

ENERGIEWENDE

Nachhaltige Stromerzeugung

Versorgungssicherheit
Die Transformation

Stromnetz
Schutz vor dem Blackout

Gezeitenkraftwerke
Strom aus dem Meer



Folgen Sie uns:



Daniel Lingenhöhl
E-Mail: lingenhoehl@spektrum.de

Liebe Leserin, lieber Leser,
der Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre steigt ungebremst weiter, und die Menschheit kämpft mit dem Umbau ihrer Energieversorgung. »Sauberer« Strom aus Wasser, Wind und Sonne soll Ökonomie und Ökologie besser in Einklang bringen. Allerdings hat selbst die klimafreundlichste Energiegewinnung ihren Preis: Wasserkraft benötigt Platz und beeinträchtigt Flüsse, gegen viele geplante Standorte für Windräder regt sich offener Protest, weil sie das Landschaftsbild beeinträchtigen oder Arten gefährden. Und wie sichert man eine stete Versorgung oder speichert Strom zwischen? Das sind offene Punkte, die schnell geklärt werden müssen, wenn wir den Klimawandel aufhalten und gleichzeitig Milliarden Menschen den Zugang zu Energie gewährleisten wollen.

Optimistisch grüßt

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 30.08.2021

CHEFREDAKTION: Dr. Daniel Lingenhöhl (v.i.S.d.P.)
REDAKTIONSLEITUNG: Alina Schadwinkel (Digital),
 Hartwig Hanser (Print)
CREATIVE DIRECTOR: Marc Grove
LAYOUT: Oliver Gabriel, Marina Männle
SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.),
 Sigrid Spies, Katharina Werle
BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
REDAKTION: Antje Findekle, Dr. Michaela Maya-Mrschik
VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,
 Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel.: 06221 9126-600,
 Fax: 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,
 USt-IdNr.: DE229038528
GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle
MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.),
 Michaela Knappe (Digital)
LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser,
 Ilona Keith, Tel.: 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer
ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an anzeigen@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2021 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.



SEITE
04

VERSORGUNGSSICHERHEIT
Die Transformation

PETMAL / GETTY IMAGES / ISTOCK



SEITE
15

UMWELT
Der Preis der Digitalisierung

CASARSAGURU / GETTY IMAGES / ISTOCK



KLEINWASSERKRAFTWERKE
Wie umweltfreundlich ist Wasserkraft?

SEITE
38

UNSPLASH / SAMARA DOOLE



MEXIKO
Warum die Ikojts gegen die
Windkraft kämpfen

SEITE
62

CHRISTIAN / STOCK.ADOBE.COM

- 4 VERSORGUNGSSICHERHEIT
Die Transformation
- 09 STROMNETZ
Was vor dem großen Blackout
schützen soll
- 15 UMWELT
Der Preis der Digitalisierung
- 31 MEERESENERGIE
Strom aus dem Meer
- 38 KLEINWASSERKRAFTWERKE
Wie umweltfreundlich ist Wasserkraft?
- 47 ENERGIESPEICHER
Steine sollen Windstrom speichern
- 52 SPRINGERS EINWÜRFE
Neue Energie für Afrika
- 55 INTERESSENKONFLIKTE
Bremsklotz für die Energiewende
- 62 MEXIKO
Warum die Ikojts gegen die
Windkraft kämpfen

VERSORGUNGSSICHERHEIT

DIE TRANSFORMATION

von Denis Dilba

In Deutschland soll Strom einmal nur aus erneuerbarer Energie stammen. Vorher muss sich einiges im Strommarkt und in den Netzen verändern.

Spätestens an Silvester 2022 wird das letzte deutsche Kernkraftwerk abgeschaltet. Bis 2038 soll dann der Ausstieg aus der Kohlekraft folgen. Die Ära der Kohleverstromung könnte sogar deutlich früher enden: Experten des Berliner Think-Tanks Agora Energiewende gehen davon aus, dass der Anteil des Kohlestroms am Energiemix Deutschlands 2030 nur noch zwei Prozent ausmacht – 2010 lag er noch bei 43 Prozent, bis 2020 war er auf 24 Prozent gesunken. Ein Grund: Der CO₂-Preis wird sich laut ihrer Annahme von derzeit 25 Euro pro Tonne CO₂ auf rund 50 Euro im Jahr verdoppeln. Kohlestrom rechnet sich schon heute vielfach nicht mehr.

Und dann? Gehen uns etwa zeitweilig die Lichter aus, wie Kritiker der Energiewende befürchten? Schließlich produzieren Windkraft und Fotovoltaik je nach Wetterbedingungen mal mehr, mal weniger und auch mal fast keinen Strom.

»Wir brauchen natürlich auch mit 100 Prozent erneuerbarem Strom Technologien, die schnell Strom liefern können, wenn es dunkel ist und Flaute herrscht«, sagt Thorsten Lenck von Agora Energiewende. Das könnte man etwa mit Gaskraftwerken schaffen, die anfangs mit Erdgas und später mit grünem Wasserstoff betrieben werden, so der Experte für Strommarktdesign und erneuerbare Energien. »Die Versorgungssicherheit bleibt in jedem Fall gewährleistet.«

Im Idealfall ist ein Strommarkt, der auf erneuerbaren Energien basiert, gegen Stromausfälle sogar besser gewappnet als das heutige System. Diese Zukunft

wäre dezentral: Statt weniger großer Kraftwerke wird es Millionen von kleineren Stromerzeugern geben – die berühmte Fotovoltaikanlage auf dem Dach, kleine und größere Windräder zur Selbstversorgung oder Blockheizkraftwerke für Bürogebäude oder Mehrfamilienhäuser. Die Kunden in diesem Markt werden mehr und mehr zu so genannten »Prosumern«, die Grünstrom sowohl konsumieren als auch selbst produzieren – und ins Netz einspeisen, wenn der Eigenbedarf gedeckt ist. Hört sich gut an. Damit diese Strommarkt-Vision Realität wird, müssen aber noch einige Hürden genommen werden.

Mehr Flexibilitäten

Bisher kannten die Betreiber der großen Kraftwerke die Stromverbrauchsprofile ihrer Kunden und haben die entsprechende Produktionskapazität dafür auf-

»Die Versorgungssicherheit bleibt in jedem Fall gewährleistet«

(Thorsten Lenck, Energieexperte)

gebaut. »In einem Energiesystem mit stark schwankendem Stromangebot dreht sich diese Marktlogik teilweise um«, erklärt Strommarkt-Experte Lenck. Zwar werde man auch in Zukunft einen gewissen Grundverbrauch an Strom haben, der immer gedeckt sein muss, »aber überall dort, wo es möglich ist, werden wir versuchen, den Strom dann zu nutzen, wenn viel davon im Netz ist und er wenig kostet«. Energiemarkt-Experten sprechen hier auch von Flexibilitäten.

Wie die aussehen können, zeigt der Aluminiumhersteller Trimet: Im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten hat das Unternehmen einen steuerbaren Wärmetauscher entwickelt, der die Temperatur im Aluminiumschmelzofen trotz schwankender Energiezufuhr konstant hält. Insgesamt 120 der Öfen hat Trimet in seinem Essener Werk so flexibilisiert. Damit kann der Hersteller über zwei Tage

lang eine Stromenergie von über einer Gigawattstunde puffern – so viel wie ein mittelgroßes Pumpspeicherwerk. »Solche Flexibilitäten können bei entsprechend niedrigen Strompreisen nicht nur lukrativ sein: Indem sie große Mengen Strom dann aufnehmen, wenn viel erneuerbarer Strom im Netz ist, helfen sie auch, Kosten für den Netzausbau oder Speicheroptionen zu vermeiden«, sagt Reinhard Mackensen, Bereichsleiter energiewirtschaftliche Prozessintegration vom Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE in Kassel.

Auch elektrische Wärmepumpen und Elektroautos würden in der Masse künftig als Flexibilitäten wichtig, sagt Lenck. »Wenn viel Strom im Netz ist, laden und heizen wir. Herrscht Stromflaute, können die Elektroautos nicht benötigten Strom ins Netz zurückspeisen, während

die Wärmepumpen einfach eine Pause machen: Wasserwärmespeicher und die gut gedämmte Gebäudemasse als zusätzlicher Wärmespeicher sorgen dafür, dass es auch nach Stunden nicht merklich abkühlt.«

Um noch mehr solcher Flexibilitäten an den Markt zu bringen, sollte die Regierung regulatorisch Anreize setzen, damit der Einsatz wirtschaftlich noch attraktiver wird. Der Agora-Experte ist zuversichtlich, dass sich hier noch einiges bewegen wird: Bei vielen Unternehmen gebe es noch Potenzial, in bestimmten Stunden 15 bis 25 Prozent mehr oder weniger Strom aufzunehmen.

Mehr Intelligenz

Netzbetreiber wissen über den Zustand ihrer Netze oft erstaunlich wenig. Insbesondere die Ortsnetze sind nicht gerade smart, sondern einfach dafür ausgelegt,

mit dem maximal nachgefragten Strombedarf fertigzuwerden. Zusätzliche Informationen aus dem Betrieb melden sie nicht zurück – schlicht deswegen, weil es bisher einfach nicht nötig war. Das wird sich ändern: Die Netzbetreiber müssen Intelligenz in ihre Netze und Prozesse bringen, wenn künftig Millionen von dezentralen Stromerzeugern und Elektroautos mit Produktionsprozessen koordiniert werden sollen, die sich je nach Strommenge und Engpässen im Netz ab- oder zuschalten.

»Der Betrieb unserer Stromnetze hat schon jetzt einen Komplexitätsgrad erreicht, der umfangreiche Assistenzsysteme und Automatisierungsfunktionen erfordert«, sagt Martin Braun, Bereichsleiter Netzplanung und Netzbetrieb am Fraunhofer IEE in Kassel. Die gute Nachricht: Es müssten nicht die gesamten Ortsnetze mit Sensorik nachgerüstet werden. »Mit wenigen echten Messstellen im Netz kann man den Zustand an anderen Stellen mit einer Software auf Basis von künstlicher Intelligenz auch ohne Sensorik recht gut schätzen«, sagt der Wissenschaftler. Mit dem detaillierten Wissen um die Netze und ihre Auslastung sollen

sie deutlich effizienter betrieben werden. »So spart man sich in vielen Fällen einen teuren Netzausbau«, sagt Braun.

Auch der einfache Stromkunde kann künftig von mehr Intelligenz im Strommarkt profitieren. Das norwegische Strom-Start-up Tibber bietet seinen Kunden etwa eine Funktion zum smarten Laden von Elektroautos an. »Dabei gibt der Kunde einfach die gewünschte Abfahrtszeit ein. Unsere Software sorgt dann dafür, dass die Batterie vollautomatisch exakt in den Stunden geladen wird, in denen der Strom am günstigsten ist«, sagt Tibber-Deutschland-Chefin Marion Nöldgen. Bis zu 30 Prozent der jährlichen Stromkosten könne man sparen, sagt sie. Ohne einen intelligenten Stromzähler, der den Stromverbrauch in Echtzeit misst und 100 Euro pro Jahr kostet, funktioniert der Service aber nicht.

Mehr europäische Zusammenarbeit

Industrielle Prozesse, die ihre Leistungsaufnahme flexibel anpassen können, helfen, regionale und nationale Netze selbst dann stabil zu halten, wenn die Stromproduktion der Erneuerbaren stark schwankt. So soll es auch auf europäi-

scher Ebene funktionieren: Um den Strom in großen Mengen über Ländergrenzen hinweg zu verschieben, werden daher künftig noch mehr grenzüberschreitende Leitungen nötig. Die Staaten um Nord- und Ostsee sind schon dabei, sich noch weiter zu vernetzen, damit sie ihren Windstrom besser exportieren können. Seit Dezember 2020 verbindet beispielsweise das 516 Kilometer lange Seekabel NordLink Norwegen mit Deutschland. »Solche länderübergreifenden Ausgleichsmöglichkeiten bringen Sicherheit ins Gesamtsystem«, sagt Fraunhofer-IEE-Experte Martin Braun.

Allerdings: »Wo und wie viele solcher Interkonnektoren künftig noch gebaut werden, sollte gut überlegt werden«, sagt Braun weiter. Es könnte nämlich sein, dass man die eine oder andere der teuren Leitungen, die oft auch mit Akzeptanzproblemen in der Bevölkerung verbunden sind, doch nicht mehr brauche. So ist zum Beispiel noch unklar, wie sich die Wasserstoffnutzung in Deutschland langfristig entwickelt. Davon hänge aber ab, wie viel Überschussstrom später in Wasserstoff gewandelt wird und überhaupt noch zur Verfügung steht, sagt der

Fraunhofer-Forscher. Eine endgültige Antwort steht aus. »Das beste Energieversorgungsszenario für Deutschland ist noch Teil des wissenschaftlichen Suchprozesses«, sagt Braun.

Wie wichtig länderübergreifende Absprachen werden, zeigt eine weitere aktuelle Studie im Auftrag von Agora Energiewende und Agora Verkehrswende: Windparks auf See können sich gegenseitig großflächig den Wind wegnehmen, wenn sie in zu geringem Abstand zueinander stehen. Im Extremfall könne der Stromertrag der Anlagen um ein Viertel und mehr sinken, sagt Lenck: »Da die Offshore-Windkraft zur tragenden Säule der Energieversorgung Europas ausgebaut wird, sollten die Nordsee-Anrainerstaaten ihre Offshore-Windkraftanlagen unbedingt gemeinsam planen.«

Mehr Kreativität

Technisch klappt es problemlos, erneuerbaren Strom per Elektrolyse in grünen Wasserstoff umzuwandeln und ihn bei Bedarf in Gaskraftwerken dann wieder zurückzuverstromen. Wegen der hohen Verluste bei den Wandlungs-

schritten ist der Prozess allerdings sehr teuer. Und das wird auf absehbare Zeit auch so bleiben.

Aber: »Sorgen machen müssen wir uns wegen dieser Kosten nicht«, sagt Strommarkt-Experte Thorsten Lenck. Denn ein erneuerbares Stromsystem sei günstiger als ein konventionelles, wenn man die Folgekosten der CO₂-Emissionen berücksichtige. »Wir können mit den heutigen Technologien in die Zukunft gehen und schaffen so die Energiewende – das Ganze sollten wir aber clever angehen. Denn es gibt bereits heute Technologien für die Versorgungssicherheit, wie bisher ungenutzte Flexibilität bei Unternehmen, die besser und günstiger als wasserstoffbetriebene Gaskraftwerke sind.« Lenck hofft hier auf die Kreativität des Marktes: eine Kreativität, die am besten durch Dezentralität, die Kleinteiligkeit und ein großes Spektrum von Marktteilnehmern entsteht. Dagegen wäre es kontraproduktiv, so Lenck, »wenn der Staat sagt, wir bauen ausschließlich wasserstoffbetriebene Gaskraftwerke. Damit ist der Markt für andere Technologien dann tot.«

Während der kreative Markt einmal macht, könnte der Staat allerdings durchaus sinnvoll helfen. Etwa indem er mit einer »staatlichen Kapazitätsreserve« für Sicherheit sorgt: einer Reserve von Kraftwerken, die die Bundesregierung finanziert, die aber nicht am Strommarkt teilnehmen. Sie würden nur im Fall von unvorhersehbaren und außergewöhnlichen Ereignissen aktiviert werden, etwa nach einem verheerenden Sturm, einem Erdbeben oder anderen Naturkatastrophen.

Die Details des Stromnetzes der Zukunft – wie es die Zeiten überbrückt, in denen die Sonne nicht scheint und der Wind schwach weht – sind nicht festgezurrt. »Wer weiß, vielleicht entwickelt ja auch noch jemand zufällig die Superbatterie«, sagt Lenck. Immerhin könne sich in den kommenden Jahren noch mancher technische Fortschritt ergeben. »Bei der Planung sollten wir auf bekannte Technologien setzen und gleichzeitig die Kreativität des Marktes erhalten.« ↩

(Spektrum.de, 11.03.2021)



STROMNETZ WAS VOR DEM GROSSEN BLACKOUT SCHÜTZEN SOLL

von Ralf Nestler

Wie sensibel das Geflecht ist, das Europa mit Strom versorgt, zeigte ein Zwischenfall im Januar. Wie lassen sich solche Beinahekatastrophen künftig verhindern?

Es ist Nachmittag, exakt um 14:04:25,9 Uhr MEZ, als die verhängnisvolle Kettenreaktion beginnt. Im Umspannwerk Ernestinovo in Kroatien öffnet sich automatisch eine Kupplung zwischen zwei Stromschienen. Zwei 400-Kilovolt-Leitungen, die Strom vom Balkan nach Mitteleuropa liefern, sind damit unterbrochen. Der Strom sucht sich neue Wege, belastet andere Leitungen, überlastet sie. Automatische Schutzschalter reagieren und trennen weitere Verbindungen in Serbien, Rumänien, Kroatien. Kaum eine Minute später, exakt um 14:05:08,6 Uhr MEZ, ist der riesige Verbund des europäischen Übertragungsnetzes in zwei Teile gebrochen.

Dem Teil im Nordwesten fehlt plötzlich die Leistung von rund sieben Großkraftwerken, die Netzfrequenz sackt ab. Im Südosten schieben die Energieerzeu-

ger viel mehr in die Leitungen, als benötigt wird, die Frequenz steigt, jeweils nur um wenige Zehntelhertz. Zügig werden dort Kraftwerke vom Netz genommen. Im Nordteil hingegen versuchen die Netzbetreiber, die Lage in den Griff zu bekommen, indem sie Großabnehmern den Strom abstellen. Wem genau, ist nicht bekannt, mutmaßlich sind es Industriekunden in Frankreich und Italien, die für solche Fälle eine Einwilligung gegeben haben – und dafür bezahlt werden. Schließlich gelingt es, die beiden Teilnetze zu beruhigen. Eine Stunde später werden sie wieder synchronisiert und vereint.

Eine solche Störung, wie sie sich am 8. Januar 2021 ereignete, zeigt: Ein Stromnetz ist höchst sensibel. Kleine Abweichungen oder Fehler, wie die bis heute nicht aufgeklärte Öffnung der Kupplung in Ernestinovo, können sich fortsetzen und verstärken. Im schlimmsten Fall kollabieren Netze, der Strom ist weg. Längst heißt das nicht mehr nur, dass kein Licht mehr leuchtet oder der Wasserkocher kalt

bleibt. Strom ist der Treibstoff des 21. Jahrhunderts. Auch die meisten Heizungsanlagen benötigen ihn, um zu funktionieren, Telefonie und Internetverbindung ebenso wie E-Autos. Und dies sind nur naheliegende Anwendungen in Privathaushalten. Es braucht nicht viel Fantasie, um sich die Folgen eines Blackouts für das öffentliche Leben, für Wirtschaft und Verkehr auszumalen.

Ab wann wird ein Stromnetz instabil? Ein wichtiges Maß dafür ist die Netzfrequenz von 50 Hertz. Angebot und Nachfrage halten sich die Waage. Wird mehr Strom »gezogen«, weil plötzlich Zehntausende ihr E-Auto an die Ladesäule anschließen, sackt die Frequenz ab. Wie bei einer Radfahrerin, die vom Flachland her einen Hügel erreicht, wodurch ihre Trittfrequenz abnimmt. Sie versucht, kräftiger zu treten, doch ist der Berg zu steil, reicht auch das nicht. Um trotzdem noch gleichmäßig zu treten, muss sie einen Gang runterschalten und langsamer fahren. Oder sie steigt entnervt ab.

