem *global player* aufgestiegen, weshalb in Geologenkreisen schon vom Anthropozän die Rede ist, welches das Holozän,

die vergangenen 11 700 Jahre, abgelöst habe. Da ist etwas dran. So übertrifft mit 22 ZJ (1 Zetajoule = 10^{21} J) der Energieumsatz der Menschheit von 1950 bis 2020 den davor (14,7 ZJ). Die „Leistung“ der Menschheit im Jahre 2017 soll sich auf 26 TW (inkl. 8 TW Nahrungsaufnahme; 1 Terawatt = 10^{12} W), belaufen haben und dürfte damit bereits einige Prozent der freien Energie ausmachen, die das Erdsystem insgesamt bereitstellt!

Zum Vergleich: Auf 47 TW beläuft sich in etwa der geothermische Energiestrom aus den Tiefen der Erde. Wegen des gewaltigen Temperaturunterschieds zwischen 5000° -heißem Erdkern und erkalteter Kruste handelt es sich um mechanische Energie, Konvektionsströme im Erdmantel. Das macht, dass der Planet „lebt“, sich ein dynamogeniertes Magnetfeld leistet, sich trotz enormer Reibung Kontinente verschieben, Gebirge auftürmen etc. Erdbeben sind, geologisch gesehen, ein gutes Zeichen. In wenigen 100 Millionen Jahren wird es damit vorbei sein, weil die Wärmequellen im Planeteninnern, radioaktiver Zerfall und Kristallisationswärme, allmählich versiegen.

Apropos Reibung: Der treue Begleiter der Erde, der Mond, steuert 3 TW an dissipierter Rotationsenergie durch Gezeitenreibung⁸ bei.

Von Volldampfplaneten und -monden

Wind ist an sich, als planetares Phänomen, ein spannendes Thema.

Am Nordpol ist es im Mittel 40° kälter als am Äquator. (Am Südpol ist die Differenz noch größer.) Ohne meridionalen Wärmeausgleich, sprich im Falle einer wärmeisolierten Erde, wo jede Region in den Weltenraum lokal abstrahlte, was sie von der Sonne erhält, läge der Temperaturunterschied bei über 100° ! Wäre andererseits das Wärmeleitvermögen weit höher, würden breitenabhängige Temperaturunterschiede ausgeglichen. Die Wirklichkeit liegt irgendwo dazwischen, interessanter- und rätselhafterweise nahe dem Punkt, wo die „Wärmekraftmaschine Erdatmosphäre“, von der schon Hermann Helmholtz spricht, ihre maximale Leistung entfaltet. Die Maschine arbeitet anscheinend unter Volldampf.

Hermann Helmholtz schreibt 1871: „In der That treibt die Sonne hier, auf Erden eine Art von Dampfmaschine, deren Leistungen denen der künstlich construirten Maschinen bei weitem überlegen sind. Die Wassercirculation in der Atmosphäre schafft, wie schon erwähnt, das aus den warmen tropischen Meeren verdampfende Wasser auf die Höhe der Berge; sie stellt gleichsam eine Wasserhebungsmaschine mächtigster Art dar, mit deren Leistungsgröße keine künstliche Maschine sich im entferntesten messen kann.“

⁸Dass die Tage länger werden, war 1695 Edmond Halley (1656–1742) aufgefallen. Der Sterntag verlängert sich, gezeitenreibungsbedingt, pro Jahrhundert um 1,7 ms.

In der Tat kann sich keine künstliche Maschine leistungsmäßig mit ihr messen. Doch ist der Wirkungsgrad der „Erdmaschine“ bescheiden. Er ist kaum besser als der einer Watt’schen⁹ Dampfmaschine aus den 80er Jahren des 18. Jh. Nur ein kleiner Teil des meridionalen Ausgleichswärmestroms zu den Polen findet sich deshalb in Form von kinetischer Energie wieder – Wind –, nämlich 800 TW. Pro Quadratmeter Erdoberfläche wären das 1,6 W. Zum Vergleich: Sonnenlicht liefert 240,5 W! Im folgenden rechnen wir der Einfachheit halber mit einer über den Planeten und die Jahreszeiten gemittelten Windleistung von 2 W/m^2 , was erdweit 1000 TW entspräche. Mehr ist, wie angedeutet, kaum drin, und zwar aus folgendem Grund: Wäre der Temperaturunterschied größer, wäre zwar der Wirkungsgrad höher, aber infolge des reduzierten Ausgleichsstroms trotzdem insgesamt weniger Wind. Ebenfalls weniger Wind dürfte im umgekehrten Fall wehen, bei vermindertem Temperaturkontrast, und zwar wegen des dann schlechteren Wirkungsgrades trotz höheren Ausgleichsstroms. Kurz: Unser Planet ist vermutlich maximal windig!

Auch die Atmosphären von Mars und Titan scheinen unter „Volldampf“ zu arbeiten. Windmaximierung – man spricht von MEP (*Prinzip maximaler Entropieproduktion*) – scheint angesagt. Warum das so ist, ist schleierhaft.

