

WOXX ABO

6 Wochen gratis / gratuit pendant 6 semaines



dat anert abonnement / l'autre abonnement
Tel.: 29 79 99-0 • Fax: 29 79 79 • abo@woxx.lu

So funktioniert es:

Ich fülle das untenstehende Bestellformular aus und schicke es frankiert per Post ein. Die woxx wird mir anschließend während sechs Wochen gratis zugestellt. Nach vier Wochen erhalte ich eine Zahlungsaufforderung für ein reguläres woxx-Jahresabo. Wenn ich dieser Aufforderung nicht innerhalb zwei Wochen nachkomme, läuft das Abo - ohne weitere Verpflichtungen meinerseits - automatisch aus.

Ja, ich will das woxx-Testabo ab der nächsten Ausgabe erhalten.

Oui, je veux recevoir l'abo-test woxx à partir de la prochaine édition.

Name / Nom :

Vorname / Prénom :

Straße + Nr. / Rue + No :

Postleitzahl / Code postal :

Ort / Lieu :

E-Mail / Courriel :

..... den / le / /

Unterschrift / Signature :

Dieses Angebot gilt nur für Nicht-AbonentInnen und für Adressen in Luxemburg.
Offre uniquement valable pour des non-abonnéEs et pour des adresses au Luxembourg.

Bitte ausgefüllt einsenden an:
Prière de remplir et d'envoyer à :
woxx, b.p. 684, L-2016 Luxembourg.

Weitere Infos / Pour plus d'informations : www.woxx.lu

ENERGIE

MATERIELLE ZIVILISATION

Woher kommt die Energie?

Interview: Andreas Lorenz-Meyer

Klimawandel und Energieknappheit bedrohen die menschliche Zivilisation. Anhand von Ideen aus Science Fiction, Sozialwissenschaften und Systemtheorie entwirft Klaus Mainzer Zukunftsszenarien.

woxx: *Der globale Energieverbrauch steigt laut Internationaler Energie-Agentur bis 2035 um ein Drittel. Wohin führt der wachsende Energiehunger?*

Klaus Mainzer: Das hat sich der russische Astrophysiker Nikolai Kardashev schon vor 50 Jahren gefragt. Er teilte künftige Zivilisationen nach den Möglichkeiten ihres Energieverbrauchs ein. Seine Typ-1-Zivilisation beherrscht die Energie ihres Planeten, genauer die konsumierbare, die durch den Bruchteil des einfallenden Lichts der Sonne bestimmt wird. Bei der Erde können wir da von etwa 10¹⁷ Watt ausgehen.

Eine 1 mit 17 Nullen. Wie kommt diese Zahl zustande?

Gemeint ist nicht nur die Sonnenenergie, die mittlerweile durch Solarstrom

und Photovoltaik gewonnen wird. Fossile Brennstoffe sind ja genauso in toten Pflanzen gespeicherte Sonnenenergie. Hinzu kommen Wind, Wetter und Meeresströmungen, die auch erst durch Sonnenenergie möglich werden. Eine Typ-1-Zivilisation beherrscht alle diese Energieformen.

„Die Menschheit kann derzeit als Typ-0,7-Zivilisation bezeichnet werden, Typ 1 wäre die Welt von Flash Gordon. Dort werden sämtliche planetarischen Energiequellen genutzt.“

Wie weit entfernt davon ist die Menschheit momentan?

Wir zapfen die Energie auf der Erde zwar in allen möglichen Speicherformen an. Aber Wind und Wetter beherrschen wir noch lange nicht. Die Menschheit kann derzeit als Typ-0,7-Zivilisation bezeichnet werden.



FOTO: TUM

Klaus Mainzer ist Inhaber des Lehrstuhls für Philosophie und Wissenschaftstheorie an der Technischen Universität München. Er befasst sich aus philosophischer Sicht mit komplexen Systemen.

Bringt uns die Kernfusion weiter? Manche setzen große Hoffnungen in die Technik.