Ein großer Blackout könnte über Tage andauern

Ähnlich ist es im Stromnetz. In Großkraftwerken drehen Turbinen und Generatoren mit einer bestimmten Drehzahl, so dass Wechselstrom mit 50 Hertz erzeugt wird. Sinkt die Frequenz im Netz, heißt es: »Kräftiger treten!« Es wird mehr Dampf auf die Turbine gegeben, um gegen den Abfall anzukommen. Genügt das nicht, werden binnen einer halben Minute Reservekraftwerke zugeschaltet. Sollte auch das nicht helfen, greift die Strategie »Mach's dir leichter, schalte einen Gang runter«: Einzelnen Großkunden, mit denen entsprechende Verträge bestehen, wird der Strom abgestellt. In der Fachsprache klingt das sogar ein bisschen lustig, »vertraglicher Lastabwurf«, ist es aber nicht. Denn das Netz ist instabil und muss womöglich durch den nächsten Schritt, einen »automatischen Lastabwurf« gerettet werden. Analog zum Absteigen vom Rad werden nun regionale Teilnetze komplett abgeschaltet, um den übergeordneten Verbund zu entlasten und zu erhalten.

»In jedem Fall will man einen großen Blackout verhindern«, sagt Albert Moser

vom Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft an der RWTH Aachen. Denn der Stromausfall bringt neben den gesellschaftlichen Folgen, die in diversen Thrillern zu sehen sind, auch das Problem mit

DAS UMSpannwerk WOLMIRSTEDT | Von hier in Sachsen-Anhalt aus soll eine 580 Kilometer lange Gleichstromtrasse nach Bayern gebaut werden. Mit diesem so genannten SuedOstLink soll das Stromnetz für künftige Herausforderungen ertüchtigt werden.



STEPHAN SCHULZ / DPA-ZENTRALBILD / PICTURE ALLIANCE

sich, das Netz wieder aufbauen zu müssen. »Viele Kraftwerke und auch das Netz brauchen selbst Strom, um zu funktionieren.« Für einen Neubeginn sind so genannte schwarzstartfähige Anlagen nötig, beispielsweise Wasserkraftwerke. »Dort muss, überspitzt formuliert, nur der Hahn aufgedreht werden, um die Turbine zum Laufen zu bringen«, sagt Moser. Schrittweise werden dann einzelne Netzknoten und Kraftwerke wieder zugeschaltet. »Es kann Tage dauern, bis alle wieder Strom haben.« Dieses Szenario gelte es unbedingt zu vermeiden, und es sei wichtig, möglichst frühzeitig einzugreifen, wenn Störungen auftreten.

Mit dem herkömmlichen Energiesystem sei das noch vergleichsweise einfach, erklärt der Forscher. »Ein paar Großkraftwerke lassen sich leichter steuern als viele kleine Erzeuger«, wie sie vor allem durch den Ausbau der erneuerbaren Energien ans Netz gehen. Zudem stellen ihre gewaltigen Turbinen und Generatoren große rotierende Massen dar, die träge auf Veränderungen reagieren. »Dadurch gleichen sie Frequenzschwankungen über einige Sekunden automatisch aus.«

Die Energiewende belastet das Netz zusätzlich

Mit der Energiewende ändert sich das. Kern- und Kohlekraftwerke werden abgeschaltet, stattdessen speisen viele Wind- und Fotovoltaikanlagen ein – mal mehr, mal weniger, je nachdem, wie der Wind weht und die Sonne scheint. Hinzu kommt, dass der Strom mitunter über sehr weite Strecken transportiert wird, um etwa den Bedarf in den Ballungszentren Süddeutschlands mit Windenergie aus dem Norden zu decken. Immer häufiger müssen Netzbetreiber eingreifen und Kraftwerke hoch- oder runterfahren, um mit der so genannten Regelleistung das Netz stabil zu halten.

»Je weniger Großkraftwerke vorhanden sind, die zur Netzstabilisierung beitragen, umso nötiger sind Alternativen«, sagt Moser. In Frage kommen vor allem Batteriespeicher und Gaskraftwerke, die perspektivisch nicht mehr mit fossilem, sondern »grünem« Gas betrieben werden. Damit ist beispielsweise Wasserstoff gemeint, der mittels klimafreundlich erzeugten Stroms aus Wasser gewonnen wurde, oder Biomethan. Technologisch hält der Wissenschaftler dies alles für

machbar. »Ich sehe eher die Gefahr, dass die Politik nicht die nötigen Anreize schafft.« Denn auch die Betreiber eines solchen Gaskraftwerks, das als Lückenfüller gedacht ist, werden nur für den eingespeisten Strom bezahlt, ein Neubau rechne sich damit kaum. »Besser ist es, wenn solche Anlagen zuverlässig finanziert werden, denn wir werden sie dringend brauchen.«

Wie aufwändig es ist, den Stromfluss zu organisieren, schildert Markus Fürst, verantwortlich für die Systemführung beim Übertragungsnetzbetreiber TransnetBW. Waren vor Jahren noch dutzende Umspannwerke mit Personal besetzt, die per Telefon angewiesen wurden, diese oder jene Leitung zu schalten, so erfolgt die Steuerung heute zentral von der TransnetBW-Leitstelle in Wendlingen am Neckar. Die Fachleute versuchen, sich möglichst genau darauf einzustellen, was in den nächsten Stunden und Tagen im Netz passiert. Anhand von Daten der Stromhändler, Wetterdienste und benachbarter Netzbetreiber berechnen Fürst und seine Kollegen vorab, wie stark ihre Leitungen zu welcher Uhrzeit ausgelastet werden und wo vorausschauend

zusätzliche Kraftwerksleistung bestellt oder gedrosselt werden muss, in Fachkreisen Redispatch genannt. Auch unerwartetes Verhalten der Verbraucher führt zu Abweichungen, die ausgeglichen werden müssen.

Neue Trassen für das neue Netz

»An gewöhnlichen Werktagen treffen die Energiehändler die Bedarfsprognosen ziemlich zuverlässig, rund um Feiertage wird es manchmal etwas anspruchsvoller«, sagt Fürst. Herrscht dann noch eine instabile Wetterlage, müssen die Prognosen für Fotovoltaik und Windkraft ständig aktualisiert und im Netz mit Regelleistung nachgesteuert werden. Zudem müssen die Experten Netzausbau und Wartungsarbeiten berücksichtigen, für die Teile des Netzes planmäßig abgeschaltet werden, und unvorhersehbare Störungen. »Bei allem arbeiten wir nach dem (n-1)-Kriterium«, sagt Fürst. Das heißt: Ein Netz aus n Komponenten darf selbst dann nicht zusammenbrechen, wenn es nur noch mit einer Komponente weniger läuft – etwa weil ein wichtiges Element, wie eine Leitung, plötzlich ausgefallen ist.

Eine geschickte Steuerung, Kraftwerksreserven und Batterien allein genügen aber nicht. Auch die Netze selbst müssen erheblich ausgebaut werden, um mit der steigenden Zahl an Einspeisern und Verbrauchern mithalten zu können, sagt Jutta Hanson vom Fachgebiet Elektrische Energieversorgung unter Einsatz erneuerbarer Energien an der TU Darmstadt. »Vereinfacht gesagt: Es nützt nichts, wenn ich eine Solaranlage auf dem Dach habe, aber die Batterie beim Nachbarn steht, denn dann muss ich das Netz trotzdem belasten.« Jedes Kabel könne nur eine bestimmte Menge an Energie transportieren, daher müsse ausgebaut werden – auf allen Ebenen, vom Höchstspannungsnetz bis zu den regionalen Verteilnetzen.

Hanson vergleicht das mit dem Verkehr. Um viel Windstrom von Norden nach Süden zu bringen, werden aktuell neue Leitungen gebaut, »Stromautobahnen«. Das hohe Verkehrsaufkommen muss aber auch in der Fläche verteilt werden, über Landstraßen. Und diese sollten genug Kapazitäten haben, falls eine Stromautobahn ausfällt und »gesperrt« werden muss.

Wo der Ausbau am dringendsten ist, haben die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber im Netzentwicklungsplan aufgeführt, dessen erster Entwurf Ende Januar veröffentlicht wurde. Er beschreibt keine konkreten Trassenverläufe, sondern verzeichnet den Übertragungsbedarf zwischen Netzknoten. Das heißt, es werden lediglich Anfangs- und Endpunkte von zukünftigen Leitungsverbindungen definiert.

Wo dann genau die Baufahrzeuge rollen, muss also noch geklärt werden. Jutta Hanson drängt darauf, dabei die Bevölkerung stärker einzubeziehen und für Akzeptanz zu werben. »Viele wollen Klimaschutz, aber nicht eine 380-Kilovolt-Freileitung hinter ihrem Garten.«

Zwangspausen für Abnehmer und Produzenten?

Und noch auf eine andere Weise dürften Bürgerinnen und Bürger mit der Sicherheit des Stromnetzes konfrontiert werden. Zu Jahresbeginn 2021 kursierte ein Gesetzentwurf, der vorsah, dass neue Anschlüsse wie E-Auto-Ladesäulen, Wärmepumpen und Stromspeicher zeitweise im Verbrauch gesenkt werden können

oder sogar die Versorgung unterbrochen werden kann. So sollten Belastungsspitzen vermieden werden. Obwohl ein finanzieller Ausgleich vorgesehen war, gab es viel Kritik, und Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier zog den Entwurf schließlich zurück. Vorerst.

Viele Fachleute empfehlen, die Möglichkeiten eines »Smart Grid« zu nutzen und Verbraucher – mittels Geld – zu animieren, verkraftbare Pausen hinzunehmen. Genau wie die Einspeiser, die ebenfalls bisweilen pausieren müssen, um eine Überlastung zu verhindern. Im Fall der Erneuerbaren gelangen auf Grund dieser so genannten Abregelung derzeit rund drei Prozent weniger Energie in die Netze, als die Erzeuger einzuspeisen in der Lage wären. Dank Digitalisierung soll diese Quote gleich bleibend niedrig gehalten werden, obwohl das Stromsystem immer komplexer wird. »Besonders die Verteilnetze müssen weitreichender automatisiert werden, um die wachsende Menge an variabler Erzeugung aus Erneuerbare-Energie-Anlagen effizient zu integrieren«, heißt es in der Stellungnahme »Resilienz digitaler Energiesysteme«. Sie wurde heute vom Akademieprojekt

ESYS (Energiesysteme der Zukunft) veröffentlicht.

Digitale Netze schaffen neue Verwundbarkeiten

Darin warnen die Autorinnen und Autoren zugleich vor einer neuen Verwundbarkeit des Netzes »durch Lücken in der Cybersicherheit, fehlerhafte Software oder deren fehlerhafte Nutzung«. Der Hackerangriff, der im Dezember 2015 in der Ukraine einen Stromausfall herbeiführte, mache deutlich, welche Gefahren lauern, wenn die Netze vor allem durch Computer gesteuert werden. Diese neuen Bedrohungen müssten unbedingt bedacht und entsprechend vorgesorgt werden.

Die bereits bekannten Gefahren bestehen natürlich weiterhin. Sie reichen von Naturkatastrophen über Terrorakte und Pandemien, die zu Personalengpässen führen können, bis hin zu Sonnenstürmen. Dabei schleudert die Sonne massenhaft geladene Teilchen auf die Erde. Treffen diese hier auf die elektrische Infrastruktur am Boden, können sie darin Ströme induzieren, die wiederum Transformatoren in Stromnetzen zerstören können.

Der bisher stärkste beobachtete Sonnensturm traf die Erde im Jahr 1859. Damals erleuchteten Polarlichter die Nacht taghell, und die Telegrafie wurde empfindlich gestört. Im heutigen Strom- und Kommunikationsnetz wären die Folgen weitaus dramatischer.

Für verschiedenste solche Bedrohungen sorgen die Netzbetreiber vor. »Ein vollständiger Schutz vor allen Gefahren ist aber illusorisch«, sagt Albert Moser und vergleicht das Vorgehen mit dem Bau eines Deichs. Den baue man eben genau so hoch, dass er den meisten Hochwassern standhält. »Wenn es zu einem extrem seltenen Ereignis wie einer Jahrhundertflut kommt, reicht der Deich nicht mehr aus. Damit muss man dann leben.«

Mit den gewöhnlichen Belastungen hingegen scheinen die Betreiber klarzukommen. Pro Jahr ist jeder Verbraucher im Schnitt 10 bis 15 Minuten ohne Strom. Dieser Wert ist seit gut zehn Jahren gleich bleibend. ↶

(Spektrum.de, 05.02.2021)



UMWELT

DER PREIS DER DIGITALISIERUNG

von Anne-Cécile Orgerie und Laurent Lefèvre

Im Internet surfen, eine App nutzen, einen Film streamen, per Video chatten. All das erscheint vielen von uns selbstverständlich – doch die zunehmende Vernetzung hat drastische Folgen für die Umwelt.

Mit der Covid-19-Pandemie hat Homeoffice in vielen Unternehmen an Bedeutung gewonnen. Das Verkehrsaufkommen hat sich teils deutlich reduziert, zudem werden Büros nicht genutzt, was Heizung und Strom spart. Aber ist Heimarbeit und die damit verbundene massive Nutzung des Internets für die Umwelt wirklich von Vorteil? Um das zu beantworten, muss man wissen, welche ökologischen Auswirkungen die digitale Technologie hat – und wie man diese reduzieren kann. Doch leider sind solche Abschätzungen extrem kompliziert, gerade wenn man ein so komplexes und vernetztes System untersuchen möchte.

Das Internet ist seit rund 30 Jahren der Öffentlichkeit zugänglich. Inzwischen ist es für etwa 4,6 Milliarden Nutzer ein oft unverzichtbares Werkzeug. Der Erfolg hat zu einer schnellen Weiterentwicklung

Anne-Cécile Orgerie ist Wissenschaftlerin am Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires in Rennes. **Laurent Lefèvre** ist Forscher am Laboratoire de l'informatique du parallélisme an der École normale supérieure de Lyon.

des World Wide Webs geführt. E-Mails, Instant Messenger, Suchmaschinen, soziale Netzwerke, Cloud-Speicher, Streamingdienste: Immer mehr Bereiche des täglichen Lebens verlagern sich online.

Auch die Struktur des Internets hat sich im Lauf der Zeit gewandelt, sie ist gewachsen und wurde komplexer, um der erhöhten Nachfrage gerecht zu werden. Die damit einhergehende Technologie verbraucht allerdings erhebliche Mengen an Energie und Ressourcen – eine Tatsache, die viele Nutzer häufig vergessen.

Dabei leben wir in einer Zeit, in der die ersten Auswirkungen des Klimawandels spürbar sind. Gerade in Industrienationen entwickeln Regierungen gemeinsam mit Wissenschaftlern Maßnahmen, um die Umwelt zu schützen. Doch bisher ist kaum untersucht, welche Folgen die fortschreitende Digitalisierung mit sich bringt. Die wenigen Studien deuten darauf hin, dass diese Besorgnis erregend sind – sei es bezüglich des Verbrauchs von Energie, Rohstoffen oder angesichts des CO₂-Fußabdrucks. Handfeste Zahlen zu nennen, fällt aber schwer: Die bisherigen Ergebnisse weichen teilweise stark voneinander ab.

AUF EINEN BLICK

Ökobilanz der Vernetzung

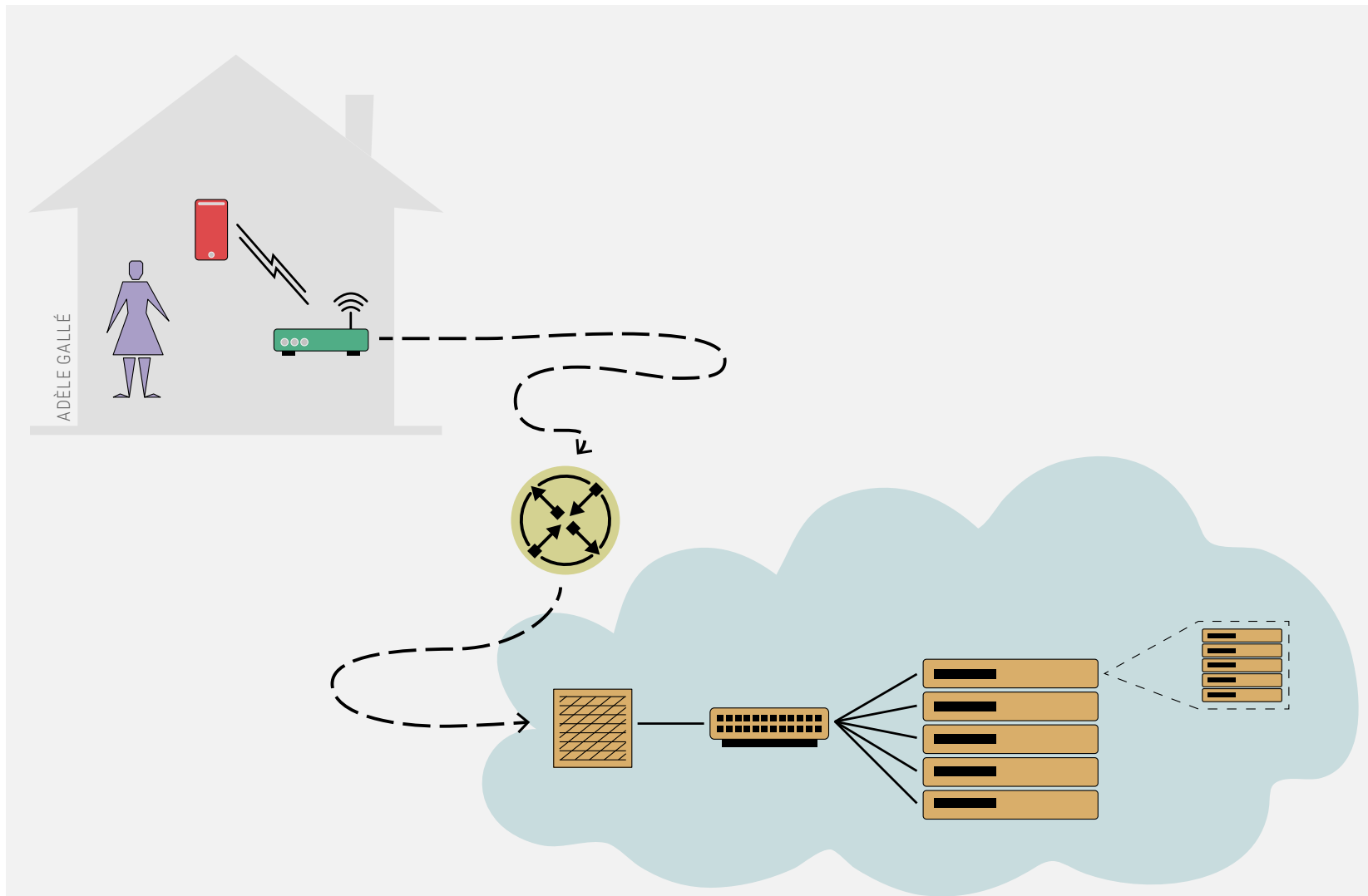
01 Das Internet besteht aus einer komplizierten Architektur weltweit verteilter Netzwerke, die zu Rechenzentren mit zahlreichen Servern führen.

