

In politischen Diskussionen über die Energiewende kursieren Halb- und Unwahrheiten – das ärgert Axel Kleidon. Der Physiker, der das Erdsystem am Max-Planck-Institut für Biogeochemie aus thermodynamischer Sicht analysiert, liefert wissenschaftliche Fakten für die Debatte und will auf diese Weise zum Gelingen der Energiewende beitragen.

TEXT: FINN BROCKERHOFF

Axel Kleidon erreicht die kleine Strandbar im Paradiespark an der Saale mit dem Fahrrad: Stahlrahmen, unlackiert. Auf dem Oberrohr prangt Boltzmanns Entropieformel, eine fundamentale Gleichung der Thermodynamik – und ein erster Hinweis, dass für den Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena die Physik weit mehr ist als nur ein Werkzeug für seine Arbeit. Sie prägt – ebenso wie seine Neugier – seinen Blick auf die Welt. „Ich versuche immer, möglichst unvoreingenommen an neue Dinge heranzugehen“, sagt Kleidon. „Wissenschaftler zu sein heißt ja schließlich nicht, alles zu wissen, sondern offen für Neues zu sein, es bewusst zu hinterfragen und Sachen zu durchdenken.“

In seiner Forschungsgruppe „Biosphärische Theorie und Modellierung“ nutzt er die physikalischen Gesetze der Thermodynamik, um Energieumwandlungen im Erdsystem zu erforschen: „Wenn das Sonnenlicht die Erdoberfläche erreicht, wird die Strahlungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt“, erklärt Kleidon. Dadurch steigen Luftmassen in der Atmosphäre auf, und es entsteht kinetische Energie. Das Sonnenlicht wird aber auch von Pflanzen zur Fotosynthese genutzt, wobei es in chemische Energie in Form von Kohlenhydraten umgewandelt wird. Oder es trifft auf ein So-

lar modul und erzeugt Strom. „Das sind Beispiele für Energieumwandlungen, wie sie auf unserem Planeten permanent stattfinden. Indem wir sie in ihrer Gesamtheit betrachten und ihre thermodynamischen Grenzen bestimmen, können wir viele Vorgänge im Erdsystem in guter Näherung modellieren und vorhersagen.“ Damit versucht Kleidon etwa, die Auswirkungen des Klimawandels besser zu verstehen und herauszufinden, wie viel Potenzial in erneuerbaren Energien steckt. „Diese Themen sind über die Forschung hinaus für die Klima- und Energiepolitik wichtig und bewegen mich auch ganz persönlich“, sagt der Physiker. Dabei kann man Letzteres fast wörtlich nehmen: Zugunsten der Umwelt ist der Erdsystemwissenschaftler in Jena beinahe ausschließlich mit dem Fahrrad unterwegs: „Auf meiner Strecke von zu Hause zum Institut ist das zudem sogar schneller als mit dem Auto.“

Passend zu seiner heiteren und gesprächigen Art verlegt Kleidon seinen Arbeitsplatz im Sommer ab und zu gern auch mal hier in die Strandbar, um mit seinen Kollegen in entspannter Atmosphäre zu sprechen. Während Kleidon in solchen Gesprächen heutzutage detaillierte Fragen der Thermodynamik diskutiert, stand am Anfang seiner akademischen Laufbahn eine einzige, dafür große Frage: Warum funktioniert die Welt so, wie sie funktioniert? „Und wenn man nach dem Warum fragt, landet man schnell in der Physik“, sagt der Forscher. Daher begann er 1989 in seiner Heimatstadt Hamburg Physik zu studieren. Nach dem Vordiplom ging er 1992 als Austauschstipendiat in die USA, um an der Purdue University in Indiana einen Master zu machen. Dort weckten einige Wahlveranstaltungen seine Begeisterung für die Klimamodellierung. „Besonders reizte mich daran, dass ich dabei die Physik mit dem Programmieren verbinden konnte“, erzählt Kleidon. Bereits neben

—>

BESUCH BEI

AXEL
KLEIDON



FOTO: ANNA SCHROLL FÜR MPG

41

Axel Kleidon ist passionierter Radfahrer. Für die Fahrt zur Arbeit setzt er fast immer auf die eigene Muskelkraft.