Ein halbes Prozent der Windleistung landet in ozeanischen Strömungen und wird am Meeresboden durch Reibung dissipiert.

Kommen wir zur Windverstrombarkeit. Eine e i n z e l n e Windturbine könnte theoretisch (Lanchester-Betz-Limit) 59 % der kinetischen Windenergie in elektrischen Strom verwandeln. Berücksichtigt man, dass sich in Windparks die Turbinen einander den Wind streitig machen, verringert sich die Verstromungseffizienz bei bodennahem Wind auf 26 %. Klimamodellrechnungen ergeben noch geringere Verstromungseffizienzen: 12 % („on shore“) bzw. 17 % („off shore“). Diese Zahlen haben die Forscher um Axel Kleidon vom Jenaer Max-Planck-Institut für Biogeochemie kürzlich (2021) publiziert. Umgerechnet auf den Quadratmeter Erdoberfläche wären also technisch maximal (zumindest über Land) $0,3 \text{ W}$ entnehmbar¹⁰. *Mittlere Windverhältnisse angenommen*, machten bei einer Fläche von $357\,588 \text{ km}^2$ für die Bundesrepublik das hochgerechnet 110 GW aus. Die Leistung des Stromsektors belief sich in den vergangenen Jahren auf rund 60 GW.

⁹James Watt (1736–1819)

¹⁰Optimistischer ist das Umweltbundesamt: Die Planungen (2013) zum Ausbau der Windenergie gehen von bis zu $6,7 \text{ W/m}^2$ aus.

Die Jenaer Forscher verfechten einen *t h e r m o d y n a m i s c h e n* Ansatz, um dem Erdsystem mathematisch beizukommen – einen *h o l i s t i s c h e n*, um ein Modewort zu verwenden. Wärmelehre ist etwas Wunderbares: Sie erlaubt unter sehr allgemeinen Voraussetzungen allgemeine Aussagen über x-beliebige Systeme, ohne genaue Kenntnis von deren interner Mechanik. Dass 1944 Erwin Schrödinger (1887–1961) der Frage nachging, „Was ist Leben?“, hatte nichts mit Arroganz des Physikers zu tun, nur mit Thermodynamik! Jedes Lebewesen ist ihren Gesetzen unterworfen: Es futtert entropiearme Kost (Kohlenhydrate, Eiweisse, Fette) und entledigt sich des entropiereichen Abfalls (u. a. durch Schwitzen etc.). Es ist ein Fließgleichgewicht, welches erst die Aufrechterhaltung des Nichtgleichgewichts ermöglicht – von der Wiege bis zur Bahre! Gleichgewicht bedeutete Tod.

Eine solche allgemeine Aussage ist die Deckelung durch den sog. Carnot-Wirkungsgrad (η), benannt nach dem französischen Physiker und Ingenieur Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796–1832): $\eta = (T_{\max} - T_{\min})/T_{\max}$. Er hängt allein von der maximalen (T_{\max}) und der minimalen (T_{\min}) Temperatur ab und kann prinzipiell nicht überboten werden, egal, welche Mühe sich die Konstrukteure einer Wärmekraftmaschine auch geben. Nehmen wir die Erde: Bei einer mittleren Oberflächentemperatur von 287 K und einer „Temperatur“ des Sonnenlichts von 5800 K errechnet sich ein Wirkungsgrad von maximal 93%. Bis auf 7% ließe sich die gesamte ins Erdsystem eingespeiste Sonnenergie verstromen, ginge es allein nach der Physik! Da ist Platz für Optimismus!

Der Bereich des überhaupt Möglichen ist thermodynamisch derart eingeschränkt, dass Patentingenieure Vorschläge zum Bau eines Perpetuum mobiles 2. Art – eines Gerätes, welches Wärmeenergie 100-prozentig in mechanische oder elektrische Energie verwandelte – unbesehen in den Papierkorb entsorgen dürfen. Den Denkfehler herauszufinden ist meist aufwendig. (Aber zuweilen erhellend: Im Falle des sog. „Maxwellschen Dämons“ hat das über 100 Jahre gedauert gehabt! Es stellte sich ein Link zwischen Thermodynamik und Informationstheorie heraus.)

Denn der Wind treibt Regen übers Land ...

We rushed into renewable energy without any thought. The schemes are largely hopelessly inefficient and unpleasant. I personally can't stand windmills at any price.

James Ephraim Lovelock (1919–2022)

Neben der Frage nach dem physikalisch-technisch Machbaren stellt sich die nach dem ökologisch-politisch Vertretbaren. Wir leben schließlich nicht allein auf der Welt und der Wind sollte Gemeingut sein. Wieviel Windabbau ist erlaubt, ohne dem fragilen Weltklima zu schaden oder unseren Nachbarn? Ein Kollateralschaden liegt auf der Hand: die Schwächung des Wasserkreislaufs. Wind fächelt und entzieht dem Boden Feuchtigkeit, transportiert Wasserdampf in entlegene Regionen, deren Landwirtschaft dessen bedarf. Der atmosphärische Transport von Wasser trägt im planetaren Maßstab ungefähr

zur Hälfte bei: Der Wind befördert so viel Wasser wie sämtliche Flüsse – und er treibt die Meeresströmungen!