02 Die zunehmende Digitalisierung hat erhebliche Folgen für die Umwelt. Das genaue Ausmaß lässt sich allerdings erst allmählich abschätzen.

03 Inzwischen entwickeln Experten vermehrt Ansätze, um den Energieverbrauch zu reduzieren und die Benutzer über die wahren Kosten der von ihnen verwendeten Geräte zu informieren.

In einer 2014 erschienenen Metastudie nahmen sich Vlad Coroamă von der Technischen Universität Lissabon und Lorenz Hilty von der Universität Zürich alle veröffentlichten Artikel über die Energiekosten des Internets der vergangenen zehn Jahre vor. Dabei fanden sie in den Schätzungen Unterschiede von bis zu vier Größenordnungen. Das hat mehrere Gründe: Unsicherheiten in den Messungen, die Näherungen der genutzten Modelle sowie der Umfang der Auswertungen. Je nachdem, ob die Forscher beispielsweise den Einfluss digitaler Endgeräte berücksichtigten oder nicht, variierten ihre Resultate erheblich. Deshalb ist es so schwierig, zu ermitteln, ob Homeoffice insgesamt der Umwelt zugutekommt – oder zu bestimmen, ob eine Internetabfrage genauso viel Energie verbraucht wie ein Wasserkocher in zehn Minuten oder in drei Stunden.

In den letzten Jahren haben sich zahlreiche Wissenschaftler, darunter auch wir, diesem komplexen Thema vermehrt angenommen. Dazu haben wir die vernetzten Systeme und technischen Geräte, aus denen das Internet besteht, separat analysiert. Unser Ziel ist es, den Energie-



Eine Google-Suche

Eine Suchmaschinenanfrage erfordert viel Energie. Die am Prozess beteiligte Hardware verbraucht Strom: das Smartphone, der Router sowie die Geräte im Rechenzentrum. All das wird nochmals beansprucht, wenn die Suchergebnisse ausgegeben werden. Zudem mobilisiert eine Suche auch Anwendungen und Softwareprotokolle in jedem der beteiligten Geräte. Im Rechenzentrum verarbeiten mehrere Server gleichzeitig die Ergebnisse, um den Prozess zu beschleunigen. Bei manchen Suchmaschinen sind bereits bei der Eingabe zahlreiche Geräte aktiv, wenn sie etwa Stichworte vorschlagen. Darüber hinaus nutzen viele Websites weitere Dienste wie personalisierte Werbung, Benutzerauthentifizierung oder die Anzeige von Echtzeitinformationen.

verbrauch jedes einzelnen Moduls zu spezifizieren und Ansätze zu finden, um diesen so niedrig wie möglich zu halten. Bis wir das schaffen, steht uns zwar noch Arbeit bevor, aber einige Fortschritte konnten wir bereits erzielen.

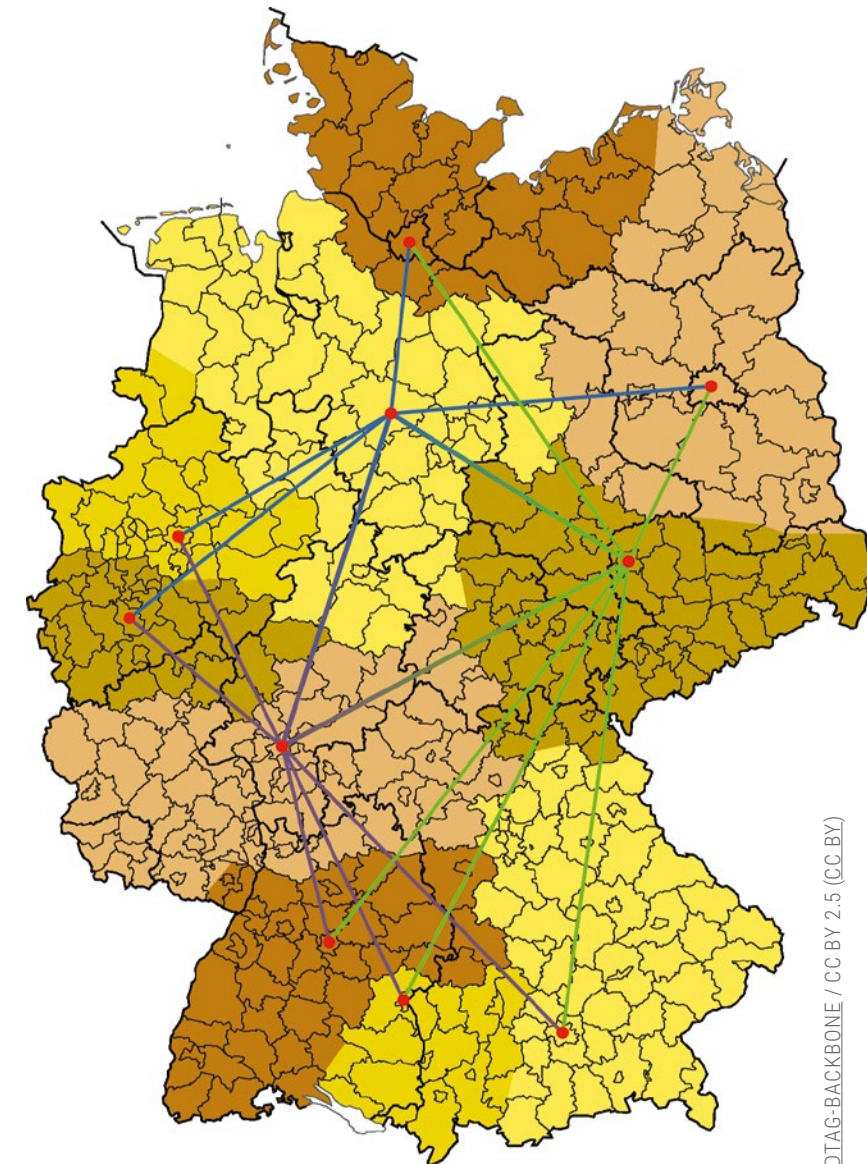
2015 veröffentlichte das internationale Forschungsprojekt »GreenTouch« eine Arbeit, wonach sich eine globale Internet-Infrastruktur aufbauen ließe, die den Energieverbrauch im Jahr 2020 verglichen mit 2010 um 98 Prozent senken würde – selbst unter Berücksichtigung des wachsenden Datenverkehrs und bei gleicher Qualität. Würde man die Vorschläge in Nordamerika, Europa und Japan umsetzen, entspräche die dadurch eingesparte Energie in der Kohlenstoffbilanz den Treibhausgasemissionen von 5,8 Millionen Autos. Das würde allerdings zahlreiche strukturelle und technologische Veränderungen erfordern.

Woraus besteht eigentlich das Internet?

Für solche Abschätzungen muss man zunächst herausfinden, welche Hard- und Softwaresysteme am Internet beteiligt sind, wie sie genutzt werden und wie viel Strom und andere Rohstoffe ihre Ver-

Das Internet ist ein Netzwerk von Netzwerken, das Millionen unabhängiger Einheiten (Providernetzwerke, Firmennetzwerke, Universitätsnetzwerke, Regierungsnetzwerke und so weiter) miteinander verbindet, um Daten zu transportieren. Damit besitzt jeder Nutzer grundsätzlich einen diskriminierungsfreien Zugang zu Informationen. Dieses Prinzip der Netzneutralität garantiert die Gleichbehandlung aller Datenströme im Internet, ohne nach Absendern, Empfängern oder Inhalten zu unterscheiden. Die Informationen wandern also zwischen den verschiedenen Netzwerken hin und her, bis sie ihr Ziel erreichen. Diese Daten können in vielen Formaten auftreten: Zum Beispiel als Website, E-Mail, Video, Bild oder Sprachnachricht. Quer durch das Land verteilte Datenzentren verarbeiten und speichern sie. Dabei ist es möglich, dass eine Website mehrere Rechenzentren in Anspruch nimmt, um all ihre Inhalte auf dem Endgerät des Kunden anzuzeigen: Werbung, Klickzähler, verbundene Freunde, Echtzeitinformationen von Aktien, Stadtverkehr, Wetter und so weiter.

Das zu Grunde liegende Netzwerk des Internets enthält einen Kernbereich, den so genannten Backbone, der aus schnell übertragenden Glasfaserkabeln besteht. In Deutschland bildet das DTAG-IPnet von der Deutschen Telekom den Backbone, mit insgesamt 74 Knotenpunkten, von denen zehn eine besonders schnelle Übertragungsrate besitzen (siehe oben). Meist sind es Kupferleitungen von Telefon- und Fernsehanschlüssen, welche die Daten anschließend in die privaten Haushalte übertragen. Die Knotenpunkte verbinden verschiedene Teile des Internet-Backbones durch Router und Switches miteinander. Der größte deutsche Austauschpunkt befindet sich in Frankfurt am Main, wo mehr als 100 Netzwerke zusammenlaufen.



Ressourcenverbrauch digitaler Geräte

Heterogene Materialien mit Folgen

Jede Phase im Leben eines Geräts hat Auswirkungen auf die Umwelt.

Für die Herstellung elektronischer Geräte benötigt man Rohstoffe, Chemikalien, Montageanlagen und vieles mehr. Und schon vorher brauchte es Ressourcen, um sie zu entwickeln. Für eine Umweltbilanz muss man daher den Umfang der Betrachtungen definieren:
Das Gerät: Schließt man etwa weitere Systeme, auf denen es basiert, mit ein?

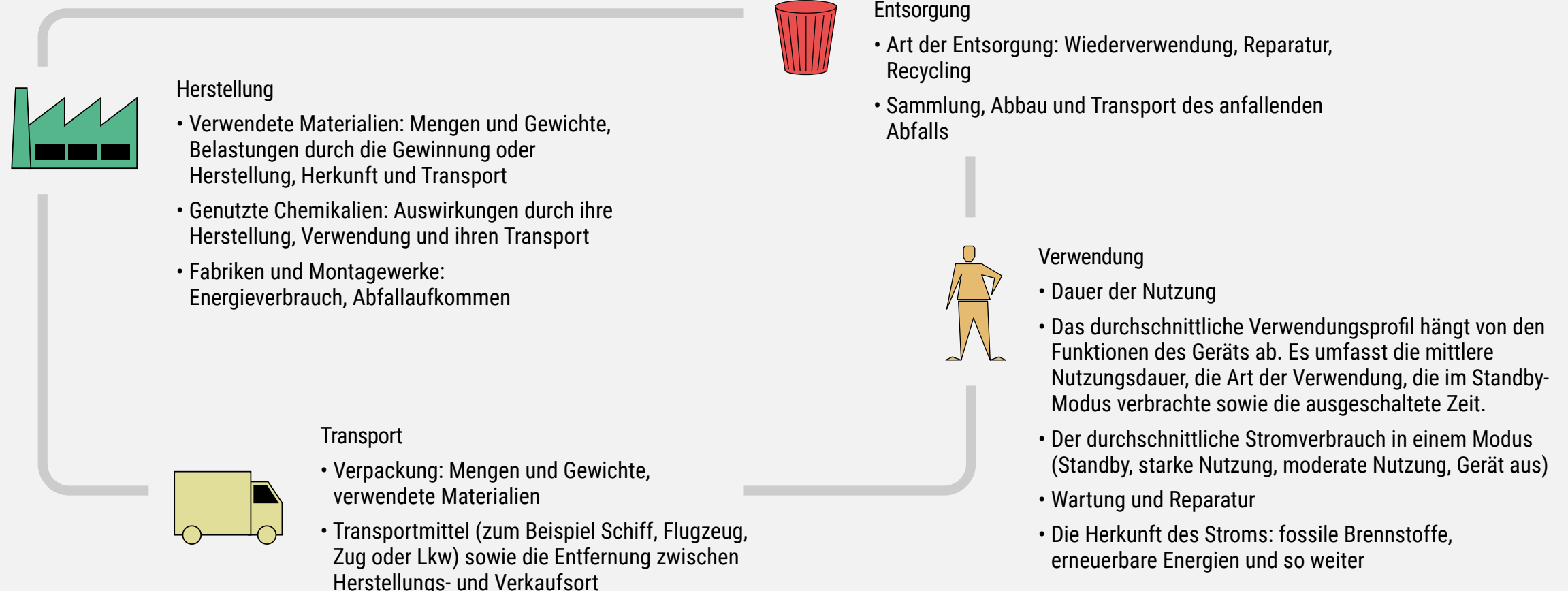
Die Verwendung: Das gleiche Bildschirmmodell könnte etwa in Zügen verbaut oder in einem Büro genutzt werden.

Die untersuchten Ressourcen: Energie- oder Wasserverbrauch, die CO₂-Belastung, der Rohstoffeinsatz und so weiter.

Unter Treibhausgasemissionen fasst man alle Treibhausgase zusammen, die für den Lebenszyklus eines Geräts emittiert werden. Diesen Indikator drückt man häufig in CO₂-Äquivalent (CO₂-eq) aus. Für andere

Heterogene Materialien mit Folgen

Jede Phase im Leben eines Geräts hat Auswirkungen auf die Umwelt.



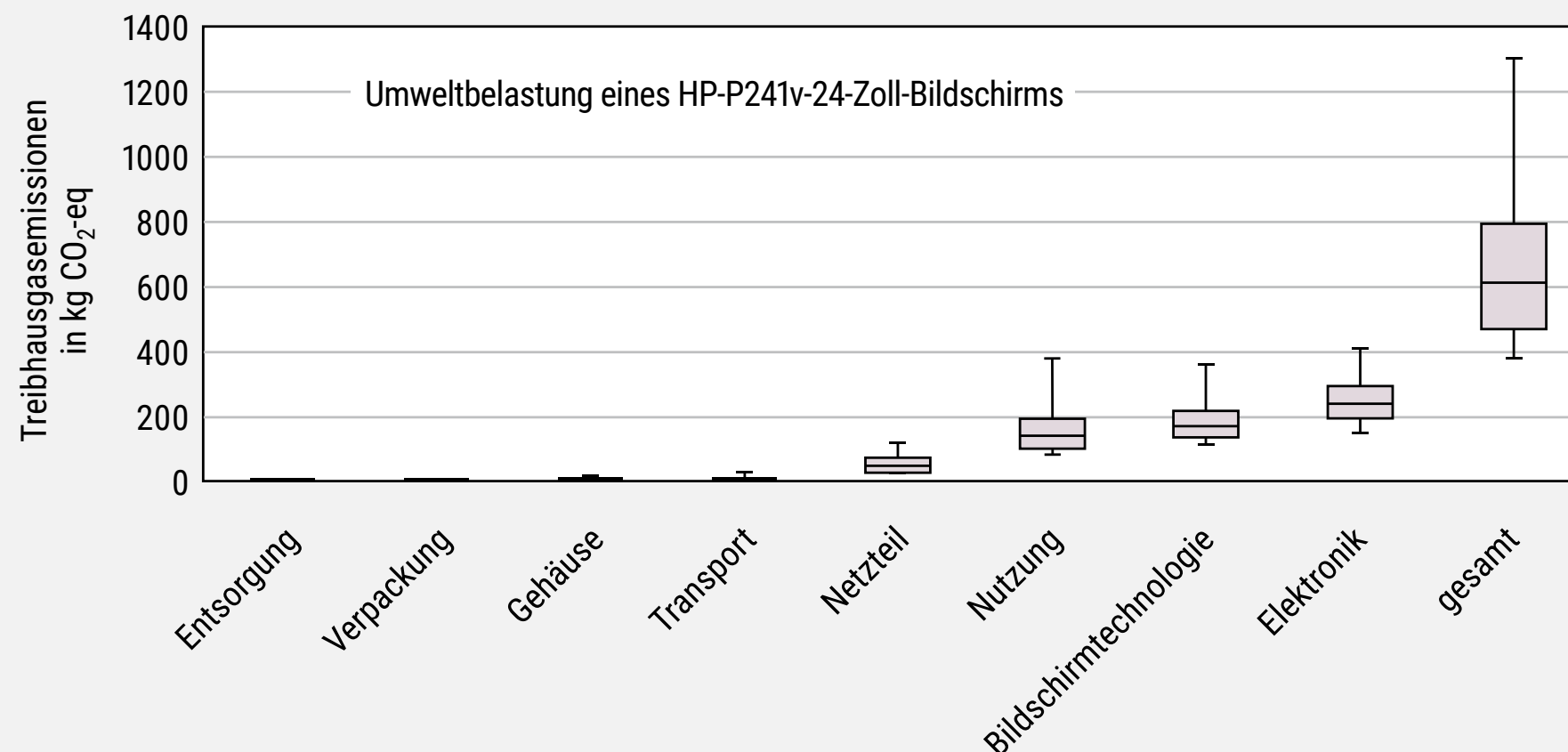
Treibhausgase stellt er die Menge an CO₂ dar, die ebenso viel Sonnenwärme zurückhalten würde.

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) hat standardisierte Richtlinien, um den Lebenszyklus technischer Geräte zu untersuchen. Sie unterscheidet dabei zwischen Herstellung, Transport, Nutzung und Entsorgung.

Um die Umweltbelastung der Phasen zu bestimmen, nennt ISO viele komplexe Parameter – doch einige lassen sich weder messen, noch berechnen noch abschätzen. Man muss den Betrachtungsumfang für jede Studie genau spezifizieren, da die Ergebnisse stark davon abhängen. Etwa unterscheiden sich die Treibhausgasemissionen eines Ge-

räts, wenn man es per Schiff oder Flugzeug transportiert. Nur wenige Unternehmen geben überhaupt Daten zur Ökobilanz an, und noch seltener nennen sie die Unsicherheiten dieser Werte. Dabei können diese beträchtlich sein: Der Fußabdruck eines 24-Zoll-HP-Displays mit einer fünfjährigen Nutzungsdauer beträgt durchschnittlich 655 Kilogramm CO₂-eq; das Ergebnis kann aber von 370 bis 1310 Kilogramm CO₂-eq schwanken.

CO₂-eq ist eine nützliche Größe, um die Umweltbelastung technischer Geräte zu beurteilen. Aber es ist nur ein Indikator unter vielen. Er gibt etwa keinen Aufschluss über den Verbrauch der Rohstoffe, die man bei der Herstellung benötigt, oder über den Platzbedarf anderer Systeme, die am Betrieb beteiligt sind.



iPad: Der überwältigende Einfluss der Herstellung

Die Nutzungsphase eines Geräts ist bei Weitem nicht die am meisten belastende. Betrachtet man die Treibhausgasemissionen, die mit den verschiedenen Phasen eines Lebenszyklus von Apple-Tablets (iPads) verbunden sind, lässt sich erkennen, wie man die Umweltauswirkungen der Geräte begrenzen kann.

