

dossier.

Wirkliche Nachhaltigkeit

Globales Potenzial und lokaler Ausbau | Erneuerbare Energien stehen im medialen Rampenlicht, Rohstoffe in ihrem Schatten. Nachhaltigkeit ist aber auf beides angewiesen: auf eine Kreislaufwirtschaft, die erneuerbar betrieben wird.

Une vraie durabilité

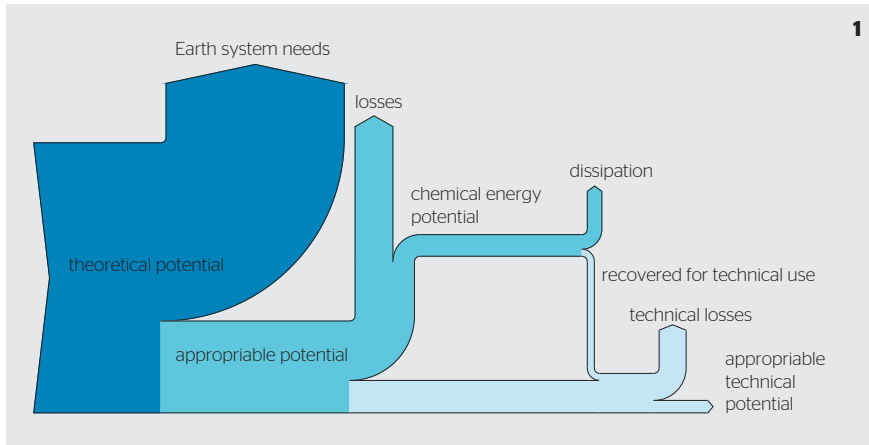
Potentiel global et expansion locale | Les énergies renouvelables sont sous les feux des projecteurs, les matières premières dans leur ombre. La durabilité dépend toutefois des deux, et donc d'une économie circulaire reposant sur une base renouvelable.

**Sonnenenergie**

Das solarthermische Kraftwerk Ashdod in der Negev-Wüste hat eine elektrische Leistung von 121 MW. Ein Salzspeicher ermöglicht den Betrieb bis zu 4,5 h nach Sonnenuntergang.

Énergie solaire

La centrale solaire thermique Ashdod, dans le désert du Néguev, dispose d'une puissance électrique de 121 MW. Un stockage de chaleur à base de sels fondus lui permet de fonctionner jusqu'à 4,5 h après le coucher du soleil.



1 Schema der globalen Energieflüsse: theoretisches Potenzial, nutzbares Potenzial (d. h. abzüglich des Energiebedarfs des Erdsystems) und technisch nutzbares Potenzial. Die Flüsse sind nicht massstabsgetreu.

Schéma des flux énergétiques globaux : potentiel théorique, potentiel utilisable (c.-à-d. une fois la demande énergétique du système terrestre soustraite) et potentiel techniquement utilisable. Les flux ne sont pas à l'échelle.



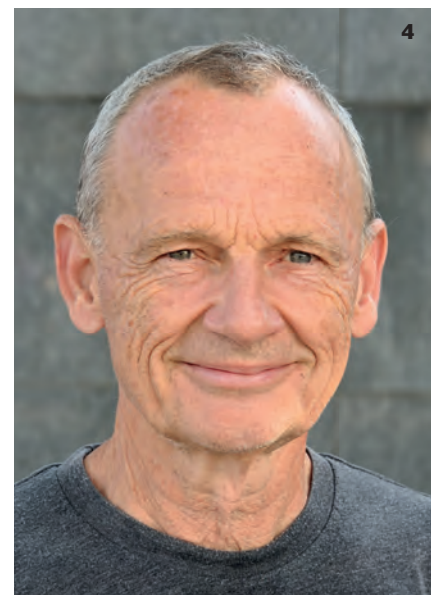
2 Harald Desing untersucht globale Energiepotenziale.

Harald Desing étudie les potentiels énergétiques globaux.



3 Toni Gunzinger setzt sich für die Integration erneuerbarer Energien ein.

Toni Gunzinger s'investit pour l'intégration des énergies renouvelables.



4 Michael Dittmar befasst sich umfassend mit der Nachhaltigkeit.

Michael Dittmar se consacre pleinement à la durabilité.