Nachhaltige Stromerzeugung mal anders: Mit genügend Dynamos und ausreichendem Training kann Axel Kleidon viele Birnen zum Leuchten bringen.

hilfe seiner Modellsimulation allerdings fest, dass das Amazonasgebiet in der Trockenzeit um bis zu acht Grad kühler, ist als es ohne Pflanzen wäre. Grund sind die tiefen Wurzeln, die Wasser aus dem Boden holen, das dann über die Blätter verdunstet. „Das war ein sehr beeindruckendes Resultat, das zumindest einigen Kollegen die Wichtigkeit der Vegetation bewusst gemacht hat.“ Nach seiner Promotion ging Kleidon mit einem Postdoc-Stipendium der Alexander von Humboldt-Stiftung an die Stanford University in Kalifornien. Dort, im Silicon Valley, dem Zentrum der US-amerikanischen Computerindustrie, hätte Kleidon die Wissenschaft beinahe an den Nagel gehängt: Der Suchmaschinen-Riese Google stand damals noch ganz am Anfang, und man suchte dringend Leute. „Ich hätte dort einsteigen können und mit Sicherheit auch deutlich mehr verdient als in der Wissenschaft“, erzählt Kleidon. Aber Geld sei nicht alles. „Was mich letztlich in der Forschung gehalten hat, waren wohl wieder die Frage nach dem Warum und meine Neugier, den Dingen auf den Grund zu gehen.“

dem Studium hatte er viel programmiert – eine Leidenschaft, die er in seiner Jugend entdeckt und die ihm danach einige Urlaube finanziert hatte. So kehrte Kleidon 1994 nach Hamburg zurück, um am Max-Planck-Institut für Meteorologie bei Martin Heimann (der ab 1998 am Max-Planck-Institut für Biogeochemie arbeitete) in der Abteilung des Klimaforschers und späteren Nobelpreisträgers Klaus Hasselmann zu promovieren. „Der Einfluss der Vegetation und besonders des Wurzelsystems auf das Klima im Amazonas“, lautete sein Thema. „Daran fand ich interessant, dass es eine biologische Komponente gibt, die aber auf physikalische Weise betrachtet wird“, so Kleidon. „In den damaligen Klimamodellen wurde die Vegetation meist etwas abfällig als unbedeutende Randbedingung gesehen, weil man überzeugt war, dass sich die entscheidenden Prozesse in der Atmosphäre abspielen.“ Letztlich stellte Kleidon mit-

Nach zwei Jahren in Stanford nahm Kleidon 2001 eine Stelle als Assistant Professor an der University of Maryland nahe Washington D. C. an, wo er den damaligen Masterstudenten Lee Miller kennenlernte. Die beiden begannen zu Anfang der Nullerjahre darüber nachzudenken, wie viel Energie sich durch Windkraft gewinnen lässt. „In dieser Zeit habe ich mehr und mehr versucht, Konzepte aus der Thermodynamik und die Entropie in meine Überlegungen einzubringen, und damit die Grundsteine für meine spätere Forschung gelegt“, erzählt Kleidon. Dank des Tenure-Track hätte er in Maryland nach seiner befristeten Anstellung gute Aussichten auf eine Professur auf Lebenszeit gehabt. In den USA bekommt man Neunmonatsverträge für die Zeit der Lehre. Die vorlesungsfreie Zeit im Sommer ist dann für die Forschung vorgesehen. Offizielle, bezahlte Ferien gibt es nicht. Ab und zu nahm sich Kleidon trotz-

dem frei, um mit Frau und Kindern die Verwandtschaft in Deutschland zu besuchen. „Da ich aber während des Studiums viel und gern gereist bin, fehlte es mir, die Welt zu entdecken.“