An dieser Stelle können Klimamodelle hilfreich sein, indem der Einfluss der Windverstromung (beispielsweise durch eine Erhöhung der „Geländerauigkeit“) simuliert wird. Sie könnten evtl. auch klären, inwieweit sich Höhenwinde, sog. Jetstreams, technisch anzapfen ließen, ohne gleich eine weitere Klimakatastrophe heraufzubeschwören. (Die Nutzung bodennahen Windes scheint weniger gefährlich zu sein, da sich ja insgesamt an der Energiedissipation nichts ändert: Die in elektrische Energie transferierte kinetische Energie des Windes wird ja ohnehin in den Betrieben und Haushalten durch Nutzung wieder als Wärme freigesetzt, allerdings in den „Wärmeinseln“ von Großstädten und Industrievierteln und nicht in freier Wildbahn.)

Noch ein Wort zur politisch geschmähten Kernkraft¹¹. Sie hinterlasse mit Abstand den flachsten „Fußabdruck“ in der Landschaft und das aus einem einfachen Grund: Der Stoffumsatz ist Millionenfach kleiner als bei der Gewinnung chemischer¹² Energie aus fossilen Energieträgern. Der Flächenverbrauch ist es auch. Ihr Nachteil¹³ ist, dass sie unseren Planeten ebenfalls *z u s ä t z l i c h* heizt, zusätzlich zur Sonne! Langfristig hieße das: Entweder man kompensiert das, indem man Teile des Planeten weiß, sprich die Albedo erhöht, oder indem man energieintensive Produktion in den erdnahen Weltraum verbannt. Kurzfristig könnte Kernenergie der Politik Luft verschaffen, die Umstellung der Energiewirtschaft ohne größere Randalen zu bewältigen.

Auch eine verstärkte Nutzung primärer Sonnenenergie durch Solarzellen oder Ausweitung von Anbaugeländen, inkl. Aufforstung, ist nicht ohne. Solarpaneele (aber auch beispielsweise Fichtennadeln) sind deutlich dunkler als die Landschaft, die sie ersetzen, und heizen damit lokal den Planeten, statt zu kühlen! Solarzellen¹⁴ sollten deshalb idealerweise die nicht in Elektrizität verwandelte Sonnenenergie reflektieren.

Über die Albedo, das Reflexionsvermögen, ließe sich das Erdklima technisch am ehesten regulieren, weshalb Plan-B-Szenarien zu seiner Rettung gern darauf zurückgreifen.

¹¹In der Alltagssprache steht „Kraft“ immer noch für Energie – wie zu Helmholtz' Zeiten.

¹²Die Energie in den Atomhüllen bemisst sich nach Elektronenvolt (eV), die in den Atomkernen in Millionen Elektronenvolt (MeV).

¹³Sie ist bloß grundlastfähig. Gaskraftwerke, welche zur Überbrückung von sog. „Dunkelflauten“ dienen und Regelleistung bereitstellen, kann sie nicht ersetzen.

¹⁴Die Photovoltaik ist keineswegs ausgereizt. Ein vielversprechender Ansatz: das „Ernten“ der Sonnenlichtwellen mittels Nano-Antennen-Feldern – wie beim Radio, bloß im THz-Bereich.

Die frohe Botschaft zum Schluss: Von einer Energiekrise kann, zumindest kosmischerseits, angesichts einer Solarkonstanten von $1,36 \text{ kW/m}^2$ die Rede nicht sein, höchstens von einer Entropiekrise. Technisch gesehen „vergeudet“ unser Planet Sonnenenergie durch sofortige Degradierung in Wärme. Die grünen Pflanzen haben Cleverness bewiesen, als sie sich in einen Prozess einklinkten, der ohnehin abläuft, aber zuvor noch etwas daraus machten – chemische Energie! Tun wir es ihnen gleich und vermindern wir die Verschwendung 2. Art, indem wir Sonnenlicht direkt nutzen – v o r dem folgenschweren Bodenkontakt!

Die Schöpfung kann man nicht konservieren. Getrieben von freier Energie und der Möglichkeit, ihre Abwärme, inkl. des zivilisatorischen Entropiemülls, in den, expansionsbedingt, kalten Weltenraum zu entsorgen, erklimmt sie immer unwahrscheinlichere Regionen im „Möglichkeitsgebirge“ – und dies absichts- und ziellos. *Homo faber* aber könnte versuchen, wie einstens die Vorläufer der Blaualgen vor 3,4 Milliarden Jahren, das Potential, welches in ihr schlummert, zu wecken. Doch dies Werk dürfte dem N o v o z ä n¹⁵ vorbehalten sein.

¹⁵James Lovelock (1919–2022): „Novozän. Das kommende Zeitalter der Hyperintelligenz“ (2019)