RADOMÍR NOVOTNÝ

Klimadebatten und -demonstrationen bringen die Einsicht zum Ausdruck, dass unser bisheriges Konsumverhalten nicht beliebig fortgesetzt werden kann, nicht nachhaltig ist. Dabei steht meist die an die Energiebereitstellung gekoppelte Klimafrage im Vordergrund, und der entsprechende Druck auf die Politik führt zu Energiewenden und Energiestrategien. Natürlich haben die Klimaschutzmassnahmen ihre Berechtigung, aber es wird meist ausgeblendet, was ebenso nötig ist: der nachhaltige Umgang mit den Rohstoffen. Denn sowohl eine erneuerbar angetriebene Linearwirtschaft als auch eine fossil versorgte Kreislaufwirtschaft können a priori nicht nachhaltig sein. Es braucht eine erneuerbar angetriebene Kreislaufwirtschaft.

Auf dieser Einsicht basiert ein von Empa-Forschern um Harald Desing verfasster Artikel [1], der eine Antwort auf die Frage liefert, ob es überhaupt möglich ist, eine Kreislaufwirtschaft ausschliesslich mit erneuerbaren Energien zu betreiben, wenn die Grenzen des Erdsystems und der menschliche Bedarf an chemischer Energie berücksichtigt werden. Eine echte Herausforderung, besonders wenn man – wie es der Artikel tut – bedenkt, dass die Rückgewinnung von Rohstoffen aus Abfallprodukten oft deutlich energieintensiver als das Schürfen und Veredeln von Rohstoffen ist. Und da man ja heute weit davon entfernt ist, die nicht nachhaltige Einweg-Wirtschaft erneuerbar zu betreiben, wird dies bei einer energieintensiveren Kreislaufwirtschaft noch deutlich anspruchsvoller.

Potenziale der erneuerbaren Energien

Im Artikel präsentieren die Forscher eine auf einem ingenieurwissenschaftlichen Ansatz basierende Methode, bei der – unter Berücksichtigung der Unsicherheiten von Parametern und Modellen – Potenziale der erneuerbaren Energien berechnet werden.

Die Methode bezieht sich auf das gesamte Energiesystem der Erde, das von drei erneuerbaren Energieflüssen angetrieben wird: von der Sonneneinstrahlung – auf die sich beispielsweise auch Wind- und Wasserkraft zurückführen lassen –, der Erdwärme sowie den Gezeiten. Dieses Energiesystem wird in einem stationären Modell abgebildet (Bild 1): Das für die Versorgung der Kreislaufwirtschaft nutzbare technische Potenzial wird berechnet, indem vom theoretischen Energiepotenzial der Bedarf des Erdsystems, der Bedarf für die Bereitstellung des chemischen Potenzials und die Verluste der technischen Energieumwandlung abgezogen werden. Da das Modell stationär ist, werden Transitionen im System und Temperaturänderungen (geologische Langzeitveränderungen, astronomische Schwankungen wie erhöhte Sonnenleuchtkraft) nicht berücksichtigt. Wie diese Potenziale geerntet werden sollen, d. h. welche Maschinen, Materialien und Ineffizienzen dazu verwendet bzw. akzeptiert werden, soll in weiteren Studien untersucht werden. Diese hängen allerdings stark von den Technologien und Herstellungsweisen ab, wodurch das praktisch umsetzbare Potenzial in dieser Abhängigkeit kleiner ausfallen wird.

Les débats et les manifestations à propos du climat montrent bien que nous avons pris conscience que notre comportement actuel en matière de consommation ne peut continuer indéfiniment, qu'il n'est pas durable. Dans ce contexte, les conséquences climatiques de notre approvisionnement en énergie sont souvent mises en avant, ce qui exerce une pression sur la politique menant à des tournants et stratégies énergétiques. Naturellement, les mesures de protection du climat sont justifiées, mais elles en éclipsent généralement une autre, tout aussi nécessaire: la gestion durable des matières premières. En effet, autant une économie linéaire reposant sur le renouvelable qu'une économie circulaire alimentée par des ressources fossiles ne peuvent être a priori durables. Ce qu'il nous faut, c'est une économie circulaire fondée sur le renouvelable.

Ce constat fait l'objet d'un article [1] d'Harald Desing, rédigé en collaboration avec d'autres chercheurs de l'Empa. Celui-ci apporte une réponse à la question de savoir s'il est possible d'atteindre une économie circulaire reposant exclusivement sur des énergies renouvelables, tout en tenant compte des limites du système terrestre et de nos besoins en énergie chimique. Un véritable défi, surtout si l'on considère – comme le fait cet article – que la récupération des matières premières à partir de déchets est souvent bien plus énergivore que leur extraction et leur raffinage. Et comme nous sommes loin de pouvoir gérer aujourd'hui de manière renouvelable l'économie non durable basée sur le « jetable après emploi », ce sera encore nettement plus difficile avec une économie circulaire plus gourmande en énergie.