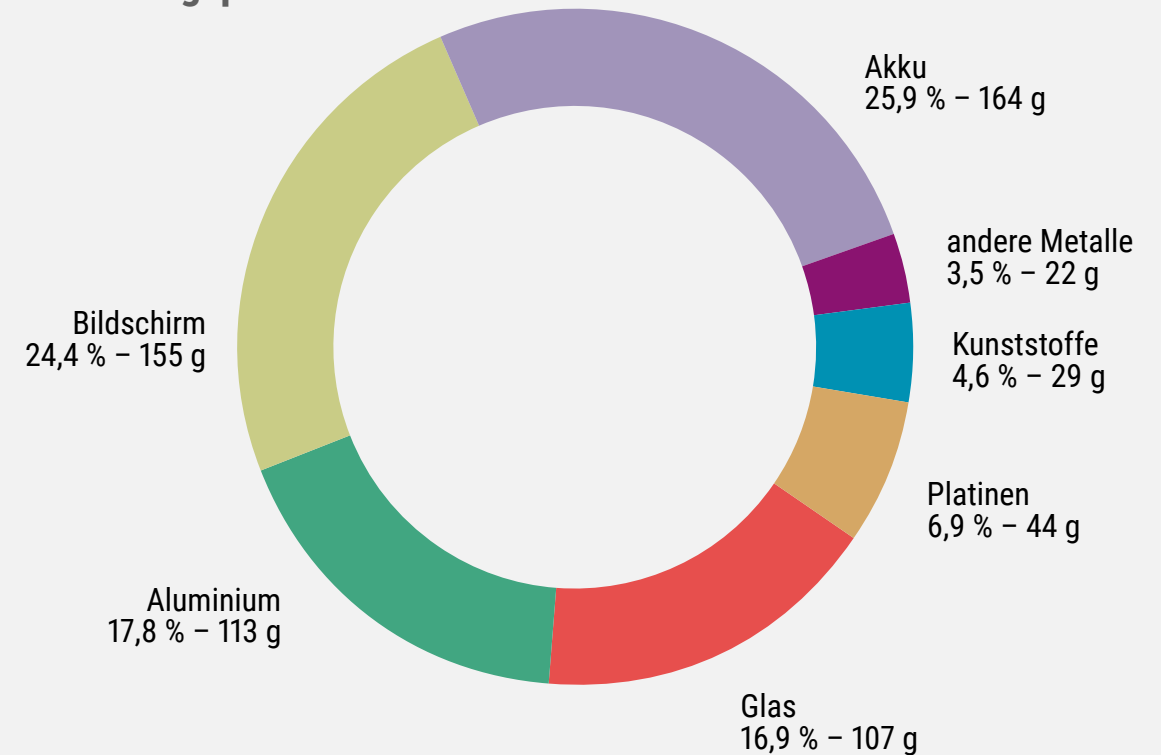
Unten sind die von Apple angegebenen Daten für iPads verschiedener Generationen zusammengefasst. Der Transport macht dabei zwischen drei und elf Prozent der Gesamtemissionen aus, während ihre Nutzung hingegen vor allem von der Dauer (Apple setzt drei Jahre an) und der verwendeten Stromquelle abhängt. Bei den untersuchten Tablets entfallen bloß zwischen 6 und 14 Prozent der Treibhausgasemissionen auf die Verwendung, während die Herstellungsphase 79 bis 88 Prozent ausmacht. Daher ist es entscheidend, die Geräte so lange wie möglich zu nutzen. Auch wenn die aktuellste Version energieeffizienter ist, überwiegen die Umweltbelastungen der Konstruktionsphase. Aus ökologischer Sicht sollte man also das alte Modell behalten, statt ein neues zu erwerben.

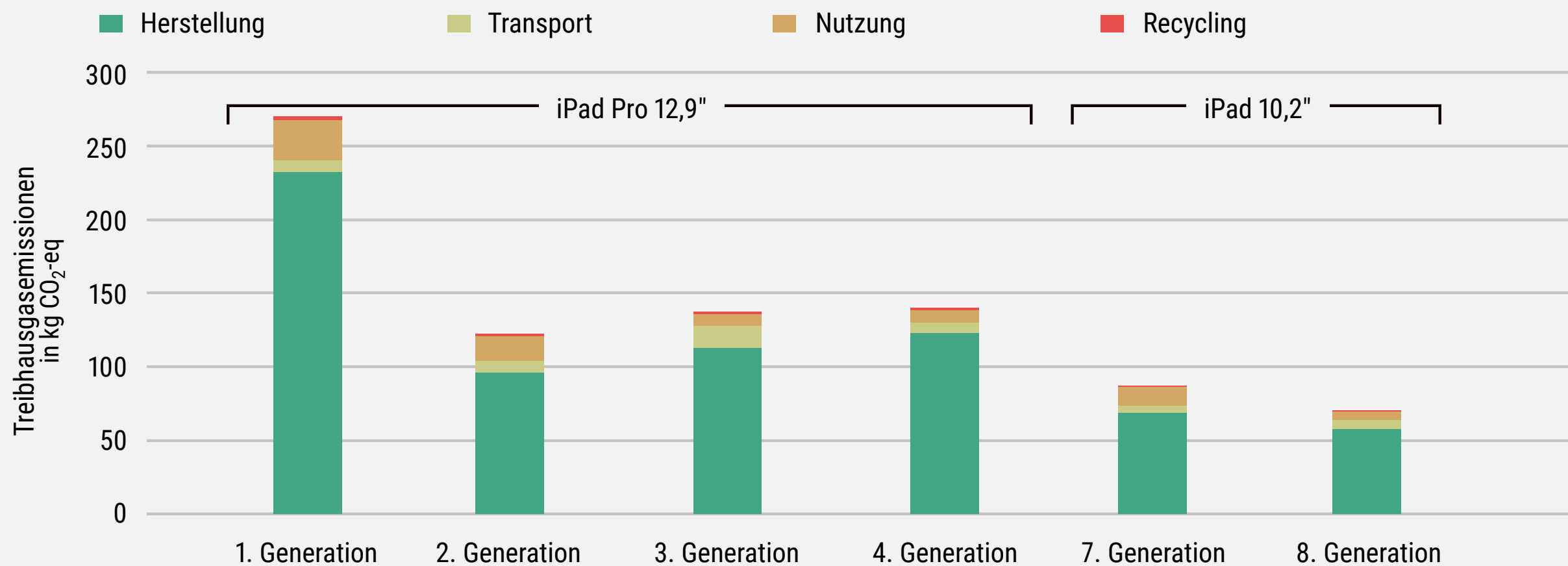
Zudem benötigen Geräte mit kleinerem Bildschirm weniger Material und haben damit geringere Energiekosten. Dennoch kann sich der ökologische Fußabdruck bei gleichem Display sogar halbieren, wie man an der ersten Generation des iPad Pro vom September 2015 und der zweiten Generation vom Juni 2017 sieht.

Viele Hersteller bemühen sich, die Umweltbelastungen ihrer Geräte zu reduzieren. Allerdings handelt es sich meist nicht um das wichtigste Kriterium, das sie bei technologischen Entscheidungen berücksichtigen, wie der Anstieg der Treibhausgasemissionen zwischen der zweiten Generation des iPad Pro und dem Modell von Oktober 2018 (dritte Generation) verdeutlicht.

Der hohe Anteil des Fußabdrucks beim Herstellungsprozess ist vor allem auf die Materialien zurückzuführen, die man beim Bau der Geräte benötigt. In einem iPad kommen zahlreiche chemische Elemente vor: Aluminium, Kohlenstoff, Sauerstoff, Eisen, Kupfer, Silizium, Kobalt, Wasserstoff, Chrom, Nickel, Zink, Lithium, Magnesium, Zinn – um nur die wichtigsten zu nennen. Einige treten zwar nur in extrem geringen Mengen auf, dennoch können sie wegen ihrer Seltenheit, der Schwierigkeit, sie zu extrahieren, ihrem geopolitischen Vorkommen oder der Komplexität, sie zu recyceln, erhebliche ökologische Auswirkungen haben. Darüber hinaus nutzen die Hersteller einige chemische Verbindungen nur während der Rohstoffgewinnung oder in der Montagephase, ohne dass sie in den Endgeräten auftreten. Wegen des Betriebsgeheimnisses und der komplexen Verflechtung der Materialien in den Geräten ist es schwierig, Daten zur Ressourcennutzung zu erhalten. Daher spiegeln weder die Treibhausgasemissionen noch das Gewicht der verwendeten Stoffe die tatsächliche Belastung wider.

Herstellungsprozess





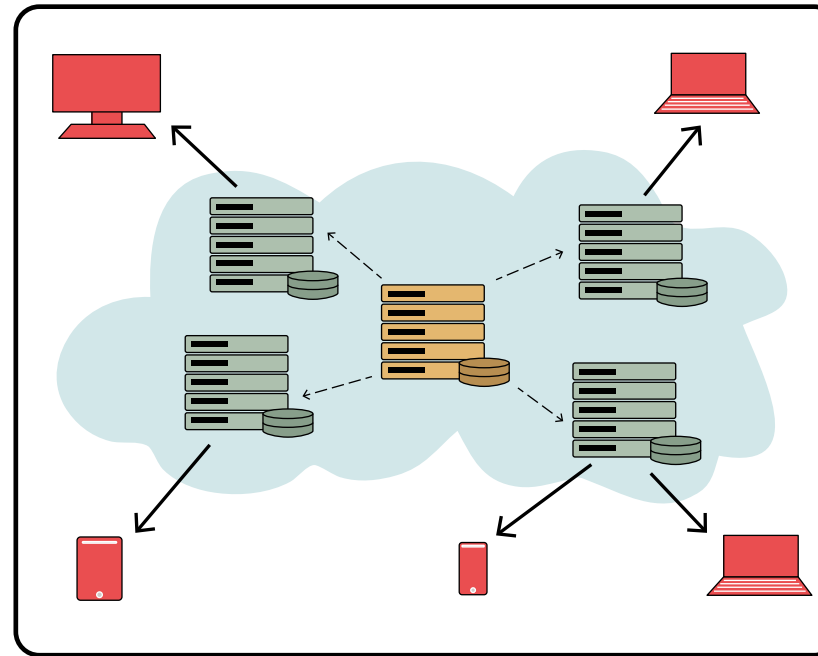
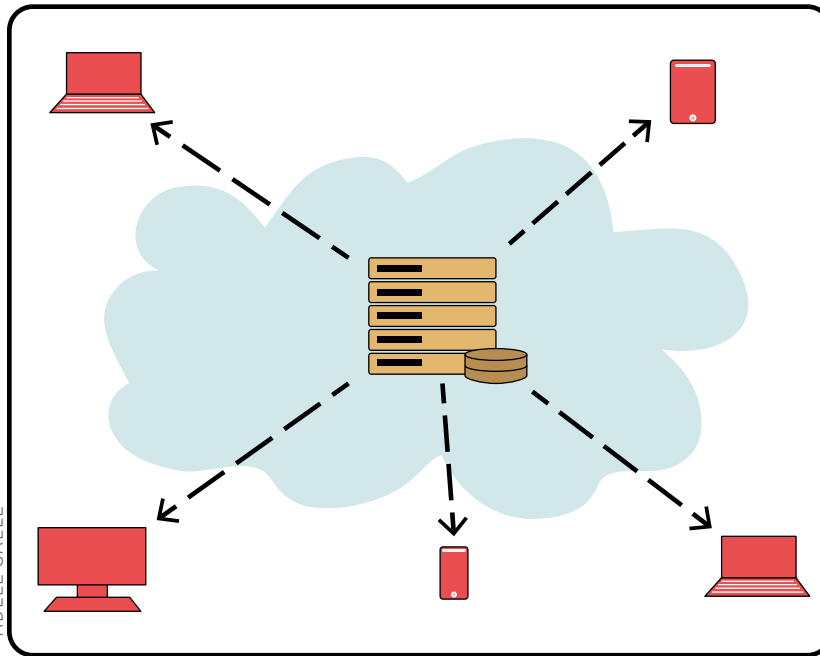
POUR LA SCIENCE, NACH: APPLE IPAD ENVIRONMENTAL REPORT 2017 / POUR LA SCIENCE DEZEMBER 2020

wendung erfordert. Wenn man zum Beispiel einen Begriff googelt, mobilisiert das sowohl physische (Hardware) als auch virtuelle (Software) Strukturen. Erstere umfasst das Endgerät, auf dem man die Anfrage stellt (etwa PC, Smartphone oder Tablet), mehrere Netzwerke, um die Daten zu transportieren, sowie

Server in einem Rechenzentrum, welche die Suche verarbeiten.

Auf den Servern befinden sich virtuelle Maschinen. Diese simulieren unabhängig vom Betriebssystem eine Umgebung, in der ein Nutzer seine Programme und Anwendungen ausführen kann. Inzwischen basieren Onlinedienste meist

auf Cloud Computing, das heißt, die nötige Infrastruktur zur Datenverarbeitung befindet sich nicht auf einem lokalen Rechner, sondern wird über ein Netzwerk aus Computern zur Verfügung gestellt. Die Anbieter wählen anhand von Leistungsmetriken und Lastausgleich passende Geräte aus, die eine Anfrage bear-



ONLINEVIDEO | Streamingplattformen wie Netflix nutzen keine Client-Server-Architektur (links), bei der ein zentraler Server Daten für mehrere Nutzer bereitstellt. Stattdessen basieren sie auf einer Struktur (rechts), die Informationen auf weltweit verteilte Server kopiert, um sie geografisch näher an die Nutzer zu bringen.

beiten. Wie viele Ressourcen diese beansprucht, hängt davon ab, wo sich die Server befinden – und kann somit stark variieren.

Betrachtet man statt einer Suchanfrage die Mechanismen hinter Videos, wird es komplizierter. Laut »The Shift Project« (ein französischer Verein, der Wege zu einer kohlenstofffreien Wirtschaft entwickelt) machten 2019 Videostreams 80 Prozent des globalen Datenverkehrs aus. Diese bestehen aus abrufbaren Inhalten wie Video-on-Demand sowie aus Echtzeitaufnahmen, etwa bei Videokonferenzen.

Beim Antennenfernsehen überträgt ein einzelner Sender Daten zeitgleich an

zahlreiche Empfänger. Bei Onlinevideos ist das anders: Für jeden Zuschauer entsteht ein Datenstrom. Damit erhöht sich der Datenverkehr proportional zur Anzahl der Nutzer, während er beim Fernsehen nur von den gleichzeitig sichtbaren Inhalten abhängt.

Deshalb können Plattformen wie Netflix keine Client-Server-Systeme wie für gewöhnliche Websites verwenden, bei denen ein zentraler Server Daten an mehrere Nutzer verteilt. Stattdessen basieren sie auf Content-Delivery-Netzwerken, die Videodaten auf zahlreiche Server kopieren, um sie in die geografische Nähe der Verbraucher zu bringen.

Diese leistungsstarken und redundanten Strukturen führen zu einer zuverlässigen Videoübertragung und reduzieren den Datenstrom über große Entfernungen. Um eine optimale Bereitstellung zu gewährleisten, muss ein Video jederzeit mehrfach in unterschiedlichen Formaten an vielen Orten rund um den Globus vorhanden sein. Damit mobilisieren Streaminganbieter eine enorme Anzahl von Servern in zahlreichen Rechenzentren. So schätzten Timm Böttger und seine Kollegen von der Queen Mary University in London 2018, dass Netflix mindestens 8500 Server in mehr als 600 Rechenzentren zur Verteilung seiner Inhalte nutzt.

Die Zentren gehören allerdings nicht Netflix, sondern den entsprechenden Netzbetreibern wie der Telekom.

Die genannten Beispiele verdeutlichen, dass digitale Daten zahlreiche Geräte durchlaufen. Tatsächlich ist die physische Welt des Internets in drei Teile gegliedert: Es besteht aus kabelgebundenen beziehungsweise drahtlosen Netzwerken, Rechen- und Datenzentren, in denen Server untergebracht sind, sowie den Endgeräten der Nutzer wie Smartphones, Tablets oder Computer. Jeder dieser Teile hat einen Einfluss auf die Umwelt, den wir erfassen möchten.

Um die Energiekosten der Kommunikationsnetzwerke abzuschätzen, muss man zwischen den verschiedenen Technologien unterscheiden: Sie beruhen entweder auf Kupferdraht oder Glasfaserkabel, können aber auch drahtlos sein. Zudem sind die Netzwerke auf Geräte wie Router, Switches oder Antennen angewiesen, die ebenso eine begrenzte Lebensdauer haben und die Umwelt belasten.

Inzwischen bieten Netzbetreiber zahlreiche Mobilfunkstandards an: 2G, 3G, 4G und 5G. Wenn eine neue Technologie

erscheint, schaltet man ältere jedoch nicht ab, um die Kompatibilität mit allen Endgeräten zu gewährleisten. Um die aktuellste Technik nutzen zu können, müssen Kunden meist neue Geräte erwerben. Viele entsorgen dafür ihr noch funktionsfähiges Smartphone.

Jede Netzwerkgeneration erhöht die verfügbare Bandbreite pro Nutzer – und diese wird tatsächlich genutzt, wodurch der Datenfluss steigt. Die französische Regulierungsbehörde für elektronische Kommunikation (Arcep) berichtete im April 2020, dass der durchschnittliche monatliche Verbrauch einer SIM-Karte 2019 in Frankreich bei 7 Gigabyte lag – betrachtete man jedoch nur 4G-SIM-Karten, ergaben sich 9,5 Gigabyte.

Die Protokolle, die das Versenden und Empfangen von Daten in einem Netzwerk regeln, gewährleisten die Stabilität und Leistung der Prozesse. Bei ihrer Entwicklung legte man jedoch kein Augenmerk darauf, die Umweltbelastung zu reduzieren. Zum Beispiel sind an der Telekommunikation beteiligte Geräte wie WLAN-Router meist permanent eingeschaltet und verbrauchen daher unnötig viel Energie.

5G: Die große Unbekannte

Obwohl die Einführung von 5G schon begonnen hat, sind die Umweltauswirkungen schwer abzuschätzen. Einige Studien aus China legen nahe, dass der Stromverbrauch einer 5G-Station zwei- bis dreimal so hoch ist wie bei 4G. Hinzu kommt die Energie für die Herstellung neuer Antennen mit kürzerer Reichweite, wodurch man mehr benötigt. Zudem addiert sich der Fußabdruck für den Bau kompatibler Smartphones und weiterer vernetzter Objekte, die 5G mit sich bringen wird.

Verbrauch eines Routers

Fast alle Haushalte in Deutschland verfügen über einen Router, der sie mit dem Internet verbindet. Allerdings hängt die verbrauchte Energie der Geräte kaum von ihrer Nutzung ab. Wenn der Datenverkehr und damit die Aktivität gering ist, sinkt die Leistung keineswegs gegen null, wie in der Abbildung dargestellt. Obwohl im aufgeführten Beispiel um vier Uhr morgens fast keine Übertragung stattfindet, benötigt das Gerät dennoch rund 15 Watt. Dieser Wert ist der so genannte statische Verbrauch eines eingeschalteten Routers ohne Arbeitslast. Der verbleibende Anteil ist der dynamische Verbrauch.

Möchte man die Energiekosten pro verarbeitetem Bit bestimmen, sind mehrere Optionen möglich.

Aktuelle dynamische Kosten: Bei dieser Methode berücksichtigt man nur den dynamischen Teil des Verbrauchs, der von der Nutzung abhängt. In unserem Beispiel entspricht das der Leistung, die oberhalb von 15 Watt liegt. Um acht Uhr morgens benötigt man demnach 0,15 Watt für einen Durchsatz von 0,65 Megabit pro Sekunde (Mbit/s). Das ergibt einen Energieaufwand (Leistung geteilt durch Durchsatz) von 0,23 Mikrojoule pro Bit.