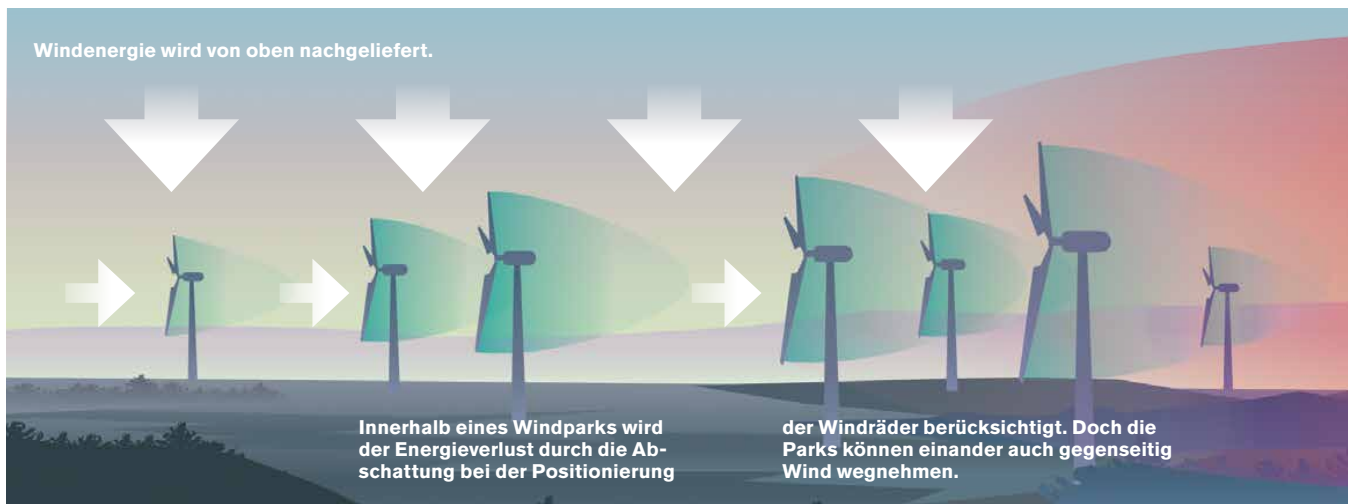
Langfristig wollte er daher gern wieder zurück nach Deutschland. Und siehe da: Eines Tages kontaktierte ihn sein Doktorvater Martin Heimann. Am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena sollten drei neue Arbeitsgruppen eingerichtet werden, und Heimann schlug Kleidon vor, sich zu bewerben. „Das tat ich und bekam recht bald auch ein Angebot. Allerdings war die Stelle zunächst auf fünf Jahre begrenzt.“ Zu jenem Zeitpunkt stand Kleidon in Maryland kurz vor dem Tenure-Review-Prozess, der über eine unbefristete Anstellung entscheiden sollte. „Da für meine Familie eine sichere Position wichtiger war als bezahlter Urlaub, musste ich Jena schweren Herzens absagen.“ Doch nur ein paar Wochen später kam erneut ein Anruf von dort: „Sie wollten wissen, ob ich kommen würde, wenn man mir eine unbefristete Stelle garantiert. Da habe ich natürlich sofort zugesagt und bin 2006 mit meiner Familie zurück nach Deutschland gezogen.“

Als Leiter einer unabhängigen Forschungsgruppe konnte er nun weitestgehend selbst über seine Themen entscheiden. „Es ist ein sehr freies Arbeiten“, erzählt Kleidon. Neue Forschungsprojekte entstehen bei ihm zu einem großen Teil über persönliche Kontakte. „Oft schreiben

mich auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler außerhalb meiner eigenen Community an, um mir Ideen zu präsentieren, woraus sich zum Teil sehr stimulierende Diskussionen entwickeln.“ So entstand etwa aus Gesprächen mit dem Astrophysiker Adam Frank von der University of Rochester eine Studie, in welcher die Forscher Planeten thermodynamisch betrachteten und danach klassifizierten, ob und wie auf ihnen Energie umgewandelt wird. Besonders interessierten sie sich dabei für Himmelskörper, auf denen sich Leben entwickelt – was aller Wahrscheinlichkeit nach an verschiedenen Orten im Universum geschieht. Dabei analysierten die Wissenschaftler – unabhängig von den speziellen Eigenschaften des Menschen und seiner Kultur – auch den Übergang in ein Zeitalter, das dem irdischen Anthropozän mit seinem immensen Energieverbrauch und den Folgen wie beispielsweise dem Klimawandel entspricht.

Als Lee Miller ein paar Jahre später für seine Promotion aus Maryland nach Jena kam, begannen die beiden, konkret zum Potenzial der Windenergie zu forschen. „Ich denke, es war und ist sehr wichtig, bei diesem Thema Fakten zu schaffen“, sagt Kleidon. Denn oftmals werde die Atmosphäre einfach als unerschöpfliches Energiereservoir angesehen. „Das ist sie aber nicht. Jede Energie, die man über Windturbinen entnimmt, geht der Atmosphäre verloren. Dann gehen die Windgeschwindigkeiten runter.“ Doch gerade weil der Ansatz, den die beiden verfolgten, so simpel war, hatten sie zunächst Schwierigkeiten, ihre ersten Artikel in Fachzeitschriften zu veröffentlichen. „In der Wissenschaft geht der Trend dahin, alles immer komplexer und detaillierter zu machen, statt nach einfachen und eleganten Ansätzen zu

Begrenzttes Reservoir: Je mehr Windräder in einer Region stehen, desto schwächer wird der Wind, weil nicht genügend Energie von oben nachgeliefert werden kann. Dieser Effekt dürfte beim geplanten Ausbau an Land in einigen Regionen den Stromertrag reduzieren und wird eine wichtige Rolle beim angestrebten Ausbau in der Nordsee spielen.