Potentiels des énergies renouvelables

Dans l'article, les chercheurs présentent une méthode basée sur une approche scientifique dans laquelle les potentiels des énergies renouvelables sont calculés, tout en tenant compte des incertitudes des paramètres et des modèles.

La méthode se réfère à l'ensemble du système énergétique de la Terre, alimenté par trois flux d'énergies renouvelables: le rayonnement solaire – auquel peuvent également être attribuées, par exemple, l'énergie éolienne et l'énergie hydraulique –, la géothermie et les marées. Ce système énergétique est représenté dans un modèle stationnaire (figure 1): le potentiel technique qui peut être utilisé pour alimenter l'économie circulaire est calculé en soustrayant du potentiel énergétique théorique les besoins du système terrestre, ceux pour la mise à disposition du potentiel chimique et les pertes liées aux processus de conversion énergétique. Le modèle étant stationnaire, les transitions dans le système et les changements de température (changements géologiques à long terme, fluctuations astronomiques telles que l'augmentation de la luminosité du Soleil) ne sont pas pris en compte. La manière dont ces potentiels doivent être recueillis, c'est-à-dire les machines, les matériaux et les inefficacités utilisés ou acceptés à cette fin, doit être examinée dans le cadre

Erdwärme

Obwohl die Geothermie global eine Randerscheinung ist, kann sie lokal durchaus wichtig sein: Das isländische Nesjavellir-Kraftwerk hat eine Nennleistung von 120 MW elektrisch und 300 MW thermisch.

Énergie géothermique

Bien que la géothermie ne soit exploitée que de manière marginale au niveau mondial, elle peut être très importante au niveau local: la centrale islandaise Nesjavellir dispose d'une puissance nominale électrique de 120 MW et thermique de 300 MW.



Ursprünglich wurden die drei Energieflüsse des theoretischen Potenzials komplett durch das Erdsystem verwendet, u. a. um den Wasserkreislauf anzutreiben. Dann fing der Mensch an, einen gewissen Anteil zu nutzen, um seinen Bedarf an chemischer Energie für Nahrung und Baumaterial (Holz) abzudecken. So lange diese Nutzung die im Empa-Artikel erwähnten «Earth system boundaries», d. h. Erdsystemgrenzen, respektiert, ist die Nutzung nachhaltig. Wird die Belastung für die Erde zu gross, kann es zu irreversiblen Schäden führen.

Die Sache mit den Erdsystemgrenzen ist nicht einfach, denn solche Grenzen können in Bezug auf den Gleichgewichtszustand der Erde nur mit einer grossen Unsicherheit geschätzt werden. Sie beziehen sich auf eine bestimmte Ära, beispielsweise den Holozän, der Zeitspanne von rund 10 000 Jahren, in welcher höhere Zivilisationen entstanden sind. Ein solcher Quantifizierungsversuch wurde mit den Planetary Boundaries unternommen. [2, 3] Um trotz dieser beträchtlichen Unsicherheiten zu einem klaren Ergebnis zu kommen, werden die Energiepotenziale in der Studie mit einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 99% ermittelt. Man ist somit auf der sicheren Seite.

Zur Ermittlung des Potenzials dominieren in der Fachliteratur die drei Ansätze «rein theoretisches Potenzial», «technische Umwandlung und geeignete Standorte» und «unter Berücksichtigung politischer und ökonomischer Vorgaben». Die Autoren der Empa-Studie vertreten eine

d'études complémentaires. Ceux-ci dépendent cependant fortement des technologies et des méthodes de production, ce qui signifie qu'en pratique, le potentiel réalisable sera réduit en conséquence.

À l'origine, les trois flux d'énergie du potentiel théorique étaient utilisés entièrement par le système terrestre, entre autres pour alimenter le cycle de l'eau. Puis l'être humain a commencé à en utiliser une certaine partie afin de couvrir ses besoins en énergie chimique pour l'alimentation et les matériaux de construction (bois). Tant que cette utilisation respecte les « Earth system boundaries » (limites du système terrestre) mentionnées dans l'article de l'Empa, cette utilisation est durable. Si elle devient trop importante pour la Terre, elle peut entraîner des dommages irréversibles.