Aktuelle Gesamtkosten: Bei diesem Ansatz berücksichtigt man den gesamten Verbrauch des Routers zu einem bestimmten Zeitpunkt. Um acht Uhr morgens wären das 15,15 Watt für 0,65 Mbit/s. Das entspricht einem Aufwand von 23,3 Mikrojoule pro Bit. Um 20 Uhr liegt der Verbrauch bei 16,05 Watt für 4,75 Mbit/s, was 3,38 Mikrojoule pro Bit darstellt. Die Angabe der aktuellen Gesamtkosten hängt daher stark vom Datenverkehr ab.

Tägliche Gesamtkosten: Für diese Größe mittelt man den Verbrauch über den gesamten Tag, das heißt 15,35 Watt für durchschnittlich 1,55 Mbit/s. Die Kosten betragen dann 9,9 Mikrojoule pro Bit. Da der Datenverkehr von

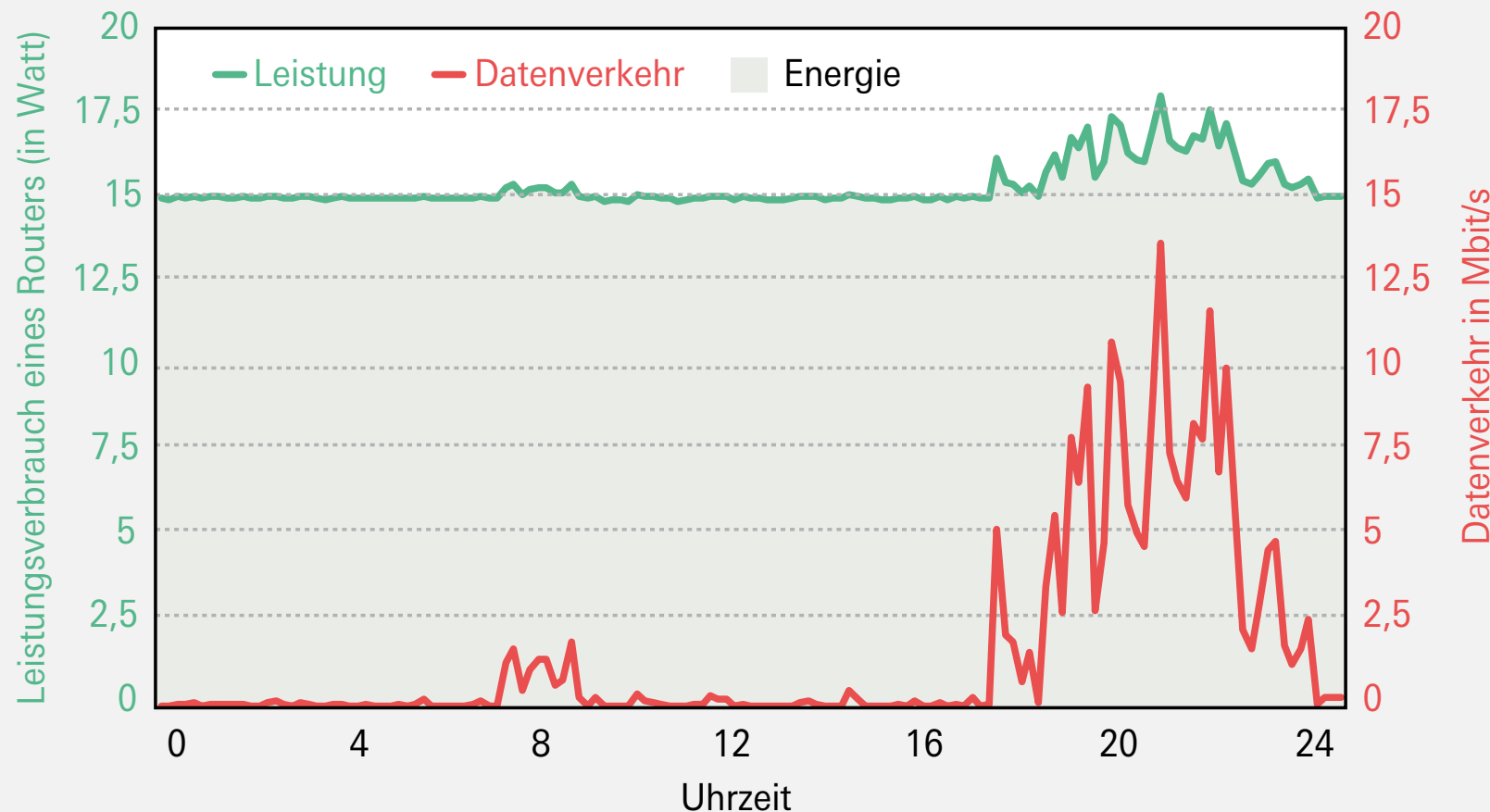
Tag zu Tag variiert, erhält man unterschiedliche Ergebnisse, abhängig von der täglichen Nutzung.

Minimale Gesamtkosten: Bei dieser Methode berücksichtigt man bloß die höchsten Werte, die am Router entstehen. Das heißt, für das Beispiel mit 25 Watt für 60 Mbit/s ergeben sich 0,42 Mikrojoule pro Bit. Dabei handelt es sich allerdings um eine rein theoretische Größe, weil ein Router nicht jederzeit mit voller Leistung arbeitet.

Wie sich an diesem Beispiel erkennen lässt, beeinflusst die gewählte Berechnungsmethode das Endergebnis massiv: Je nach Ansatz beobachtet man einen Unterschied von bis zu zwei Größenordnungen für den Energieaufwand eines Bits. Welche Grundlage man wählt, hängt davon ab, was man damit machen möchte: die zusätzlichen Kosten für die Datenverarbeitung berechnen, die Effizienz zweier Geräte vergleichen oder etwa den Verbrauch beim Senden einer E-Mail ermitteln.

Tatsächlich sind Router aber nicht die einzigen Geräte, deren Energieverbrauch nicht proportional zur Nutzung ist, die Ineffizienz betrifft fast alle vernetzten Objekte in mehr oder weniger starkem Ausmaß. Im genannten Beispiel erreicht der dynamische Anteil maximal 40 Prozent der Gesamtleistung. Dieser kann jedoch bei anderen Geräten auf weniger als 10 Prozent sinken.

Um Energie zu sparen, empfiehlt es sich daher, die Geräte auszuschalten, wenn man sie nicht benötigt. Im genannten Beispiel würde man etwa 38 Kilowattstunden Strom pro Jahr einsparen, wenn man den Router nachts ausschaltet, was in etwa dem Jahresverbrauch einer Mikrowelle entspricht. Das mag im Vergleich zu den Gesamtausgaben eines Haushalts gering erscheinen – aber auf die Millionen von Routern in Deutschland gerechnet, stellt das eine erhebliche Reduzierung der benötigten Energie dar.



VERBRAUCH EINES ROUTERS? | Der Verbrauch eines per Glasfaserkabel angeschlossenen Routers (grün, dargestellt durch den momentanen Stromverbrauch, gemittelt über zehn Minuten) ist nie null, auch wenn das Gerät nicht benutzt wird (rot, die Variation des Datenverkehrs über denselben Tag).

POUR LA SCIENCE, NACH: ANNE-CÉCILE ORGERIE / POUR LA SCIENCE DEZEMBER 2020

Der Einfluss von Rechenzentren

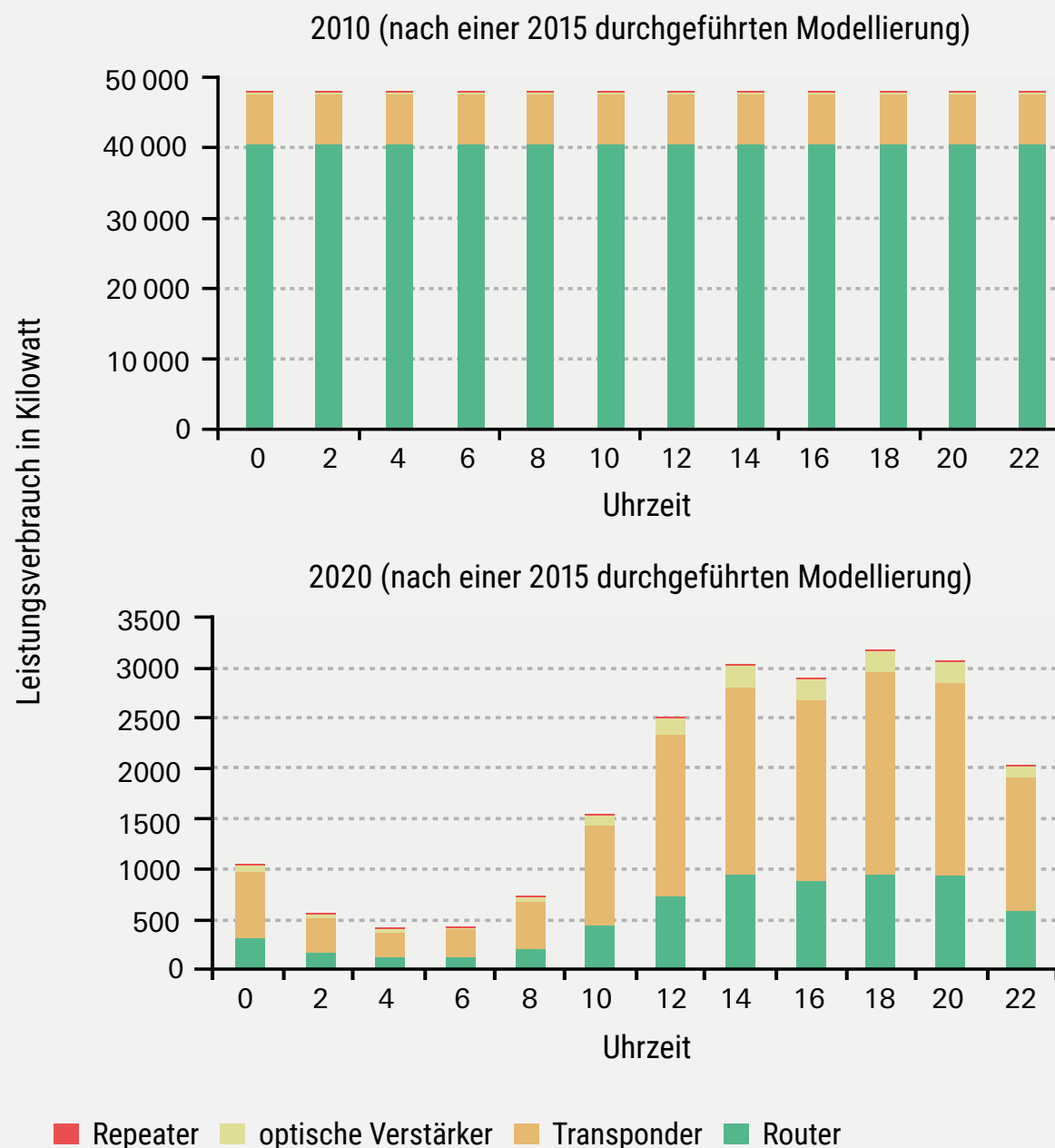
Neben den Telekommunikationsnetzen belasten auch Rechenzentren die Umwelt. Sie beherbergen Server, die Kühlsysteme und elektrische Redundanzen benötigen, um zuverlässig zu funktionieren. Inzwischen erproben einige Betreiber verschiedene Wärmerückgewinnungsmechanismen, um den Stromverbrauch zu senken.

Viele Experten geben durch die PUE-Kennzahl (Power Usage Effectiveness) an,

wie effizient ein Rechenzentrum ist. Ihr Wert beziffert die zusätzlichen Energiekosten, die abseits der darin befindlichen Server (meist durch Kühlung) entstehen. Die Betreiber versuchen, sich einem idealen PUE-Wert von eins anzunähern, bei dem der Verbrauch der Kühlung im Vergleich zu dem der IT-Infrastruktur vernachlässigbar ist. Doch die Kennzahl allein ist nicht aussagekräftig, da sie nicht die Effizienz der IT-Nutzung bewertet.

Einige große Rechenzentren (etwa von Google, Amazon, Facebook, Apple und Microsoft) nutzen erneuerbare Energien, die sie selbst erzeugen oder einkaufen. Dennoch sind sie nicht autark. Apple produziert nach eigenen Angaben so viel regenerative Energie (größtenteils durch Fotovoltaik), wie der Konzern insgesamt verbraucht. Allerdings steht der Strom meist nur tagsüber und bei gutem Wetter zur Verfügung, während die Geräte in

Mehr Effizienz



Laut einer Studie von 2015 könnte eine Veränderung des Kommunikationsnetzwerks die Energieeffizienz im Jahr 2020 (unten) gegenüber 2010 (oben) um den Faktor 316 verbessern, indem man den Verbrauch an die Tageszeit anpasst. Dabei berücksichtigten die Forscherinnen und Forscher die allgemeine Zunahme des Datenverkehrs. Die Änderungen würden die Effizienz des mobilen Netzzugangs um den Faktor 10 000 erhöhen und die des Festnetzes um 256.

Dauerbetrieb sind. Apple verkauft deshalb einen Teil des Stroms und kauft den Anteil zurück, den es für die nächtliche Versorgung benötigt.

Das Hauptproblem digitaler Infrastrukturen ist ihre variable Verwendung. 2015 schätzte das Uptime Institute, dass 30 Prozent der US-Server eingeschaltet sind, ohne Arbeit zu verrichten. Bei sinkender Nutzung tendiert der Stromverbrauch jedoch nicht gegen null, sondern gegen die Hälfte der maximalen Leistung. Wenn ein Server also wenige Aufgaben ausführt, benötigt er trotzdem viel Energie. Andere Geräte wie Router sind sogar noch ineffizienter.

Daher haben wir untersucht, wie sich Rechenzentren möglichst sparsam betreiben lassen. Gemeinsam mit unserem Kollegen Issam Raïs zeigten wir 2018, dass man einen Server abschalten sollte, wenn dieser mindestens drei Minuten lang nicht verwendet wird. Dafür benötigt man verlässliche Modelle, die vorhersagen, wann Nutzungsspitzen eintreten, um die Geräte im Voraus wieder hochzufahren. Algorithmen könnten solche Ein- und Ausschaltzyklen berechnen. Zudem bräuchte man Mechanis-

men, die virtuelle Maschinen von einem Server zu einem anderen bewegen, ohne dass die beim Nutzer ankommende Leistung darunter leidet. Weitere Vorschläge zielen darauf ab, die Frequenz und Spannung der Prozessoren zu steuern, um den Stromverbrauch zu reduzieren, wenn die Geräte nicht vollständig ausgelastet sind. All diese Ansätze könnten die ökologische Belastung durch IT-Infrastrukturen verringern.

Abseits von Rechenzentren und Telekommunikationsnetzwerken hinterlassen auch die Endgeräte der Nutzer ihre Spuren. 2018 gab es weltweit etwa neun Milliarden davon, darunter zwei Milliarden Smartphones und eine Milliarde Computer. Den Rest machen smarte Systeme aus, die in den letzten Jahren immer beliebter wurden: Glühbirnen, Waschmaschinen, Zahnbürsten, Fernseher, Kameras, Lautsprecher, Uhren, Roboter und so weiter.

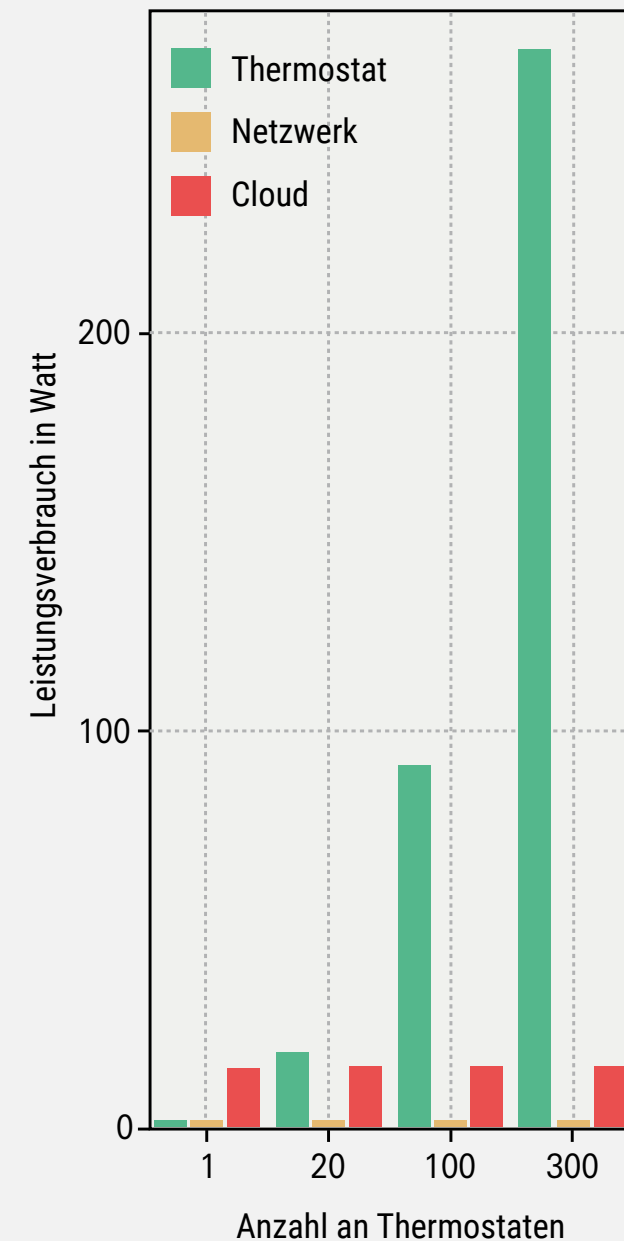
Ihr ökologischer Fußabdruck stellt unsere Konsumgewohnheiten in Frage: Handelt es sich dabei bloß um Spielereien oder erleichtern sie tatsächlich unser Leben? Vom intelligenten Schnellkochtopf bis zum Glukosesensor für Diabetiker –

es ist schwierig, objektive Kriterien zu definieren, um den Nutzen der Objekte zu bewerten. Ihre Auswirkungen auf die Umwelt lassen sich hingegen bestimmen.

Eine 2019 von Apple durchgeführte Studie gibt die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen eines MacBook Pro mit einem 16-Zoll-Bildschirm, 512 Gigabyte Speicherplatz und einem 2,6-Gigahertz-Prozessor bei einer Nutzungsdauer von vier Jahren an. Der Fußabdruck eines solchen Laptops beträgt rund 394 Kilogramm CO₂-Äquivalent (kg CO₂-eq). Dabei macht allein die Herstellung 75 Prozent des Anteils aus, der Transport 5, die Nutzung 19 und die Entsorgung weniger als 1 Prozent. Demnach müsste man das Gerät viermal so lange verwenden, also etwa 16 Jahre, damit der Fußabdruck der Nutzungsphase an den der Herstellung heranreicht. Insgesamt wäre es natürlich erstrebenswert, dass die Produktion nachhaltiger verläuft.