Der Fusionsreaktor lässt noch auf sich warten. Nach Kardashev wäre er der erste Schritt hin zur Typ-2-Zivilisation, die die Sonnenenergie beherrscht, etwa 10^{27} Watt. Die Energie würde dann nicht nur passiv mit Solarzellen aufgefangen. Der amerikanische Physiker Freeman Dyson beschreibt eine Zivilisation, die eine gigantische Kugel um ihren Heimatstern konstruiert, um damit seine gesamte Strahlung zu absorbieren.

Klingt nach Science Fiction.

Darum können wir uns die Kardashevsche Skala auch nur in Science-Fiction-Bildern vorstellen. Die Typ-1-Zivilisation wäre die Welt von Flash Gordon. Dort werden sämtliche planetarischen Energiequellen genutzt, selbst Wind und Wetter sind vollständig kontrollierbar. Die Typ-2-Zivilisation entspricht der Planetenföderation in Star Trek. Die hat bereits hundert nahe gelegene Sterne kolonialisiert.

Hatte Kardashev auch eine Typ-3-Zivilisation?

Ja. Diese galaktische Zivilisation ist vergleichbar mit dem Imperium im Krieg der Sterne. Sie verbraucht die Energie von Milliarden von Sternen in der Größenordnung von 10^{37} Watt.

Lässt sich die Zivilisationsskala auf die Gegenwart beziehen?

Kardashev stellte sie zu einer Zeit auf, in der der Fortschrittsoptimismus keine Grenzen kannte. Es war die Zeit von Sputnik und Mondlandung. Dann kamen Ölkrise, Umweltbewegung, die Grenzen des Wachstums, Tschernobyl, Fukushima. Dadurch wird Kardashevs kosmische Skala nicht falsch. Nur erweist sich Energieversorgung als schwieriger und komplexer, als er es sich damals vorstellte.

Ansätze, Energie auf andere Art zu erzeugen, gibt es schon heute. Solarkugeln wandeln Mondlicht in Elektrizität um. Generatoren nutzen Reibungsenergie, um Strom zu erzeugen. Warum denkt sich der Mensch diese Techniken aus?

Letztlich sind es Neugierde und Intelligenz, die unsere Spezies in der Evolution so weit gebracht haben. Hätten wir nicht immer wieder Lösungen gefunden, wären wir vermutlich schon längst von diesem Erdball verschwunden. Aber Intelligenz beschränkt sich nicht auf technische Innovation. Um komplexe Staaten und Zivilisationen zu organisieren, ist auch soziale Intelligenz vonnöten.

„Neugierde und Intelligenz haben unsere Spezies in der Evolution so weit gebracht. Aber Intelligenz beschränkt sich nicht auf technische Innovation, auch soziale Intelligenz ist vonnöten.“

Was bringt die hervor?

Zum einen soziale Innovationen. Die verbinden Technik mit den sozialen Lebensbedingungen der Menschen, ihrer Infrastruktur und Mobilität. Zum

anderen ökologische Innovationen, etwa beim Energieverbrauch. Ohne die sind die sozialen Innovationen nicht zu haben. Am Ende läuft es auf eine Weltzivilisation hinaus, die sich im Einklang mit den Lebensbedingungen dieses Planeten befindet - oder wir gehen unter.

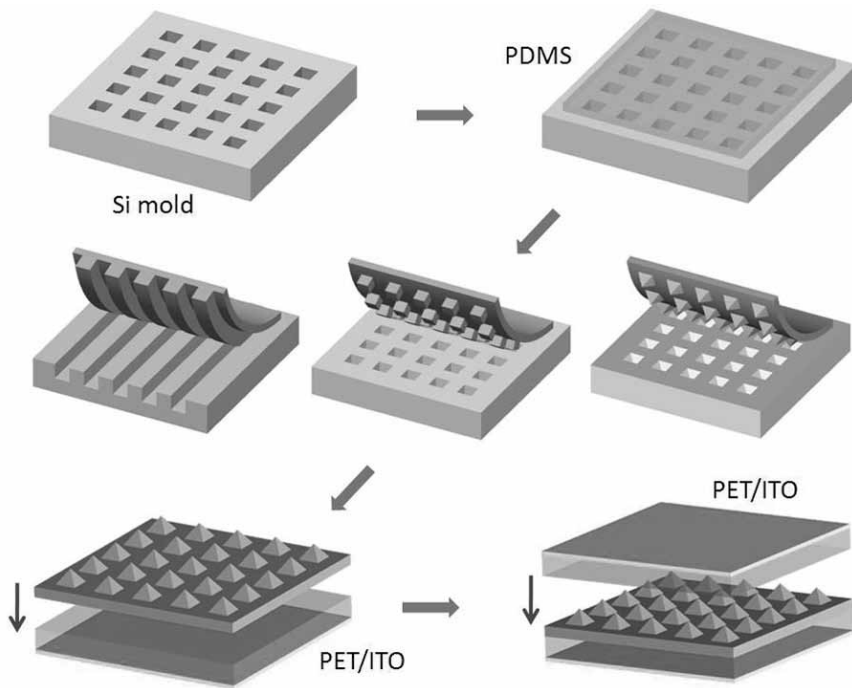
Sind Sie optimistisch, dass wir diesen Einklang herstellen?