La question des limites du système terrestre n'est pas aisée, car celles-ci ne peuvent être estimées, relativement à l'état d'équilibre de la Terre, qu'avec un degré élevé d'incertitude. Elles se rapportent à une ère spécifique, par exemple l'Holocène, c'est-à-dire la période d'environ 10 000 ans au cours de laquelle les civilisations supérieures ont vu le jour. Une telle tentative de quantification a été entreprise avec les « Planet Boundaries ». [2, 3] Afin d'arriver à un résultat clair malgré ces incertitudes considérables, les potentiels énergétiques sont déterminés, dans l'étude, avec une probabilité de confiance de 99%, ceci afin de ne pas prendre de risques.

pragmatische Position, die zwischen den beiden letzten Ansätzen liegt: was technisch machbar ist und aus Umweltperspektive verantwortet werden kann.

Das Ergebnis der Studie erstaunt in zweierlei Hinsicht. Einerseits lassen sich nur 0,04 % des theoretischen Energiepotenzials technisch nachhaltig nutzen. Der Rest wird benötigt, um die Stabilität des Erdsystems zu gewährleisten, um die erforderliche chemische Energie zu erzeugen sowie um die Verluste der technischen Umwandlungsprozesse abzudecken. Andererseits kommt die Studie trotz dieser massiven Einschränkung auf global nutzbare technische Potenziale (ATP) von 71 TW, was deutlich über dem aktuellen weltweiten Energiebedarf liegt.

Gemäss dem Artikel liegt das mit Abstand grösste technisch nutzbare Energiepotenzial in der Solarstromproduktion in der Wüste. Dieses Potenzial übertrifft den aktuellen Energieverbrauch um mehr als eine Grössenordnung. Auf Platz zwei steht die Erzeugung von Solarstrom auf bebauten Flächen. Auch hier ist das Potenzial der durchschnittlichen Produktion deutlich höher als der aktuelle Energieverbrauch. Dann folgen – in absteigender Reihenfolge – die Technologien, die es alleine nicht schaffen würden, den aktuellen Bedarf abzudecken: Wasserkraft, Geothermie, Offshore-Windkraft, Onshore-Windkraft, Wälder (Biomasse-Erzeugung). Weit abgeschlagen gesellen sich noch die Meerestechnologien hinzu: die Wellen-, Osmose- und Gezeitenkraftwerke sowie die Nutzung der Wärme von Ozeanen.

Die Studie empfiehlt deshalb primär den Ausbau der PV-Anlagen auf Gebäuden und anderen bereits versiegelten Oberflächen und dann, als Ergänzung, in Wüsten. Die Nutzung der Wüsten ist zwar das grösste, aber nicht nur aus technischer Sicht anspruchsvollste Potenzial. Desing präzisiert: «Wüstenflächen sehen wir als Reserve für einen erhöhten Energiebedarf der Kreislaufwirtschaft an; etwas, das man aktivieren kann, sollten die bereits versiegelten Oberflächen nicht ausreichen.»

Die Nutzung der direkten Sonneneinstrahlung stellt eine direkte Konkurrenz zur natürlichen Landnutzung dar. Würde man beispielsweise Tropenwälder grossflächig roden, um PV-Anlagen aufzustellen, würde dies die planetaren Grenzüberschreitungen erhöhen. Noch grösser wären die Überschreitungen, wenn man aus Urwaldgebiet Anbaugebiete für Agrotreibstoffe machen würde, weil die dramatisch höheren Verluste einen flächenmässig deutlich grösseren Ausbau erfordern würden.

Ein blinder Fleck

Aber wieso fokussiert man sich in der gesellschaftlichen Nachhaltigkeitsdiskussion auf die Energie, ohne die Materialflüsse zu berücksichtigen? Toni Gunzinger, Professor der ETH Zürich und Geschäftsführer der Supercomputing Systems AG, sieht den Grund in der Verschärfung der Situation bei den Brenn- und Treibstoffen. «Bei den fossilen Energieträgern hat man die Low Hanging Fruits schon lange gepflückt, als man in Texas drei Meter in die Tiefe bohren konnte, um auf Öl zu stossen. Damals betrug der Energy Return on Investment (EROI) 100:1. Heute bohrt

Pour déterminer le potentiel, les trois approches « potentiel purement théorique », « conversion technique et sites adéquats » et « prise en considération des directives politiques et économiques » dominant dans la littérature technique. Les auteurs de l'étude de l'Empa adoptent une position pragmatique qui se situe entre les deux dernières approches, c'est-à-dire entre ce qui est techniquement faisable et ce qui peut être justifié d'un point de vue environnemental.