Bei anderen Geräten ist es ähnlich. Der Google-Nest-Thermostat, der die Heizung eines Hauses automatisch regelt, hat laut Hersteller einen Fußabdruck von 30 Kilogramm CO₂-eq, wenn man von einer zehnjährigen Nutzungsdauer aus-

Thermostat



Ein einzelnes angeschlossenes Thermostat verbraucht weniger Energie als die Cloud, die es betreibt (links). Installiert man 300 solcher Geräte in ebenso vielen Häusern, benötigt man viel mehr Strom als die damit verbundenen Server (rechts). Das Netzwerk, das die Thermostate und die Cloud miteinander verbindet, verbraucht vergleichsweise wenig (gelb).

geht. Die Produktionsphase macht 82 Prozent davon aus, verglichen mit 15 für die Verwendung. Für ein ausgewogenes Verhältnis müsste man die Geräte also etwa 55 Jahre in Betrieb lassen – auch wenn es unwahrscheinlich ist, dass die Batterie so lange halten würde.

Für Kunden sind die Thermostate attraktiv, weil sie die Heizkosten reduzieren. Es wäre daher interessant, die Energiekosten mit den Einsparungen zu vergleichen. Dafür muss man nicht nur den Verbrauch des Geräts berücksichtigen, sondern auch den der dazugehörigen Infrastruktur, die für den Betrieb unerlässlich ist: einen Internetzugang sowie die Server des Dienstansbieters, auf denen die Lern- und Optimierungsalgorithmen des Thermostats laufen. Diese Kosten sind im genannten Fußabdruck nicht enthalten.

Cloud versus Endgerät: Was verbraucht mehr Energie?

2019 haben wir mit unserem Doktoranden Loïc Guegan ein ComputermodeLL entwickelt, um den Stromverbrauch eines vernetzten Systems zu berechnen. Damit haben wir ein Produkt vom Typ Google Nest untersucht. Falls die Cloud

nur wenige Thermostate verwaltet, so unsere Ergebnisse, dann übertrifft ihr Verbrauch den der Geräte. Sobald deren Anzahl 20 übersteigt, wird ihr Einfluss größer als der der Cloud. Um eine richtige Bilanz zu ziehen, muss man diesen Gesamtverbrauch mit den Energiegewinnen vergleichen.

Bei anderen vernetzten Objekten beansprucht die Cloud die meiste Energie. Wie wir 2018 zeigten, braucht eine Webcam, die ihre Daten per WLAN zur Bilderkennung an eine Cloud überträgt, halb so viel Strom wie Letztere. Oder sogar nur ein Drittel, wenn statt großer Rechenzentren wie bei Google mehrere kleine Zentren in der Nähe der Nutzer die Informationen verarbeiten, wie es insbesondere im Zusammenhang mit 5G-Netzen immer häufiger geschieht.

Mit unseren Modellen haben wir auch andere Technologien analysiert, darunter intelligente Stromnetze. Diese regulieren den Stromfluss anhand des Verhaltens der Nutzer, um die Energieversorgung sinnvoll zu steuern und damit den Verbrauch zu reduzieren. Doch welche Kosten verursacht diese Intelligenz? Kann man sie optimieren?

Optimierung von Stromnetzen

Intelligente Stromnetze funktionieren meist über einen zentralisierten Ansatz: Ein Master-Gerät erhält Informationen von jedem angeschlossenen Zähler, den es überwacht. Bei übermäßigem Stromverbrauch entscheidet das übergeordnete Gerät, wo man eingreifen kann, um den vorgegebenen Schwellenwert zu erreichen. Eine andere Möglichkeit bietet das »kaskadenzyklische« Modell. Die beteiligten Haushalte sind durch eine ringförmige Struktur virtuell miteinander verbunden; jede Einheit hängt direkt mit je zwei anderen zusammen. Dabei reichen sie sich einen »Token« hin und her, ein Hilfsmittel, das parallel ablaufende Prozesse strukturiert: Wenn eine Sonde feststellt, dass der Schwellenwert überschritten wurde, sendet sie die Information an den Haushalt mit Token. Dieser Haushalt entscheidet, ob er seinen Verbrauch für einen Moment senkt, und überträgt den Token an die nächste Einheit und so weiter. Durch diesen Ansatz braucht man keine zentrale Entscheidungs- und Benutzerdatenverwaltung.

Bisher gibt es nur wenig Informationen zu ihrem Fußabdruck. Man kann aber den entstehenden Datenverkehr modellieren und die Auswirkungen auf das Stromnetz berechnen. Kürzlich haben wir mit einer solchen Simulation einen Ansatz entwickelt, um die Infrastruktur der Hard- und Software zu optimieren. Unsere Ergebnisse könnten dazu beitragen, die Überdimensionierung der Stromnetze zu begrenzen, indem man Verbrauchsspitzen abfedert, insbesondere im Zusammenhang mit Elektrofahrzeugen.

Aktuell untersuchen viele Wissenschaftler und Unternehmen Ansätze, um die Digitalisierung umweltfreundlicher zu gestalten. Einige Ideen betreffen die Abfallvermeidung, ein ökologisches Design von Hard- und Software oder eine Verbesserung der Energieeffizienz. Andere Vorschläge sollen die Lebensdauer und Nutzung von Geräten verlängern oder aussagekräftige Messgrößen entwickeln, die die tatsächlichen Umweltauswirkungen widerspiegeln.

Das Pariser Klimaabkommen fordert Bürger auf, ihren ökologischen Fußabdruck zu verringern. Oft sieht man die

Digitalisierung dabei als Teil der Lösung statt als Problem. Es ist aber wichtig, auch ihre Auswirkungen zu berücksichtigen, sie zu kontrollieren und zu reduzieren. Jeder kann dabei einen Beitrag leisten, indem man die Technologien in einem vernünftigen Ausmaß nutzt. Kleine Schritte, wie das Schließen unnötiger Browsertabs oder Musik herunterladen statt zu streamen, können schon helfen. ↩

(Spektrum der Wissenschaft, 7/2021)

Camus, B. et al.: Co-simulation of an electrical distribution network and its supervision communication network. 2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference, 2020

Guegan, L., Orgerie, A.-C.: Estimating the end-to-end energy consumption of low-bandwidth IoT applications for WiFi devices. 2019 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science, 2019

Li, Y. et al.: End-to-end energy models for edge cloud-based IoT platforms: Application to data stream analysis in IoT. Future Generation Computer Systems 87, 2018

Raïs, I. et al.: Quantifying the impact of shutdown techniques for energyefficient data centers. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2018

Spektrum

der Wissenschaft

Spektrum eBookFlatrate

erscheint am 23.08.2021



erscheint am 24.09.2021

Jetzt beide Bücher
in der günstigen
eBookFlatrate sichern

HIER INFORMIEREN



MEERESENERGIE

STROM AUS DEM MEER

von Ralf Nestler

Wellen und Gezeitenströmungen tragen enorm viel Energie in sich – die bisher kaum genutzt wird. Über eine große Chance und den mühsamen Weg dorthin.

Zweimal am Tag drückt der Atlantik in die Bay of Fundy – und zieht sich nach sechs Stunden wieder zurück. Eine Wassermenge von 160 Milliarden Tonnen, mehr als die Flüsse der Erde enthalten, schieben die Gezeiten in der kanadischen Bucht hin und her. Der Gedanke, diese gewaltige Energieresource anzuzapfen, drängt sich geradezu auf. Und tatsächlich arbeitet an der Küste in Annapolis seit 35 Jahren ein Gezeitenkraftwerk, in dem das einlaufende Wasser ein Becken füllt und dabei eine Turbine antreibt.

Allerdings erschließt die Anlage nur einen winzigen Teil der in der Bucht verfügbaren Gezeitenenergie. Damit spiegelt sie das Dilemma einer ganzen Branche wider: Weltweit gibt es etliche Buchten, die sich für Gezeitenkraftwerke eignen würden. Und ufernahe Gewässerabschnitte, in denen man die Kraft der Wellen in elektrische Energie umwandeln könnte.

Doch bislang trägt die Meeresenergie fast nichts zum globalen Strommix bei.

Ralf Nestler ist studierter Geologe und arbeitet als Wissenschaftsjournalist in Berlin.

Dabei sagten Experten ihr bereits vor zehn Jahren eine große Zukunft voraus: Sie könnte ein Vielfaches des globalen Strombedarfs liefern. Etliche Projekte gingen an den Start, zum Beispiel die »Seeschlange« Pelamis vor der Küste Schottlands oder SeaGen, ein »Windrad unter Wasser«, angetrieben von der Tidenströmung in der Meerenge von Strangford in Nordirland.

Windräder unter Wasser

Um Pelamis, SeaGen und viele andere Vorhaben ist es mittlerweile still geworden. »Damals kamen viele neue Unternehmen mit sehr rosigen Versprechen, entsprechend hoch waren die Erwartungen«, erinnert sich Jochen Bard vom Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik in Kassel, der seit vielen Jahren in der Branche aktiv ist. »Die Projekte kamen aber selten über eine Pilotphase hinaus und schafften es nicht, eine dauerhafte Finanzierung zu erhalten.«

Die Entwickler hätten aber viel gelernt, betont Bard, der als Forscher an SeaGen beteiligt war. Doch für einen Routinebetrieb reichte das nicht. Hierfür muss die

Anlage zuverlässig laufen, bei Wind und Wetter, und teure Besuche von Technikern für Feineinstellungen und Reparaturen sollten eine Ausnahme sein. Doch in der Praxis ist das gar nicht so einfach: Die Ozeane sind wild, die Belastungen für die Bauteile enorm, die Logistik aufwändig.

»Hinzu kam die Wirtschaftskrise«, sagt Bard. Und mit der Windkraft ein übermächtiger Konkurrent. »Meeresenergien erfordern Investitionen von mehreren Millionen Euro, die erscheinen bei etablierten Offshore-Windkraftanlagen sicherer angelegt als bei neuen Verfahren.« Windräder auf offener See wurden durch den massenhaften Ausbau immer billiger, weil es Standardteile wie Fundament, Turm oder Turbine gewissermaßen von der Stange zu kaufen gab. Meeresenergieprojekte blieben hingegen Unikate mit vielen Risiken.

Es ist bis heute eines der Kernprobleme der Branche: Es konkurrieren unterschiedliche technologische Ansätze, und kein Projekt gleicht dem anderen. Das macht Einzelteile und Entwicklung teuer. Etliche Unternehmen, etwa die Siemens-Tochter Voith Hydro, haben sich nach anfänglicher Begeisterung aus dem Ge-

TESTPLATTFORM | In der kanadischen Bay of Fundy testet das Unternehmen Sustainable Marine Energy Turbinen für ein neues Tidenströmungs-Kraftwerk.



schäft zurückgezogen. All dies führte laut Bard dazu, dass der Vorsprung der etablierten Erneuerbaren wie Wind und Fotovoltaik gegenüber der Meeresenergie größer geworden ist.

Doch noch besteht Hoffnung, die Meeresenergien zu einem weiteren Standbein der erneuerbaren Energieversorgung auszubauen. Ingenieure suchen sich mittlerweile bevorzugt jene Nischen aus, die andere Energieerzeuger nicht gut bedienen können. »Vor allem zur Versorgung von Inseln oder abgelegenen Küstenregionen gibt es viele Ideen«, sagt Bard. Bisher werden dort teils noch Dieselgeneratoren verwendet, deren Betrieb teuer ist. »In solchen Regionen könnten Meeresenergien schneller wettbewerbsfähig werden.«

Dazu müssen die Anlagen aber zuverlässig laufen. Und potenzielle Investoren müssen auch daran glauben und die Projekte frühzeitig fördern. Entsprechend wichtig sind Umgebungen wie die Bay of Fundy am Ostzipfel Kanadas, wo Entwickler ihre Erfindungen ausgiebig testen können. Es handle sich um einen der anspruchsvollsten Standorte der Welt, erzählt Ralf Starzmann von der Firma Schottel Hydro in Spay am Rhein, der

Turbinen für ein neues Tidenströmungskraftwerk in der Bay of Fundy baut. In der Bucht würden bei einer Springtide Strömungen von bis zu sechs Metern pro Sekunde erreicht. »Der Rhein fließt bloß mit rund zwei Metern pro Sekunde«, sagt Starzmann.

Aber der Einsatz unter Extrembedingungen bringt einen konkreten Vorteil: Die Provinz Nova Scotia hat in der Bay of Fundy eigens ein Testzentrum eingerichtet. Ein Seekabel schafft Strom ans Ufer, es gibt Infrastruktur für die Forschung auf dem nahen Festland und eine »generöse Einspeisevergütung« von 35 Eurocent pro Kilowattstunde. Unter diesen Voraussetzungen fanden sich genug Kapitalgeber, die rund acht Millionen Euro für die drei Plattformen der Firma Sustainable Marine Energy aufbrachten.

Die erste soll schon bald ihren Betrieb aufnehmen: ein Trimaran mit sechs Turbinen, jede angetrieben von einem Propeller mit vier Meter Durchmesser. Zusammen liefern sie 420 Kilowatt. Wenn die anderen zwei Plattformen fertiggestellt sind, sollen insgesamt 1,26 Megawatt anliegen – immerhin so viel, wie ein kleines Windrad liefert.

Sensoren auf dem Meeresboden

»Der Vorteil der Gezeitenströmung ist, dass sie absolut planbar ist und damit gut in ein vorhandenes Netz integriert werden kann«, sagt Turbinenentwickler Starzmann. Dazu brauchen die Ingenieure solide Daten über die Bedingungen vor Ort. An jedem potenziellen Standort werden zunächst Sensoren auf dem Meeresboden aufgestellt, die zwei Monate lang die Strömungsgeschwindigkeit messen. Auf dieser Basis lässt sich dann eine Vorhersage entwickeln. »Man kann schon heute ausrechnen, wie viel eine Anlage am ersten Weihnachtstag im Jahr 2045 bringt.«

Das klingt simpel, doch im Detail ist die Technik schwierig zu optimieren. Um die Plattform in der Strömung auszurichten, wird sie wie ein Schiff an Ketten fixiert und dreht sich dank ihrer Gestalt stets in die richtige Position. Dabei gilt es, die perfekte Drehzahl der Rotoren zu finden. »Der mechanische Ingenieur möchte diese hoch halten, um weniger Drehmoment auf der Welle zu haben«, erklärt Starzmann. Der Strömungsingenieur dagegen wolle sie gering haben, damit an den Flügelspitzen keine Dampfblasen

entstehen, die das Material zerfressen können. Der beste Kompromiss für einen Rotor mit vier Meter Durchmesser scheint bei knapp 50 Umdrehungen pro Minute zu liegen, haben die Ingenieure ermittelt.

Auch der Umweltschutz ist bei Meeresenergieprojekten ein Thema. In der Vergangenheit gab es hier immer wieder Bedenken von Tierschützern, etwa bei den Unterwasser-Strömungsrädern von SeaGen in Nordirland. Biologen um Carol Sparling von der University of St Andrews gaben hier letztlich Entwarnung, zumindest für die Meerenge von Strangford: Mit Peilsendern ausgestattete See-hunde wichen der Testanlage aus. Ansonsten zeigten sie kaum Änderungen in ihren Bewegungsmustern, schreiben die Wissenschaftler in ihrer Studie.

Sparling und ihr Team heben jedoch hervor, dass die Studienergebnisse nur für die beiden Rotoren von SeaGen gelten. Bei einem Verbund vieler solcher Anlagen könnten Tiere stärker beeinträchtigt werden. Viele Experten gehen davon aus, dass Tidenströmungskraftwerke wie SeaGen wohl deutlich umweltfreundlicher ausfallen als Gezeitenkraftwerke, deren Sperrwerke oft ganze Buchten fül-

len und so potenziell die Lebensräume von Meeresbewohnern zerschneiden. Diese und andere Bedenken gibt es etwa an der Rance-Mündung im bretonischen Saint-Malo, wo ein Gezeitenkraftwerk seit mehr als 50 Jahren Strom liefert.

Dass sich einzelne Projekte stark unterscheiden, gilt noch mehr für die zweite marine Energiequelle, die Ingenieure nutzbar machen wollen: die Wellen, deren Auf und Ab man ebenfalls in Strom umwandeln kann. Die Seeschlange Pelamis war hier einer der Pioniere. Wellen knickten ihre einzelnen Segmente gegeneinander, was jedes Mal Pumpen im Inneren in Gang setzte. 2014 ging dem Projekt das Geld aus.

Mittlerweile sollen andere Ideen die raue See nutzbar machen. Vor den schottischen Orkney-Inseln bietet das European Marine Energy Centre (EMEC) Testplätze an, mit vorhandenen Ankerpunkten im Meeresboden und Infrastruktur an Land, um Tests auszuwerten oder Geräte rasch zu reparieren.

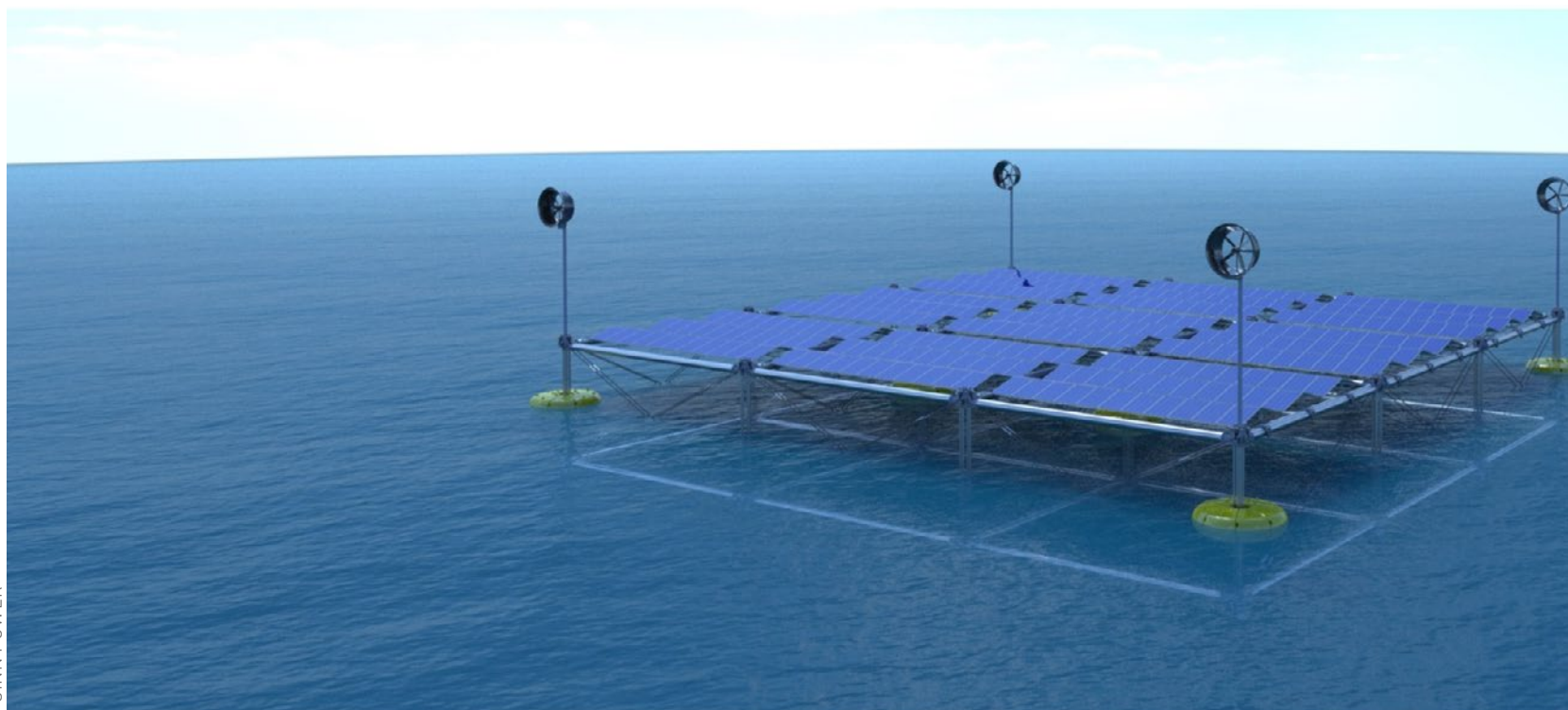
Die einzelnen Projekte sind sehr verschieden. Der Schwimmkörper der belgischen Firma Laminaria ist beispielsweise über Seile mit dem Boden verbunden, die

je nach Wellengang hin- und hergezogen werden und so Energie zu einem Generator bringen. Das finnische Unternehmen Wello Oy setzt dagegen auf eine unförmige, flache Boje, die den Wellen folgend so schaukelt, dass im Inneren eine senkrecht stehende Welle mit Unwucht rotiert und damit einen Generator antreibt.