GRAFIK: GCO NACH AXEL KLEIDON

streben“, so Kleidon. Im Peer-Review-Prozess hochrangiger Journale fielen die Rückmeldungen daher teils drastisch aus: „Ich kann mir nicht vorstellen, dass die Autoren ihre eigenen Resultate für richtig halten. Abgelehnt!“, hieß es etwa in einem Gutachten. Dabei habe schon Albert Einstein betont, man solle eine Theorie so einfach wie möglich machen, aber auch nicht einfacher. Und der Betreuer von Kleidons Masterarbeit meinte, wer das nicht könne, habe eine Sache eben nicht verstanden.

Erst vor acht Jahren gelang es den beiden Forschern schließlich mit detaillierten, regionalen Modellsimulationen, mehrere Aufsätze in der angesehenen Zeitschrift *Proceedings of the National Academy of Sciences* zu veröffentlichen – und sie blieben damit nicht unbemerkt: Klimaforschende des dänischen Forschungszentrums Risø DTU reagierten unmittelbar mit einem kritischen Kommentar. „Daraufhin haben wir wieder eine Antwort veröffentlicht, wodurch schließlich die Organisation Agora Energiewende auf unseren Diskurs aufmerksam wurde und uns zu einem gemeinsamen Treffen einlud“, erzählt Kleidon. Die Denkfabrik mit Sitz in Berlin sucht nach wissenschaftlich fundierten und politisch umsetzbaren Lösungen für die Energiewende in Deutschland. „Am Anfang war

habe mir vorgestellt, dass man den gesamten Windpark in eine Box packt und sich fragt: Wie viel kinetische Energie geht vorne in die Box rein? Wie viel geht darin durch Reibung verloren? Wie viel nehmen die Windturbinen raus, um Strom zu erzeugen? Und wie viel Energie ist danach im System noch übrig?“ Auf diese Weise rechnete Kleidon aus, wie stark die Windgeschwindigkeiten durch Windkraftanlagen im Mittel zurückgehen und wie sich das auf die Stromerträge auswirkt. Zu seiner Freude waren die Ergebnisse seines Modells jenen der hochkomplexen Simulation sehr ähnlich. „Das fand ich höchst befriedigend. Denn mir scheint, als würden viele Forscher nicht hören wollen, dass man Dinge auch einfach machen kann, wenn man sie nur richtig macht.“

Nachdem die Ergebnisse veröffentlicht wurden, war Kleidon überrascht, welche Auswirkungen sie hatten: „Ein paar große Energieunternehmen und auch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie haben daraufhin ihre Planungen für die Offshore-Windkraft geändert.“ Zuvor war man davon ausgegangen, dass Windturbinen im Lauf der Jahre effizienter werden, was immer höhere Energieerträge ermöglichen sollte. „Aber das Gegenteil ist der Fall“, erklärt Kleidon. „Wenn Wind-

„Die Wissenschaft hat großes Potenzial, in der Energie- und Klimapolitik zu besseren Entscheidungen beizutragen.“

die Situation etwas angespannt, als wir der dänischen Arbeitsgruppe gegenüber saßen“, erinnert sich Kleidon. „Aber schnell sind wir daraufgekommen, dass wir ein und dieselbe Sache aus zwei Blickwinkeln betrachteten.“ Während Kleidon darauf fokussiert war, die Grenzen der Windenergie aufzuzeigen, wollte sein dänischer Kollege Jake Badger eher auf die Potenziale innerhalb dieser Grenzen hinweisen.

„Bald haben wir uns gut verstanden, und die Agora Energiewende betraute uns damit, die Potenziale der Offshore-Windenergie in der Deutschen Bucht neu zu ermitteln.“ Beide Wissenschaftler nutzten dabei jeweils ihre eigenen Methoden. Badger entwickelte ein detailliertes Modell, um damit hochauflösend die Deutsche Bucht zu simulieren. Kleidon ging einen ganz anderen Weg: „Ich

turbinen effizienter werden, heißt das ja nur, dass man die Ressource effektiver abbaut und mehr Energie aus der Atmosphäre entnimmt. Aus meiner Sicht hat sich die Arbeit gelohnt, da wir es geschafft haben, die Energiewende zu beeinflussen.“