Les résultats de l'étude sont surprenants à deux égards: d'une part, seul 0,04 % du potentiel énergétique théorique peut être utilisé de manière techniquement durable. Le reste est nécessaire pour assurer la stabilité du système terrestre, pour générer l'énergie chimique requise ainsi que pour couvrir les pertes des processus techniques de conversion. D'autre part, malgré cette limitation massive, l'étude aboutit à un potentiel technique utilisable (appropriable technical potential, ATP) global de 71 TW, ce qui est nettement supérieur à la demande énergétique mondiale actuelle.

Selon l'article, le plus grand potentiel énergétique techniquement utilisable se trouve, et de loin, dans la production d'électricité à partir de l'énergie solaire dans le désert. Ce potentiel dépasse la consommation actuelle d'énergie de plus d'un ordre de grandeur. À la deuxième place: la production photovoltaïque sur les surfaces construites. Ici aussi, le potentiel de la production moyenne est nettement supérieur à la consommation actuelle d'énergie. Viennent ensuite, par ordre décroissant, les technologies qui ne seraient pas en mesure de répondre à elles seules aux besoins actuels: l'énergie hydraulique, la géothermie, l'énergie éolienne offshore, l'énergie éolienne onshore et les forêts (production de biomasse). Loin derrière se trouvent les technologies marines: les centrales houlomotrices, osmotiques et marémotrices ainsi que l'utilisation de la chaleur de l'océan.

L'étude recommande donc en premier lieu l'expansion des installations photovoltaïques sur les bâtiments et les autres surfaces déjà construites puis, en complément, dans les déserts. L'utilisation des déserts représente certes le plus grand potentiel, mais aussi le plus exigeant, et pas uniquement du point de vue technique. Harald Desing précise: « Nous considérons les zones désertiques comme une réserve pour les besoins énergétiques accrus de l'économie circulaire; quelque chose qui peut être activé si les surfaces construites ne suffisent pas. »

L'utilisation du rayonnement solaire direct entre en concurrence avec l'utilisation naturelle des terres. Si, par exemple, des forêts tropicales devaient être défrichées sur de grandes surfaces pour installer des systèmes photovoltaïques, cela renforcerait les dépassements des limites planétaires. Ces derniers seraient encore plus importants si les forêts vierges étaient transformées en zones de culture d'agrocarburants, car de bien plus grandes surfaces seraient requises, les pertes étant considérablement plus élevées.

man über 6000 m, um Öl zu finden, (EROI 23:1) oder muss Offshore gehen (EROI 10:1). Oder man nutzt Ölsand (EROI 2:1) – bezüglich CO₂-Emissionen eine Dreckschleuder. Da ist im Vergleich sogar Kohle sauberer.»

Eine andere Begründung für dieses Ungleichgewicht liefert der am Cern forschende und an der ETH Zürich unterrichtende Teilchenphysiker Michael Dittmar, der sich mit Fragen der regionalen und globalen Ressourcenproblematik (Erdöl, Uran...) beschäftigt und die physikalischen Grenzen von «utopischen» Energiequellen und Ansätzen zur Lösung des Energieproblems wie der Kernfusion erforscht. Die Ursache scheine in der Komplexität der Situation zu liegen: «Vermutlich geht es in vielen Diskussionen immer nur um Teilprobleme und noch viel mehr um Vorschläge, wie diese Teilprobleme eventuell von «Lobbygruppen» gelöst werden könnten.» Er plädiert deshalb dafür, dass man eine umfassende Sicht gewinnt und sämtliche Problembereiche diskutiert, wenn man sich mit dem nicht nachhaltigen, sogenannten modernen Leben beschäftigen will. «Wer sich nur auf Teilbereiche konzentriert, wie zum Beispiel die Frage, ob der heutige elektrische Energiebedarf in einem hochentwickelten Industrieland wie der Schweiz mit PV geliefert werden kann, vermeidet die Diskussion über unser heutiges, nicht nachhaltiges menschliches Leben.» Da seien Ideen zu einer Kreislaufwirtschaft zwar wichtig, aber immer noch nicht ausreichend.

Umsetzungsgeschwindigkeit

Für Harald Desing gehen die aktuellen Entwicklungen viel zu langsam und teils in die falsche Richtung: «Eine adäquate Energiepolitik müsste fast alles auf den Ausbau von PV-Anlagen auf der versiegelten Oberfläche setzen. Technologien dafür sind vorhanden, auch wirtschaftlich rentiert sich Sonnenstrom auf dem Dach bereits lange, worauf also warten?»