Lösungsgarantien, wonach am Ende alles gut wird, gibt es nicht. Aus der Mathematik kennen wir komplexe Algorithmen, die keinen Beweis für die Existenz einer Lösung anbieten. Um wieviel mehr trifft diese Unsicherheit auf die vielfältigen Lernprozesse der Menschheit zu!

Macht sich die Menschheit etwas vor, wenn sie glaubt, ein selbstgeschaffenes Problem wie der Klimawandel ließe sich technisch lösen?

Falsche Ideologien suggerieren, da sei die heile Natur, und dann kämen die Menschen, die wie Goethes Zauberlehrling alles durcheinanderbringen. Aber es geht nicht nur um

ENERGIE



Modell eines triboelektrischen Generators: Bei Reibung gibt Polyester Elektronen an Polydimethylsiloxan (PDMS) ab. Geschieht dies mehrfach hintereinander, entsteht ein schwacher Wechselstrom. Die verwendeten Materialien sind zu 75 Prozent durchsichtig, was sie etwa für Touchscreens interessant macht. Es hat sich erwiesen, dass die mikroskopisch kleinen Erhebungen effizienter sind, wenn sie eine Pyramidalform haben. Die Forscher am Georgia Institute of Technology haben auch ein Produktionsverfahren entwickelt, wie ein solcher PDMS-Film an eine Elektroden-Fläche aus Indiumzinnoxid (ITO) fixiert werden kann und zwei solcher Schichten sandwichartig zusammengehalten und weiterverarbeitet werden können.

selbstgeschaffene Probleme, die ohne Zweifel uns und die Natur belasten. Wir dürfen den langfristigen natürlichen Klimawandel nicht vergessen. Der unterliegt einer Dynamik, die keineswegs menschenfreundlich ist. Wenn ich an die kleinen Eiszeiten in den vergangenen Jahrhunderten denke: Unter welchen elenden Bedingungen die Überlebenden da vegetieren mussten, und zwar vor der Industrialisierung. Kommende Generationen benötigen viel Wissen und Können, um auch dem natürlichen Klimawandel zu begegnen, selbst wenn es uns gelingen sollte, die Folgen des industriell verursachten zu bremsen.

Welche Rolle spielt das Klimasystem der Erde?

Wir haben es mit einem nichtlinearen dynamischen System zu tun. Nichtlinearität bedeutet vereinfacht gesagt, dass sich kleine, scheinbar nebensächliche Ursachen häufig zu großen Veränderungen des Gesamtsystems aufschaukeln und es destabilisieren. Das kennen wir nicht nur vom Klima, sondern auch von Wirtschaftssystemen.

Welche Faktoren wirken sich in diesem System kurzfristig aus, welche langfristig?

Zu den kurzperiodischen Klimafaktoren gehören die Veränderungen der Meeresoberflächentemperatur, aber auch Vulkanausbrüche, deren Staub die Atmosphäre belastet. Zu den längerfristigen Einflüssen zählt vor allem die Energie der Sonne, also die Zukunft des Zentralsterns unseres Planetensystems, dessen Energie wir noch nicht oder vielleicht nie kontrollieren können. Was zu untersuchen ist: In welchem Ausmaß beeinflusst auch der von Menschen verursachte Treibhauseffekt den längerfristigen Klimawandel?