Boje mit 300 Kilowatt Leistung

Als viel versprechend gilt das Konzept von Corpower aus Schweden. Es sieht eine 18 Meter große, runde Boje vor, die von Wellen auf- und ab- sowie etwas hin- und herbewegt wird. Im Inneren hat sie eine gezahnte Schiene, ein Getriebe sowie Dämpfer, so dass die lineare Bewegung möglichst gleichmäßig auf den Generator übertragen wird. Nach Firmenangaben ist die Regelungstechnik so ausgefeilt, dass die Energieausbeute dreimal höher ist als bei gewöhnlichen Bojensystemen.

Nach Tests in Schottland will Corpower – finanziert mit privaten und öffentlichen Mitteln – in diesem Jahr eine Boje mit 300 Kilowatt Leistung an der Küste Portugals montieren, später sollen drei weitere Anlagen folgen. 2024 soll die Technologie marktreif sein, und man



werde zertifizierte Systeme mit Garantie den Kunden anbieten, teilt das Unternehmen auf Anfrage mit und gibt sich selbstbewusst: Im Lauf dieses Jahrzehnts werden seine Wellenenergiewandler wettbewerbsfähig mit Wind und Solar sein.

Welche Technik sich durchsetzen wird, lässt sich heute nicht sagen – insofern ist die Branche immer noch am selben Punkt wie vor zehn Jahren. Eine »One size fits all«-Lösung werde es nicht sein, sagt Nils Goseberg, Professor für Hydromechanik, Küsteningenieurwesen und Seebau an der TU Braunschweig. Er glaubt eher an eine Hand voll verschiedener Konzepte,

die zur Marktreife gelangen. »Es hängt sehr vom Standort ab, von der Wassertiefe und dem Wellenklima.« So bezeichnen Wissenschaftler den Mix der häufigsten Wellenlängen und -höhen.

Jedes Projekt ist anders

»Man kann nicht einfach die Schublade öffnen und Pläne für die passende Anlage rausholen, sondern sie muss genau auf die Bedingungen abgestimmt werden«, sagt Goseberg. Und selbst wenn ein Entwicklerteam das Wellenklima in einem Versuchskanal gut nachbilde, sei der nächste Schritt ins offene Meer oft zu

DREI IN EINEM | Die Firma Sinn Power will in schwimmenden Plattformen Solarpanels, Windturbinen und Strom erzeugende Bojen miteinander kombinieren.

groß und werfe viele Probleme auf. Wellen, Strömungen oder ein Untergrund, der eine Verankerung weniger Halt gibt als gedacht: All das könne von den Erwartungen abweichen und in der Praxis Schwierigkeiten bereiten.

Goseberg und Kollegen bauen daher derzeit am Forschungszentrum Küste in Hannover einen neuen Wellenkanal. Die Anlage soll ab 2022 bessere Prognosen erlauben, 34 Millionen Euro gibt das Bundeswirtschaftsministerium dafür aus. Damit können sie ein Gesamtsystem testen und sparen sich Millionen Euro teure Pilotprojekte im Meer.

Goseberg gibt sich optimistisch, dass die Ozeane auf diesem Weg doch noch einen nennenswerten Beitrag zur Stromversorgung leisten können. »Deutschland ist Exportweltmeister, mit dieser Denke müssen wir auch die Meeresenergien angehen«, sagt er. Bei der Windkraft sei das schließlich auch gelungen, wo hiesige Ent-

wicklungen mittlerweile an der US-Ostküste, in China und Taiwan zu finden seien.

Und vielleicht liegt die Chance der Meeresenergie ja weniger darin, mit den etablierten Erneuerbaren zu konkurrieren, als sie vielmehr zu ergänzen. Diesen Ansatz verfolgt jedenfalls die Firma Sinn Power aus dem bayerischen Gauting. Sie hat ein Modul entwickelt, bei dem das Auf und Ab eines Schwimmkörpers einen Generator rotieren lässt. Das Besondere ist, dass eine Plattform aus mehreren Modulen geplant ist. Sie soll neben Wellenenergie auch Wind- und Sonnenenergie nutzen.

»Wellenenergie hat immer noch hohe Kosten und ist komplex, also zäumen wir das Pferd von hinten auf«, sagt Johannes Stuck von Sinn Power. Eine Versuchsplattform, die die Firma kürzlich auf Kreta zu Wasser gelassen hat, wird zunächst mit Fotovoltaikmodulen versehen, später kommen kleine Windkraftanlagen hinzu und schließlich die Wellenabsorber, die das Team seit Jahren testet und weiterentwickelt.

Die Kombination aus bewährter und neuer Technik soll die Hemmschwelle für potenzielle Kunden senken. Stuck sieht

die Plattformen dabei nicht nur als Option für die Versorgung von Inseln, sondern auch als Ergänzung für Offshore-Windparks. »Diese Flächen sind ohnehin für andere Nutzungen wie Schifffahrt oder Fischfang gesperrt, aber sie sind bereits ans Stromnetz angeschlossen«, argumentiert er. »Es wäre ideal, dort alle Formen von Meeresenergie zu nutzen und somit die Schwankungen von Wind und Sonne auszugleichen.«

Wie wichtig die Energie aus dem Meer ist, um Europa mit klimafreundlichem Strom zu versorgen, hat die EU seit Langem erkannt, zumindest in der Theorie. Sie will die installierte Leistung von Wellen- und Tidenströmungskraftwerken bis 2030 auf 1 bis 3 Gigawatt erhöhen, bis 2050 sogar auf 60 Gigawatt. Das geht aus einem Entwurf der EU-Strategie für eine bessere Ausnutzung von Offshore-Energie hervor. Der Weg ist jedoch weit: 2019 kamen die europäischen Anlagen für Wellen- und Tidenströmung zusammen auf gerade mal 13 Megawatt. In drei Jahrzehnten müssten sie also 4000-mal mehr Strom ins Netz einspeisen als heute. ↩

(Spektrum – Die Woche, 02/2021)



gymglish
& **Spektrum.de**

Verbessern Sie Ihr Englisch online

- ✓ Kostenloser Einstufungstest
- ✓ Bereits mehr als 3 Mio. Nutzer
- ✓ Individuell angepasste Kursinhalte

1 Monat kostenlos



KLEINWASSERKRAFTWERKE

WIE UMWELTFREUNDLICH IST WASSERKRAFT?

von Ralf Nestler

Kleine Wasserkraftanlagen gelten als »grüne« Stromquelle. Doch ihre Bilanz ist oft miserabel – und viele von ihnen sind lebensgefährlich für Fische. Löhnen sie sich trotzdem? Eine Spurensuche an der Bode in Sachsen-Anhalt und bei Fachleuten aus der Wissenschaft.

Idyllisch. Das Wort klingt nach bayerischem Heimatfilm, aber es ist auch hier genau das richtige, am Rand des Städtchens Gröningen in Sachsen-Anhalt, am Ufer der Bode. Der schmale Fluss gleitet unter Eschen, Weiden und Pappeln durch eine Aue. Ein Frosch plumpst vom Ufer ins Wasser, zu Fischen, die fingerlang in der Strömung hängen. In der Nähe rauscht das Wehr, was die Szene fast noch etwas idyllischer macht.

Gut zwei Meter stürzt die Bode hier herunter, an der Stufe führt ein rostiger Metallsteg über den Fluss. Wäre es nicht schlau, bei der ohnehin nötigen Sanierung des Wehrs eine Wasserkraftanlage einzubauen, um nebenbei auch klimafreundlich Strom zu erzeugen? Entsprechende Pläne gibt es bereits, und sie passen gut in die Zeit: Deutschland will die erneuerbaren Energien ausbauen. Und

dabei soll auch Wasserkraft eine Rolle spielen, die derzeit nur 3,5 Prozent des deutschen Bruttostromverbrauchs deckt.

Öko gegen Öko

Doch es regt sich Widerstand. Naturschützer warnen vor gehäckselten Fischen und versperreten Routen für Wassertiere, vor sich stauenden Sedimenten und einer miserablen Umweltbilanz, wenn die Wassermenge – und damit die erzeugte Strommenge – weiter abnimmt. Es ist ein Konflikt, der nicht nur in Gröningen schwelt, sondern auch an anderen Orten in Deutschland. Salopp gesagt steht dabei Öko gegen Öko, oder präziser formuliert: Der politische Wunsch nach nachhaltiger Stromproduktion trifft auf die Bedenken von Biologen und Umweltschützern.

Auf lokaler Ebene entzündet sich dieser Streit nicht selten an der so genann-

»Die geringe Strommenge und der große Eingriff in frei fließende Gewässer stehen in keinem Verhältnis«

(Christian Wolter, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei)

ten Kleinwasserkraft. So nennt man Anlagen, die weniger als ein Megawatt Leistung erbringen. 94 Prozent aller 7300 Wasserkraftwerke fallen in diese Kategorie, sie werden größtenteils durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert. Ihr Anteil an der Wasserstromproduktion beträgt jedoch nur 14 Prozent, den Rest steuern ein paar hundert Großkraftwerke bei. Das Verhältnis zwischen Energieausbeute und Umweltschäden stehe bei der Kleinwasserkraft daher in keinem Verhältnis, monieren Kritiker seit Jahren. Die Förderung als »grüne« Energie sei ein Etikettenschwindel.

So sieht das auch Heimo Reilein, ein kräftiger Endvierziger, der für den Besuch des Reporters extra das blaue T-Shirt mit dem Lachs auf der Brust angezogen hat. Das Tier ist das Symbol der Interessengemeinschaft Bode-Lachs, die sich seit Langem für den Gewässerschutz an der Bode einsetzt: Der Fluss, erzählt Reilein beim Spaziergang am Ufer, sei zu DDR-Zeiten schwer mit Schadstoffen belastet gewesen. Seitdem habe er sich jedoch wieder erholt. »Fünf Fischarten zählte man nach der Wende, jetzt sind es mindestens 24«, sagt er.



Reilein, ein passionierter Angler, kann sie alle aufzählen: Äsche, Groppe, Bachforelle, Barbe, Nase, Döbel und so weiter. Der Lachs hingegen fehlt. Doch auch er

GRÖNINGER WEHR | Heimo Reilein (links) und ein Mitstreiter von der IG Bode-Lachs inspizieren das Wehr über der Bode, das ein Investor zum Kleinwasserkraftwerk ausbauen will.

könnte prinzipiell wieder aus der Elbe in die Bode wandern – daher der Name der Interessengemeinschaft. Eine Wasserkraftanlage am Gröninger Wehr würde diese Hoffnung jedoch zunichtemachen, sagt Reilein. »Da nützt auch der geplante Fischpass wenig, den müssen die Tiere erst einmal finden.«

Auch die Kiesbänke, die viele Arten zum Laichen brauchen, verändern sich durch ein Wasserkraftwerk. Der gestaute Fluss hat weniger Kraft, so dass feines Sediment herabsinkt und die Lebensräume für den Nachwuchs zwischen den groben Kieselsteinen verstopft. Das soll jedenfalls ein aktuelles, noch nicht veröffentlichtes Gutachten zeigen, das die IG Bode-Lachs als Gewässerschutzverband in Auftrag gegeben hat.

Todesfalle am Rechen

Und schließlich erzählt Reilein noch von den Bachneunaugen, fischähnlichen Wirbeltieren in der Bode. Sie sind schmal wie Bleistifte und eine besonders geschützte Art. »Der Rechen vor der Turbine, der Fische abhalten soll, ist zu grob, die werden reingezogen«, sagt er. Reilein wird nun ein bisschen zornig, vor allem auf die Be-

hörden, die den Antrag für das Wasserkraftwerk am Gröninger Wehr nicht gleich zurückgewiesen haben.

Schließlich habe das Bundesamt für Naturschutz bereits 2014 klargestellt: Ein Neubau von Wasserkraftanlagen in Schutzgebieten – hier Natura 2000 – sei »auszuschließen«. Auch der Wasserrahmenrichtlinie, die den ökologischen Zustand von Gewässern verbessern soll, stehe das Vorhaben entgegen, findet der Gewässerschützer und übertönt jetzt deutlich das Rauschen am Wehr. »Es kann nicht sein, dass man in Zeiten gravierenden Artensterbens die letzten funktionierenden Lebensräume zerstört«, schimpft Reilein. »Die Politik hat doch Verantwortung für die zukünftigen Generationen!«

Sind seine Sorgen berechtigt? Das Landesverwaltungsamt Halle lässt sich bisher nicht in die Karten schauen, ob das Wasserkraftwerk genehmigt wird. Auf Anfrage erklärt es lediglich, dass »der Vorhabenträger grundsätzlich frei ist, sein Vorhaben mit den erforderlichen Planunterlagen vorzulegen und dessen Genehmigung zu beantragen«. Ein besonderes Verbot für Bau und Betrieb von Wasserkraftanlagen an der Bode gebe es

nicht. Das Amt werde den Antrag daher im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften bearbeiten, noch sei nichts entschieden. Derzeit arbeite der Vorhabenträger an dem geforderten Bericht zur Umweltverträglichkeit der Anlage.

Der Vorhabenträger, wie es im Amtsddeutsch heißt, ist in diesem Fall der Unternehmer Jörg Steinbrunner. Er will 1,5 Millionen Euro in die Anlage investieren. Nach eigener Auskunft betreibt er eine weitere Wasserkraftanlage an der Weißen Elster in Thüringen. Wer mit Steinbrunner am Telefon über das Projekt an der Bode redet, erlebt einen freundlichen Mann, dem viel an der Zukunft zu liegen scheint: »Viele gehen auf die Straße und wollen das Klima schützen«, sagt er. »Mit der Anlage können wir genau das: umweltfreundliche Energie liefern.«

Die Bedenken von Heimo Reilein und weiteren Kritikern vor Ort kann Steinbrunner nicht nachvollziehen: »Da wird viel mit Emotionen gearbeitet«, sagt der Investor. Das Wehr, das für Fische schwer zu überwinden ist, sei ohnehin vorhanden. »Wir schaffen erst die benötigte Durchgängigkeit.« Einen Fischpass wolle er bauen mit Scheiben, führt er weiter

aus. Kinder könnten dort zuschauen, wie die Tiere flussauf- und flussabwärts ziehen. Und vor der Turbine sei ein Rechen geplant, dessen horizontal angeordnete Stäbe nur zehn Millimeter Platz ließen. »Da geht kein Fisch rein«, behauptet Steinbrunner.

Kleine Wasserkraftwerke sind für Fische oft gefährlicher als große

Alles gut also? Ist der Protest gegen Kleinstwasserkraftwerke nur eine Posse von ein paar Anglern, die um ihr Hobby fürchten? Wissenschaftler sehen das zuweilen anders: Sie halten die Passage durch eine Wasserkraftanlage für potenziell lebensgefährlich und die damit einhergehenden Eingriffe ins Ökosystem für erheblich.

»Fische können ein Barotrauma erleiden, das durch kurzfristige Druckunterschiede hervorgerufen wird und beispielsweise dazu führt, dass die Schwimmblase platzt«, sagt etwa Christian Wolter vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin. Auch die Scherkräfte und Turbulenzen seien eine große Gefahr. »Hauptursache für die Mortalität sind aber Verletzungen an Rotorblättern und Turbinenteilen.«

Gerade kleine Wasserkraftanlagen mit geringen Schaufelabständen und hoher Drehzahl erhöhten die Wahrscheinlichkeit, darin umzukommen.

In einer aktuellen, noch nicht begutachteten Untersuchung zur Todesrate einzelner Fischarten haben Wolter und weitere Forscher rund 800 Datensätze von 63 Wasserkraftanlagen in sieben europäischen Ländern ausgewertet. »Die Mortalität war sehr unterschiedlich und reichte von 0 bis 100 Prozent«, sagt der Forscher. »Im Schnitt lag sie bei 18 Prozent, wobei große Anlagen deutlich besser abschnitten als kleine.«

Entscheidend sind seiner Meinung nach zwei Dinge: Der Schutzrechen muss so ausgelegt sein, dass flussabwärts wandernde Fische nicht nur abgehalten, sondern tatsächlich zum Bypass gelenkt werden, der über die gesamte Wassersäule erreichbar sein soll. Nur dann kommen sie weiter. Ebenso muss der Fischpass auch für flussaufwärts schwimmende Arten auffindbar sein, etwa durch eine Lockströmung. »Wenn die Lage und die Wassermenge im Fischpass stimmen, lässt sich durch die bauliche Gestaltung viel machen«, sagt Wolter. Geringe Fließge-

»Rund 90 Prozent des Materials, das im Fluss bewegt wird, bleibt an den Wehren hängen. Und das fehlt im weiteren Verlauf«

(Andreas Malcherek, Universität der Bundeswehr München)

schwindigkeiten am Boden für schwimm-schwache Fische, Ruhezone, keine großen Höhenunterschiede – damit hätten viele Arten eine Chance, aufzusteigen.

Ein anderes Problem sind die Stauseen, die sich vor den Wasserkraftwerken bilden. Zwar profitieren Stillwasserarten wie die Plötze davon, doch die typische Flusss-dynamik ist dahin: Die Kieslagen – Laich-plätze für Rapfen, Nase oder Barbe sowie etliche Insektenlarven – verschlammen. »Bei solchen kiesbetonten Arten sehen wir einen starken Rückgang«, sagt Wolter.

Aus wissenschaftlicher Sicht gibt es noch weitere Einwände gegen die Klein-wasserkraft. So können die Anlagen auch fürs Klima zur Belastung werden. Der Wasserstau bildet etwa Faulschlamm, der das Treibhausgas Methan freisetzt. Von einzelnen Wasserkraftwerken in den Tropen ist schon länger bekannt, dass sie über diesen Effekt klimaschädlicher sind als Öl- oder Gaskraftwerke mit gleicher Leistung.