Anders sieht dies Toni Gunzinger: «Ich schätze, dass weltweit viel mehr umgesetzt wird, als in der Studie angenommen. Es ist ein Schnellzug unterwegs. Laut BP wurden weltweit 2017 350 TWh neue erneuerbare Energien zugebaut: Das bedeutet, dass alle zehn Tage ein erneuerbares Gösgen ans Netz ging. Bezüglich der Schweiz sind wir bei den neuen Erneuerbaren extrem langsam unterwegs: Rang 26 von 28 europäischen Nationen.» Gunzinger vertritt die Bottom-Up-Sicht, die mit der lokalen Situation beginnt, statt der Top-Down-Perspektive der Studie, wobei er die Studie lobt: «Die Desing-Studie macht es umfassender, sie gehen von den Potenzialen aus. Das ist aus wissenschaftlicher Sicht natürlich sinnvoll. Ich bin da kurzfristiger orientiert und schaue, was man jetzt gerade realisieren kann.»

Für Gunzinger ist es wichtig, die örtlichen Bedingungen möglichst optimal zu berücksichtigen. Dabei kann man auch von Nachbarn lernen, denn die Diskrepanz beispielsweise bei der Windkraft zeigt, wo noch Nachholbedarf existiert. «Österreich hat 3000 MW Windkraftanlagen installiert, die Schweiz 75 MW. Man kann nun nicht sagen, Österreich sei topologisch völlig anders als die Schweiz. Wenn man die geografischen Ähnlichkeiten anschaut, ist der Faktor 40 nicht gerechtfertigt. Anders sähe es natürlich

Un angle mort

Mais pourquoi le débat social à propos de la durabilité se concentre-t-il sur l'énergie, sans tenir compte des flux de matériaux? Toni Gunzinger, professeur à l'ETH de Zurich et directeur de Supercomputing Systems AG, en voit la raison dans l'aggravation de la situation relative aux carburants et aux combustibles. «Dans le cas des sources d'énergie fossiles, nous avons depuis longtemps cueilli les fruits qui étaient à notre portée, lorsqu'il était possible de forer à trois mètres de profondeur pour trouver du pétrole au Texas. À l'époque, le taux de retour énergétique (Energy Return on Investment, EROI) était de 100:1. Aujourd'hui, il nous arrive de forer à plus de 6000 m pour trouver du pétrole (EROI 23:1), ou il faut aller en mer (EROI 10:1). Ou alors, on utilise du sable bitumeux (EROI 2:1) – un grand polluant en termes d'émissions de CO₂. En comparaison, même le charbon est encore plus propre.»

Une autre raison est fournie par Michael Dittmar. Ce chercheur en physique des particules au Cern et enseignant à l'ETH de Zurich se consacre aux questions liées à la problématique des ressources régionales et globales (pétrole, uranium, etc.). Il étudie en outre les limites physiques des sources d'énergie «utopiques» et des approches pour résoudre le problème énergétique, comme la fusion nucléaire. La raison semble reposer dans la complexité de la situation: «Probablement que de nombreuses discussions ne portent toujours que sur des problèmes partiels, et encore plus sur des propositions relatives à la manière dont ils pourraient être résolus par des «groupes de pression».» Il plaide donc en faveur d'une vision globale et d'une discussion portant sur l'ensemble des domaines problématiques si l'on veut faire face à notre mode de vie non durable, dit moderne. «Ceux qui ne se concentrent que sur des domaines partiels, comme la question de savoir si les besoins actuels en énergie électrique d'un pays industriel très développé tel que la Suisse peuvent être couverts par le photovoltaïque, évitent la discussion relative à notre mode de vie non durable.» Les idées pour une économie circulaire sont importantes, mais pas encore suffisantes.

Vitesse de mise en œuvre

Pour Harald Desing, les développements actuels vont beaucoup trop lentement et parfois dans la mauvaise direction: «Une politique énergétique adéquate devrait presque tout axer sur l'expansion des systèmes PV sur les surfaces construites. Les technologies sont disponibles et le photovoltaïque en toiture est également rentable économiquement depuis longtemps, alors pourquoi attendre?»

Toni Gunzinger voit les choses différemment: «J'estime qu'il y a beaucoup plus qui est mis en œuvre dans le monde que ce que l'étude présume. Un TGV est en route. Selon BP, 350 TWh de nouvelles énergies renouvelables ont été ajoutés dans le monde en 2017: cela signifie que tous les 10 jours, l'équivalent renouvelable de la production annuelle de la centrale de Gösgen a été ajouté au réseau. En ce qui concerne la Suisse, nous sommes extrêmement lents en matière de développement des nouvelles

beispielsweise mit norddeutschen Bundesländern wie Nordrhein-Westfalen aus, denn da sind die Bedingungen viel vorteilhafter.» Solche Betrachtungen führen dazu, dass bei Gunzinger die Windkraft einen höheren Stellenwert bekommt als bei Desing, wo das Windkraftpotenzial weit hinter dem Solarpotenzial liegt, unter anderem weil Letztere – betrachtet man das gesamte globale Energiesystem – die eintreffende Sonnenenergie effizienter nutzt.