„Selbst wenn es der Menschheit gelingen sollte, den industriell verursachten Klimawandel zu bremsen, benötigt sie viel Wissen und Können, um auch dem natürlichen Klimawandel zu begegnen.“

Zurück zur Technik. Wie wichtig sind sogenannte intelligente Techniken?

Wir sind auf intelligente Lösungen angewiesen. Setzen wir etwa auf Wind

und Sonne, machen wir uns von den Schwankungen von Wind und Wetter abhängig. Um die Energieversorgung trotzdem zu sichern, muss Energie klug verteilt werden. Durch Smart Grids, die Wetterschwankungen automatisch ausgleichen. Fährt etwa der Windpark zurück, steht das Blockheizkraftwerk bereit. So ist die Gesamtversorgung unabhängig von der Wetterlage - und Energiedinosaurier wie die Kohlekraftwerke müssen nicht mehr eingeschaltet werden.

Als Säule des Klimaschutzes wird die Energieeffizienz bezeichnet. Was fehlt der Wirtschaft in diesem Bereich noch?

Wir Menschen müssen zwar die ethischen und politischen Normen der Energieversorgung vorgeben. Aber realisieren lässt sich Energieeffizienz nur durch präzise Messtechnik und Mathematik. Es darf nicht sein, dass der Energieverbrauch von Industrieländern unbekannt ist. Tatsächlich benötigen wir sogar die Messwerte der einzelnen Anlagekomponenten, um ein effizientes Energiemanagement hinzubekommen.

Wie sieht die Energiewende im Heizungskeller aus? Stehen dort künftig Brennstoffzellen?

Überall, wo es Gasanschluss gibt, könnten sie zum Einsatz kommen. Technisch ist die Kraft-Wärme-Kopplung ja eine geniale Idee. Wasserstoff und Sauerstoff werden chemisch miteinander verbunden, um Wasser, Wärme und Strom entstehen zu lassen. Damit lässt sich ein Haus sowohl heizen als auch mit Elektrizität versorgen. Jeder könnte sein kleines Kraftwerk im Keller haben: umweltfreundlich, sicher, effizient und unabhängig von Stromtrassen.

Reiben, bis es leuchtet.
Der triboelektrische
Generator kann winzige
Bewegungsimpulse in
Energie verwandeln.



FOTO: GEORGIA TECH.

ALLES IST ENERGIE

Kraftwerk in der Luft

Andreas Lorenz-Meyer

Forscher versuchen, Energie auf neue Weise zu gewinnen. Zwar gehen die Ansätze meist nicht über die Testphase hinaus, doch sie illustrieren die Vielfalt möglicher Verfahren.

Wer einen Wollpullover über den Kopf zieht, dem stehen die Haare zu Berge. Aus dieser Reibung kann elektrische Energie gewonnen werden, genannt Triboelektrizität. Zhong Lin Wang vom Georgia Institute of Technology nutzt das Prinzip. Der Nanoforscher konstruierte den triboelektrischen Generator (TEG). Nicht größer als eine Untertasse und aus vier flachen Scheiben zusammengesetzt. Unten befinden sich drei unbewegliche Schichten, zwei aus Kunststoff, dazwischen eine Goldscheibe mit darauf angeordneten Elektroden. Auf dem Ganzen sitzt als Rotor eine Kupferscheibe.

Strom wird bei dem Mini-Generator so erzeugt: Der oben liegende Kupfer-Rotor beginnt sich zu drehen. Dabei schleift er über die Goldelektroden-scheibe. Durch abwechselndes Berühren von Elektrode A und Elektrode B baut sich elektrische Spannung auf. Dafür sind keine komplizierten Impulse erforderlich, fließendes Wasser oder Wind reichen völlig aus. Sogar das Vibrieren der Stimme erzeugt die elektrische Ladung: Wer redet, wird also zum Stromproduzenten.