Doch durch seine Forschung zur Windenergie wurden nicht nur Windenergie-Unternehmen und Behörden auf Kleidon aufmerksam: „Dass die Agora Energiewende überhaupt von meiner Forschung Wind bekam, lag auch daran, dass mich zuvor Windenergie-Skeptiker oftmals zitiert hatten, um zu belegen, wie schwachsinzig der Ausbau von Windkraft sei“, sagt Kleidon und wirkt geradezu belustigt. Auch Befürworter von Atomkraft und Kohlestrom verwiesen wiederholt auf seine Arbeiten. Dabei war es natürlich niemals seine Absicht, sich gegen die Energiewende zu stellen: „Es

geht mir nur darum, mithilfe der Physik eine möglichst objektive und realistische Grundlage für einen Diskurs zu schaffen. Denn es ärgert mich, wenn in der Politik aus wissenschaftlicher Sicht Nonsens geredet wird.“

Für ihn ist klar: „Die Wissenschaft hat großes Potenzial, in der Energie- und Klimapolitik zu besseren Entscheidungen beizutragen.“ Gerade auf diesen Feldern gebe es viele falsche oder unvollständige Vorstellungen, sodass Mythen gesponnen würden. Dazu gehört auch die Ansicht, dass die Nutzung von Windenergie zu Dürren führe. Doch der Wasserkreislauf und damit der Regen werden fast ausschließlich von der Erwärmung durch die Sonne angetrieben. Um solche Erkenntnisse einem breiteren Publikum bekannt zu machen, veröffentlicht Kleidon die Ergebnisse seiner Forschung nicht mehr nur in Fachzeitschriften, vielmehr schreibt er vermehrt auch Artikel für das populärwissenschaftlich ausgerichtete Magazin *Physik in unserer Zeit*. „Ich denke, es ist wichtig, sich Gedanken zu machen, was die eigene Forschung für die Allgemeinheit bedeutet, und die Dinge möglichst konkret an realistischen Szenarien zu veranschaulichen, sodass sie im Bewusstsein der Gesellschaft ankommen.“ In seinem jüngsten Artikel nahm Kleidon etwa den tatsächlich in Deutschland geplanten Ausbau der Windenergie als Aufhänger: Daran zeigte er, dass sich mit 200 Gigawatt an installierter Kapazität mehr als die Hälfte des gegenwärtigen Strombedarfs in Deutschland decken ließe und der Atmosphäre dabei lediglich vernachlässigbare Mengen an Energie entzogen würden.

Gute Ideen wie diese kommen Axel Kleidon häufig beim Laufen: Seit zwölf Jahren joggt er mehrmals pro Woche, am liebsten in der Natur rund um Jena und gern auch längere Strecken, an die zwanzig Kilometer. „Ich kann dabei wunderbar meine Gedanken sortieren. Inzwischen überlege ich mir oft sogar bereits vorab ein paar Dinge, über die ich beim Laufen nachdenken möchte.“ Nach einem langen Tag am Computer ist die Bewegung für ihn ein hervorragender Ausgleich. Während der Woche bleibt für ausgedehnte Läufe in der Natur zwar meistens keine Zeit, „aber dann mache ich wenigstens einen kurzen Abstecher auf die Laufbahn des Universitätssportzentrums der Friedrich-Schiller-Universität“. Beim Laufen tüftelt er auch immer wieder an seiner Vorlesung „Erneuerbare Energien im Erdsystem“, die er seit 2018 als Privatdozent an der Universität Jena hält. „Darin geht es nicht so



FOTO: ANNA SCHROLL FÜR MPG

Lockere Atmosphäre: Axel Kleidon diskutiert mit Mitgliedern seiner Gruppe gern in der Strandbar an der Saale.

sehr um die Technik, sondern mehr um die naturwissenschaftlichen Grundlagen, die notwendig sind, um die Erde als Gesamtsystem zu beschreiben.“ Zum Wintersemester 2023/24 wird dann noch eine Vorlesung zum Klimawandel hinzukommen.

An Projekten, über die er beim Laufen sinnieren kann, mangelt es Axel Kleidon bestimmt nicht: „Ich spiele immer wieder mal mit dem Gedanken, einen Youtube-Kanal für Wissenschaftskommunikation zu starten. Schließlich liest ja nicht jeder gern seitenlange Zeitschriftenartikel.“ Seine Pläne dafür sind bislang allerdings noch nicht konkret. „Jedenfalls hoffe ich, meine populärwissenschaftliche Arbeit in Zukunft weiter auszubauen und dadurch gegen die Mythen und das Halbwissen im Bereich der Klima- und Energieforschung angehen zu können.“