Bezüglich der Umsetzungsgeschwindigkeit teilt Michael Dittmar die Skepsis von Desing: «Leider stieg der CO₂-Gehalt der Atmosphäre global (und es ist ein globales Problem) in den letzten zehn Jahren, und trotz zahlreicher Versprechungen, schneller als in den ersten zehn Jahren dieses Jahrhunderts. Ähnlich ist es praktisch bei allen Aspekten unseres nicht nachhaltigen Lebens.»

Global denken, lokal umsetzen

Aus globaler Perspektive motiviert die Empa-Studie implizit durch ihren ganzheitlichen Ansatz für eine intensivere Auseinandersetzung mit der Idee der Kreislaufwirtschaft, die für Nachhaltigkeit ebenso wichtig ist wie die Energie. Zudem zeigt sie die noch brachliegenden Potenziale bei erneuerbaren Energien auf und hilft so mit, das grosse Bild nicht aus den Augen zu verlieren. Zugleich ist es nötig, die lokale Situation differenziert zu betrachten und nachhalt-

énergies renouvelables: nous occupons le 26^e rang sur 28 nations européennes.» Toni Gunzinger privilégie la perspective ascendante, qui part de la situation locale, plutôt que la perspective descendante adoptée dans l'étude d'Harald Desing, tout en faisant l'éloge de cette dernière: «L'étude est réalisée de manière plus globale, en partant des potentiels. C'est naturellement judicieux d'un point de vue scientifique. Je suis personnellement plus orienté vers le court terme et me consacre à ce qui peut être réalisé maintenant.»

Pour Toni Gunzinger, il est important de tenir compte autant que possible des conditions locales. Ce faisant, on peut aussi apprendre des pays voisins, car les différences, par exemple dans le domaine de l'énergie éolienne, montrent où il serait encore nécessaire de rattraper le retard. «L'Autriche a installé 3000 MW d'éoliennes, la Suisse 75 MW. Or, on ne peut pas dire que l'Autriche soit complètement différente de la Suisse d'un point de vue topologique. Si l'on considère les similitudes géographiques, un facteur 40 n'est pas justifié. Bien sûr, les choses seraient différentes, par exemple, avec les Länder du nord de l'Allemagne, comme la Rhénanie-du-Nord-Westphalie, car les conditions y sont beaucoup plus avantageuses.» Au vu de ces considérations, Toni Gunzinger accorde une plus grande importance à l'énergie éolienne que l'étude



Windenergie

Teil des Windparks in Björkhöjden, Schweden. Die 90 Anlagen des Windparks haben insgesamt eine installierte Leistung von 288 MW.

Énergie éolienne

Une partie du parc éolien de Björkhöjden, en Suède. Ses 90 éoliennes affichent une puissance installée totale de 288 MW.

ger zu gestalten, wobei Vergleiche mit Nachbarländern auf eventuell ausgeblendete Ausbaumöglichkeiten aufmerksam machen. Sinnvollerweise sollen primär lokale Energiequellen genutzt werden. Erst wenn der Ausbau hier an seine Grenzen stösst, bieten sich andere Möglichkeiten wie Solaranlagen in der Wüste an.

Diese gleichzeitige Umsetzung im Rohstoff- und im Energiebereich ist zwar nötig, dürfte aber nicht genügen. Man muss die Perspektive noch weiter öffnen und sich mit unnötigem Energieverbrauch – oder noch grundsätzlicher mit der Nachhaltigkeit des menschlichen Verhaltens – befassen. Und wie man es schafft, nicht nachhaltige Verhaltensweisen zu reduzieren, im Idealfall ohne Einbussen an der Lebensqualität. Michael Dittmar formuliert dies so: «Studien zu wirklich nachhaltigen Systemen und für lange Zeiträume, ohne und mit Menschen, zeigen ein natürliches Kreislaufsystem, dessen Unordnung, die durch jeden Prozess erhöht wird, langfristig direkt und indirekt durch solare Energie geregelt wird. Nur falls sich eine menschliche Ökonomie innerhalb dieses grösseren Ökosystems definiert und entsprechend die Stabilität dieses Ökosystems als zentrale Aufgabe erkennt, kann sie erfolgreich sein.»