Triboelektrische Quellen gäbe es genug, denn die Welt ist voller Reibung. Schuhsohlen reiben auf Teppichen, Autoreifen auf Asphalt. Im Test lieferte der TEG eine elektrische Leistung von 1,5 Watt. Er brachte LED-Felder zum Leuchten und lud ein Mobiltelefon auf. Theoretisch könnte in Zukunft jeder einen handlichen Tribogenerator bei sich haben. Der wandelt dann Körperbewegung in Energie um.

Höher, schneller, windiger

Auch die Windstromerzeugung geht neue Wege - auf einem Testgelände in den Niederlanden. Dort steigen spezielle Gleitdrachen in die Luft. Sie hängen an einer Leine, die mit einer Winde am Boden verbunden ist. Im Aufsteigen wickelt sich die Leine ab, ein an die Winde angeschlossener Generator erzeugt aus deren Drehbewegung den Strom. Natürlich soll der beim Aufrollen nicht gleich wieder verloren gehen. Deswegen wird der Drachen erst gefaltet und dann eingeholt. So ist der Luftwiderstand geringer.

Den Stromdrachen lenkt ein Autopilot. Sensoren messen dabei die Strömungsgeschwindigkeiten, um die für die Stromerzeugung beste Flugbahn zu finden. Bisher stieg das Modell der TU Delft auf 300 Meter und kam dabei auf 6,5 Kilowatt elektrische Leistung. Der Gedanke hinter diesem Kraftwerk

in der Luft: Der Ertrag der Stromerzeugung aus Windkraft wächst mit zunehmender Höhe. Windrädern aus Stahl sind aber statische Grenzen gesetzt. Drachen dagegen können auch ganz oben am Himmel flattern.

Silizium-Blatt

Pflanzen schaffen es, aus energiearmen Substanzen energiereiche zu machen. Für die Photosynthese benötigen sie Licht. Dieser natürliche Prozess kann auch von einem künstlichen Blatt ausgehen. Daniel Nocera vom MIT hat ein solches gebaut. Es ahmt die Photosynthese nach, produziert dabei aber nicht Zucker, sondern elektrische Energie.

Genau genommen handelt es sich bei dem Kunstwerk um eine Solarzelle. Sie besteht aus Silizium, das die Sonnenenergie einfängt, und aus Nickel-Kobalt-Katalysatoren. Sobald die Solarzelle, die im Wasser liegt, Sonnenlicht abbekommt, spaltet sich das Wasser in seine molekularen Bestandteile auf: Wasserstoff und Sauerstoff. Die versorgen eine Brennstoffzelle, die wiederum elektrische Energie erzeugt.

Die Idee hat schon ein paar Jahre auf dem Buckel, aber in bisherigen Versuchen hielt der Katalysator nicht lange. Noceras Prototyp scheint stabiler zu sein. 45 Stunden lang trennte er Wasserstoff und Sauerstoff, ohne

nachzulassen. Nocera neigt, was die Bedeutung seines künstlichen Laubs angeht, nicht zur Bescheidenheit. Photosynthese treibe die Natur an, sagt er, und auch die Welt werde so in Zukunft angetrieben.

Algen-Fassade

Was Nocera im Wasserglas testet, versorgt in Hamburg ein Mehrfamilienhaus mit Energie. Auf der Elbinsel steht das Gebäude, dessen Fassade aus länglichen Glasplatten besteht. In denen blubbert eine grüne Substanz: Mikroalgen. Für die Photosynthese brauchen die 3 bis 5 Mikrometer messenden Einzeller drei Dinge: Sonnenlicht, Kohlendioxid, Nährstoffe. Dann wachsen sie und liefern Biomasse, 15 Gramm pro Quadratmeter und Tag. Die müssen in Biogas umgewandelt werden, so landen Strom und Wärme in den Haushalten.

Das Gebäude mit der „Biohaut“ soll einen Vorgeschmack auf künftige Wohnstandards geben. Das Modell ist aber nur mit einem gewissen Aufwand zu warten. Belag, der sich auf den Bioreaktoren bildet, senkt zudem den Biomasse-Ertrag. Und in der Nacht stellen die Algen die Produktion natürlich ganz ein. Dennoch: Im Prinzip funktioniert das Konzept.