Konkret könnte eine solche Ökonomie angestrebt werden, indem man sich am Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft orientiert und den Energieverbrauch in der Schweiz von den heutigen 6 kW pro Person in allen Bereichen – Mobilität, Haushalt und Industrie/Dienstleistungen – deutlich senkt. Gemäss der Empa-Studie steht ein global nutzbares Potenzial von durchschnittlich 2300 W pro Person zur Verfügung – ohne Solarenergie aus den Wüsten. Nimmt man zu dieser lokal erzeugten noch die Wüstenenergie hinzu, kommt man auf 7760 W. Das Potenzial ist also da, nun geht es darum, dieses sinnvoll und mit der nötigen Sorgfalt anzuzapfen.

Referenzen | Références

- [1] Harald Desing, Rolf Widmer, Didier Beloin-Saint-Pierre, Roland Hischier, Patrick Wäger, «Powering a Sustainable and Circular Economy – An Engineering Approach to Estimating Renewable Energy Potentials within Earth System Boundaries», *Energies* 2019, 12, 4723; doi:10.3390/en12244723
- [2] Will Steffen, et al., «Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet», *Science*, 13 Feb 2015.
- [3] Johan Rockström, et al., «Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity», *Ecology and Society*, 14(2), article 32, 2009.



Autor | Auteur

Radomir Novotný ist Chefredaktor Electrosuisse.
Radomir Novotný est rédacteur en chef Electrosuisse.
 → Electrosuisse, 8320 Fehraltorf
 → radomir.novotny@electrosuisse.ch

d'Harald Desing, dans laquelle le potentiel éolien se situe loin derrière le potentiel solaire, entre autres parce que ce dernier – si l'on considère l'ensemble du système énergétique global – utilise plus efficacement l'énergie incidente.

En ce qui concerne la rapidité de la mise en œuvre, Michael Dittmar partage le scepticisme de Desing: «Malheureusement, ces 10 dernières années, la teneur en CO₂ de l'atmosphère a globalement augmenté et ce, malgré de nombreuses promesses, plus rapidement qu'au cours des 10 premières années de ce siècle. Il en va de même dans pratiquement tous les aspects de notre mode de vie non durable.»

Penser globalement, mettre en œuvre localement

D'un point de vue global, l'étude de l'Empa motive, de par son approche holistique, de manière implicite un examen plus approfondi de l'idée d'économie circulaire, qui est tout aussi importante pour la durabilité que l'énergie. En outre, elle montre les potentiels encore inexploités des énergies renouvelables et aide ainsi à garder une vue d'ensemble. En même temps, il est nécessaire de considérer la situation locale de manière différenciée et de la rendre plus durable, les comparaisons avec les pays voisins étant susceptibles d'attirer l'attention sur d'éventuelles possibilités d'expansion ignorées jusqu'ici. Il est aussi judicieux d'utiliser principalement des sources d'énergie locales. Ce n'est que lorsque l'expansion atteindra ici ses limites que d'autres options telles que des centrales solaires dans le désert offriront d'autres possibilités.

Cette mise en œuvre simultanée dans les secteurs des matières premières et de l'énergie est certes essentielle, mais pourrait ne pas être suffisante. Il faut étendre encore davantage la perspective et s'attaquer à la consommation inutile d'énergie – ou, plus fondamentalement, à la durabilité du comportement humain. Mais aussi à la manière de réduire les comportements non durables, idéalement sans impacter la qualité de vie. Michael Dittmar le formule comme suit: «Les études portant sur des systèmes véritablement durables sur de longues périodes, avec ou sans êtres humains, montrent un système circulaire naturel dont le désordre, accru par chaque processus, est régulé à long terme directement et indirectement par l'énergie solaire. Ce n'est que si une économie humaine se définit au sein de cet écosystème à plus grande échelle et reconnaît en conséquence la stabilité de cet écosystème comme une tâche centrale, qu'elle peut réussir.»

Concrètement, une telle économie pourrait être réalisée en poursuivant l'objectif de la «société à 2000 W» et en réduisant considérablement la consommation d'énergie en Suisse, actuellement de 6 kW par personne tous domaines confondus (mobilité, ménages et industrie/services). Selon l'étude de l'Empa, un potentiel global utilisable de 2300 W en moyenne par personne est disponible – sans tenir compte de l'énergie solaire des déserts. Si l'on ajoute l'énergie des déserts à cette énergie produite localement, on atteint 7760 W. Le potentiel est donc là: il s'agit maintenant de l'exploiter judicieusement et avec le soin nécessaire.