Bei den hiesigen Anlagen ist der Einfluss aufs Klima wahrscheinlich geringer. Um wie viel, das habe noch keiner detailliert untersucht, sagt der Berliner Biologe Wolter. »Doch zumindest bei den Anlagen im Tiefland, wo der Wasserstau teil-



weise über mehrere Kilometer wirkt, dürfte der Methanausstoß ausreichen, um die CO₂-Einsparung der Wasserkraftanlage ins Gegenteil zu verkehren.«

Alles andere als ein Klimaretter

Selbst wenn Kleinwasserkraftwerke Treibhausgase einsparen: Große Mengen sind es nicht. Schließlich erzeugen sie nur wenig Ökostrom, wie beispielhaft Daten

des Statistischen Landesamts von Sachsen-Anhalt zeigen. Hier lieferte die Wasserkraft im Jahr 2019 deutlich weniger als ein Prozent der Strommenge, die alle Windräder des Bundeslands im selben Zeitraum abgeworfen haben.

Und es gibt noch weitere Kritikpunkte: Beispielsweise sind Wasserkraftanlagen eine enorme Sedimentfalle. »Rund 90 Prozent des Materials, das im Fluss be-



RALF NESTLER

WASSERKRAFTWERK HADMERSLEBEN |
 Flussabwärts von Gröningen gibt es bereits ein
 kleines Wasserkraftwerk, in dem Fische über
 eine Fischtreppe (vorne) flussaufwärts klet-
 tern können.

wegt wird, bleibt an den Wehren hängen. Und das fehlt im weiteren Verlauf, bis hin zu den Meeren«, sagt Andreas Malcherek, Professor für Hydromechanik und Wasserbau an der Universität der Bundeswehr München. An vielen Küsten gingen Strände verloren, weil nicht genügend Sediment nachkomme. »Dieser Verlust ist oft direkt an den Bau von Staustufen gekoppelt.«

Die naheliegende Lösung wäre, die Wehre komplett zu entfernen. Das aber ist nicht überall möglich, da beispielswei-

se angrenzende Siedlungen an den veränderten Wasserstand angepasst sind. Außerdem müsste man auf jegliche Wasserkraftnutzung verzichten. Malcherek regt einen Kompromiss an: Da das meiste Sediment nur bei Hochwasser transportiert wird, könnte man bei solchen Ereignissen die Wehre öffnen, um den natürlichen Transport zu ermöglichen. »In der Zeit, wo ohnehin wenig Sediment bewegt wird, bleibt das Wehr geschlossen und man gewinnt Energie.« Gleiches könne auch für den Fischzug gelten, sagt der

Forscher. Wenn viele Tiere unterwegs sind, wird kurzerhand geöffnet.

Damit würde allerdings wohl das Geschäftsmodell der Betreiber nicht mehr aufgehen. Das funktioniert nach Ansicht von Christine Margraf vom Bund Naturschutz (BUND) in Bayern ohnehin nur, weil es Förderung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gibt. »Ohne das EEG wären die Planungen für Wasserkraft-Neubauten alle tot.« Sie selbst wäre froh darüber. Neben den genannten ökologischen Problemen Sorge sie sich

vor allem um die Auen, erklärt die Umweltaktivistin. 60 Prozent der Vogelarten lebten dort, 62 Prozent der Libellen- und 85 Prozent der Amphibienarten.

»Der Dauerstau vor den Wehren ist eine Katastrophe für die Aue«, sagt Margraf. Der Boden sei dadurch dauerhaft nass, es gebe keine Durchlüftung, und die wiederkehrende Umgestaltung durch Hochwasser und mitgebrachten Schotter fehle. »Der Artenreichtum geht verloren.« Aus Margrafs Sicht sollten bestehende Kleinwasserkraftanlagen daher saniert werden, um die Folgen für die Umwelt so gering wie möglich zu halten. Neubauten lehnt sie dagegen kategorisch ab. Sie beruft sich unter anderem auf eine aktuelle Untersuchung der TU München. Darin heißt es ein wenig steif: »Aus ökologischer Sicht ist an bereits bestehenden Querbauwerken ohne Wasserkraftanlage ein Rückbau des Querbauwerks dem Einbau einer Wasserkraftanlage vorzuziehen.«

Findige Verkäufer und politische Vorgaben

IGB-Forscher Wolter kommt zu einem ähnlichen Schluss. »Wenn man den Bei-

trag zum Klimaschutz und die ökologischen Auswirkungen für Kleinwasserkraftwerke gegenüberstellt, wird klar, dass man darauf verzichten sollte«, sagt er. »Die geringe Strommenge und der große Eingriff in frei fließende Gewässer stehen in keinem Verhältnis.«

Warum gibt es dann überhaupt noch Neubauprojekte? Je nachdem, wen man fragt, erhält man hier unterschiedliche Antworten. »Weil es genug Firmen gibt, die solche Anlagen verkaufen wollen und ihren Kunden das schönrechnen«, sagt der Berliner Biologe Wolter. BUND-Expertin Margraf sieht dagegen auch die Behörden in der Verantwortung: »Es wurde jahrzehntelang gelehrt, man müsse Flüsse begradigen und einfrieden.«

Zwar zeigten neue Erkenntnisse, wie schädlich das Zubauen für die Umwelt sei, aber es falle manchem schwer, sich auf eine andere Form der Gewässergestaltung einzustellen. Für manchen Beteiligten wirkt es außerdem so, als ob zuständige Behörden die Kleinwasserkraft stärken wollen, um die Energiewende voranzubringen. Auch werde zu wenig kontrolliert, ob die Auflagen zum Betrieb sol-

cher Anlagen eingehalten werden, ist zu hören.

Fest steht, dass die Kleinwasserkraft ein politisches Thema ist. Derzeit arbeitet die Bundesregierung an einer Novelle des EEG. Der Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke hätte darin am liebsten eine Steigerung der Einspeisevergütung für Anlagen mit weniger als 100 Kilowatt Leistung gesehen. Im aktuellen Entwurf ist das zwar nicht berücksichtigt, doch sollen die kleinen Wasserkraftwerke auch künftig für ihren Strom eine feste Vergütung erhalten – was vor dem Hintergrund ihres geringen Ertrags und der potenziellen Umweltschäden verwundern kann.

Im Einzelfall ist es oft schwer, eine Kosten-Nutzen-Abwägung zu treffen. Auch das wird am Beispiel Gröningen deutlich. Damit Gebäude nicht absacken, muss der Wasserspiegel der Bode hier hoch gehalten werden. Das übernimmt das Wehr, das aber marode ist. Der Unternehmer Jörg Steinbrunner, der die Wasserkraftanlage bauen will, würde für die Sanierung aufkommen. »Ansonsten muss die Allgemeinheit die Kosten dafür

tragen, das dürften bestimmt 300000 Euro sein«, sagt er.

Heimo Reilein von der IG Bode-Lachs würde das Wehr dagegen am liebsten ganz loswerden. Stattdessen sollte der Fluss über eine Sohlgleite, eine Art naturnahe Rampe fließen, findet er. Er glaube nicht, dass Jörg Steinbrunners Kraftwerk die angepeilte Leistung von 150 Kilowatt oft erreichen wird, sagt Reilein. Der Durchfluss sei häufig geringer als jene acht Kubikmeter pro Sekunde, die hierfür nötig wären. Weniger Wasser heißt weniger Leistung oder gar Stillstand.

Der Betreiber der Wasserkraftanlage in Hadmersleben, ein Stück flussab, kann das bestätigen. Seine Anlage muss seit 2010 mit deutlich weniger Wassermassen klarkommen als angenommen. Zu wenig für einen wirtschaftlichen Betrieb, wie der Betreiber im Gespräch mit »Spektrum.de« sagt, trotz Förderung nach dem EEG. Nun steht die Anlage oft still. Das bisschen Wasser gurgelt vor allem durch den Fischpass, der gleich nebenan errichtet wurde. ↩

(Spektrum.de, 27.09.2020)

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT

BIOÖKONOMIE

Auf dem Weg zu nachhaltiger Wirtschaft

Globale Ökowende | Die Chancen waren nie besser
Klimawandel | Umweltpolitik wird schöngerechnet
Selbstkontrolle | Der Siegeszug des Verzichts

FÜR NUR
€ 4,99

HIER DOWNLOADEN

ENERGIESPEICHER

STEINE SOLLEN WINDSTROM SPEICHERN

von Monika Rößiger



Mit dem stetig wachsenden Anteil von Wind und Sonne an der Stromproduktion wird auch die Suche nach Energiespeichern dringender. Sie sollen die schwankende Erzeugung ausgleichen und das Netz stabil halten.

Das Industriegebiet in Hamburg-Altenwerder ist kein Ort, an dem man irgendetwas Bunt erwarten würde. Bis man plötzlich vor einer Betonfassade mit poppigem Wandgemälde steht, von dem ein lilafarbenes Mammut-Jungtier grüßt: »Welcome to the new stone age.« Hinter ihm ein gemalter Steinhaufen, der symbolisiert, was ein großer Schritt für die Energiewende werden soll: Steine als Energiespeicher.

Schließlich fallen Wind- und Sonnenenergie bundesweit seit Jahren in weit größeren Mengen an, als die Netze aufnehmen können. Die derzeit verfügbaren Speichertechnologien haben allerdings oft eine begrenzte Kapazität oder sind im großen Maßstab zu teuer. Insbesondere in Norddeutschland müssen immer wie-

der Windräder heruntergeregelt werden – das nur schleppend ausgebaute Netz kann den Strom nicht aufnehmen.

Statt den Ökostrom zu nutzen, entstehen durch Entschädigungszahlungen jährliche Kosten im dreistelligen Millionenbereich, die der Verbraucher über seine Stromrechnung zahlen muss. Nicht nur aus diesem Grund ist der Ausbau an Speichern – neben dem der Netze – dringend geboten. Auch für die Zeit, in der weder Sonnen- noch Windstrom erzeugt wird, muss die Energie zwischengespeichert werden.

Vulkanischer Schotter soll Wärme speichern

Das Gebäude, auf dem das lila Mammut prangt, beherbergt tatsächlich einen »Haufen« Steine, sogar einen riesigen: rund tausend Tonnen vulkanischen Schotter, dessen Einzelteile ungefähr so groß wie Kieselsteine sind. Ihr Zweck ist es, Energie in Form von Wärme zu speichern, bei einer

Temperatur bis zu 750 Grad Celsius. Die Energie dafür kann aus Prozesswärme stammen oder aus überschüssigem Ökostrom, der in Wärme gewandelt und bei Bedarf rückverstromt wird. Der 30-Megawatt-Speicher ist eine Pilotanlage, die das deutsch-spanische Windkraftunternehmen Siemens Gamesa in Kooperation mit der Technischen Universität Hamburg (TUHH) und dem städtischen Versorger Hamburg Energie errichtet hat. Letzterem gehören auch drei Windräder ganz in der Nähe, deren Energie hier bei einem Netzengpass zukünftig eingespeist wird. Die Anlage kann 130 Megawattstunden (MWh) thermische Energie für eine Woche bunkern. In den kommenden Jahren sollen aber, so das Ziel, erheblich größere Anlagen dieser Art gebaut werden, um Energie im Bereich von mehreren Gigawattstunden (GWh) speichern zu können.

»Die innovative Speichertechnologie ermöglicht es uns, große Mengen Energie kostengünstig zu speichern«, sagte der



MONIKA RÖSSIGER

**LAVABROCKEN SOLLEN ENERGIE
SPEICHERN** | Die wenige Zentimeter großen,
kantigen Brocken aus vulkanischer Lava bieten
nach Ansicht der Betreiber den besten Kom-
promiss zwischen hoher Speicherfähigkeit und
schneller Energieabgabe.

Ingenieur Hasan Özdem anlässlich der Inbetriebnahme des »Mammut-Gebäudes« im Sommer 2019. »Auf diese Weise trägt der elektrothermische Energiespeicher dazu bei, die Erzeugung von Strom und seine Nutzung zeitlich zu entkoppeln.« Das nötige Vulkangestein sei hier zu Lande reichlich vorhanden.

Eine neue Aufgabe für stillgelegte Kohlekraftwerke

Nach Angaben des Leiters für Forschung und Entwicklung bei Siemens Gamesa strebt das Unternehmen an, die Kosten für die Energiespeicherung auf unter zehn Eurocent pro Kilowattstunde zu

senken. Das wäre nur ein Bruchteil dessen, was die Speicherung in Batterien koste, und käme zudem ohne kritische oder limitierte Rohstoffe aus. Dabei basiert der Demonstrator zum Teil auf herkömmlichen Komponenten, die neu kombiniert wurden. Überschüssiger Strom wird über eine so genannte Widerstandsheizung und ein Gebläse in einen Heißluftstrom verwandelt.

Am interessantesten sei jedoch die Option, stillgelegte Kohlekraftwerke »kostengünstig zu leistungsfähigen Speichern für erneuerbare Energien umzurüsten«, erklärt Özdem. Dabei könne ein Großteil der Komponenten wie Netzanschluss,

Turbinen und Generatoren weiter genutzt werden. Salopp gesagt funktioniert das Ganze so, als würde man die Steine mit Hilfe eines überdimensionalen Föhns aufheizen. Soll daraus wieder Strom werden, wird kalte Luft in den Speicher geleitet. Die nimmt die Wärme der Steine auf und erzeugt über einen Dampfkessel sowie eine serienmäßige 1,5-Megawatt-Dampfturbine samt Getriebe und Generator elektrische Energie. Während die Stromerzeugung also wie in einem gewöhnlichen Kraftwerk geschieht, liegt das Novum in der Gesteinsschüttung als Speichermedium sowie in der Verbindung aus alt und neu.

Das Prinzip klingt nicht besonders kompliziert, aber die Umsetzung im Detail ist doch sehr aufwändig. Allein bis zum Bau dieser Pilotanlage bedurfte es jahrelanger Forschung – etwa um das passende Gestein zu finden.

In großem Stil wirtschaftlich

Das achteckige Gebäude, das den Vulkanschutt mit seinen dafür günstigen Eigenschaften birgt, ist mit einer dicken Isolierschicht ausgestattet. 880 Sensoren überwachen konstant den Zustand des Speichers, vor allem für wissenschaftliche Zwecke. Das Institut für Technische Thermodynamik der Technischen Universität Hamburg (TUHH) erforscht die Grundlagen der Gesteinsschüttung und entwickelt Vorhersagen für die Hochskalierung. »Wir berechnen Effizienz und Wirtschaftlichkeit solcher Speichersysteme mittels Computersimulation«, erklärt Michael von der Heyde von der TUHH. »Die Anlage in Altenwerder dient zur Validierung der Modelle.«

In ihrer kleinen Dimension ist so eine Anlage zwar nicht rentabel, deshalb wird das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geför-

dert. Eine größere Anlage wird dies aber sein. Davon ist nicht nur der deutsch-spanische Betreiber überzeugt, sondern auch der städtische Versorger Hamburg Energie, der sich um entsprechende Vermarktungskonzepte kümmert.

Ingenieure und Forscher testen derzeit die einzelnen Komponenten und ihr Zusammenspiel unter realen Bedingungen. »Wir prüfen zum Beispiel die Strömungsverteilung beim Beheizen«, berichtet Jennifer Wagner, als Cheffingenieurin des Windkraftunternehmens für ETES zuständig. »Dabei – wie auch im gesamten Betriebsverlauf – sehen wir, dass unsere Konzepte funktionieren, auch im Hinblick auf eine Hochskalierung.« Das nächste Ziel sei der wirtschaftliche Betrieb so eines Speichers mit einer Leistung von einer Gigawattstunde. Er kann einen Wirkungsgrad von 45 Prozent erreichen; im Demonstrator sind es 22 Prozent. Das Be- und Entladen des ETES dauert jeweils 24 Stunden.

Stabilisierung des Stromnetzes

Grundsätzlich können Speicher auch zur Stabilisierung des Stromnetzes dienen.

Steht zu viel Strom zur Verfügung, zum Beispiel weil die Windkraftanlagen auf vollen Touren laufen, nehmen Speicher die nicht benötigte Energie auf und entlasten so das Netz. Umgekehrt stellen sie Elektrizität zur Verfügung, wenn sich ein Mangel an Erzeugerleistung abzeichnet, etwa bei Flaute. Oder sie puffern Bedarfsspitzen. Die ETES-Pilotanlage in Hamburg-Altenwerder ist nach Angaben der Betreiber flexibel genug, um als Sekundärreserve zu dienen: Die Stromerzeugung lässt sich innerhalb weniger Minuten hochfahren.

Bereits jetzt ist der Steinspeicher in das »virtuelle Kraftwerk« von Hamburg Energie eingebunden. Das ist eine digitale Plattform mit einem Energiemarkt, auf dem Angebot und Nachfrage austariert werden sollen. »Um die Energie effizient nutzen zu können, brauchen wir eine speziell angepasste Informations- und Kommunikationstechnologie, die den Handel am Markt mit der Steuerung von Anlagen in Echtzeit verbindet«, erklärt Onnen Heitmann, bei Hamburg Energie für Innovation und Entwicklung zuständig.

Das kommunale Unternehmen hat die unter anderem auf der Blockchain-Technologie basierende Software gemeinsam

mit Hochschulforschern entwickelt, um die unterschiedlichsten Energieerzeuger – Windräder, Solar- und Biogas-Anlagen – sowie Verbraucher und Speicher miteinander zu verknüpfen. »Für die Pilotanlage haben wir ein Leitsystem entwickelt, das den Speicher in den deutschen Energiemarkt integriert«, sagt Steffen Niediek, Produktmanager für Flexibilitätsmanagement beim städtischen Energieversorger.

Das soll die gespeicherte Energie entsprechend der Nachfrage optimal vermarkten – und zusätzliche Dienstleistungen für Kunden bereitstellen. Nicht weit von der Anlage entfernt befindet sich mit dem Aluminiumwerk von Trimet einer der größten Stromverbraucher der Hansestadt. In Zukunft könnte das Unternehmen mit Hilfe eines solchen Speichers nicht nur seine Stromkosten senken, sondern zum Beispiel auch eine »grüne« Produktlinie aufbauen: Den ebenfalls auf Blockchain-Technologie basierenden Ökostrom-Nachweis liefert das »virtuelle Kraftwerk« gleich mit. ↩

(Spektrum – Die Woche, 16/2020)



Spektrum
der Wissenschaft
KOMPAKT

ERNEUERBARE ENERGIEN

Eine Wende mit Hürden

Fossile Energien | Kriegen wir noch die Kurve?
Fliegende Turbinen | Vorbild Lenkdrachen
Power-to-Gas | Speicher für grünen Strom

HIER DOWNLOADEN

FÜR NUR
€ 4,99

UNSPLASH / MASTER WEN



SPRINGER'S EINWÜRFE

NEUE ENERGIE FÜR AFRIKA

von Michael Springer

Können viele Länder des Erdteils die Phase fossiler Stromversorgung überspringen und gleich auf erneuerbare Energien setzen? Modellrechnungen verdeutlichen die Chancen und Probleme.

Die wirtschaftliche Erfolgsgeschichte der Industrieländer hat auf der Nutzung von Kohle, Öl und Erdgas beruht. Angesichts der heute unübersehbaren Nebenwirkungen wie Umweltschäden und Klimawandel kämpfen die Nationen jetzt mit dem Übergang zu erneuerbaren Energiequellen. Die Regionen mit den stärksten Emissionen – Nordamerika, Europa und China – haben sich mehr oder weniger bindend vorgenommen, ab Mitte des Jahrtausends klimaneutral zu wirtschaften.

Doch was ist mit den Entwicklungsländern? Müssen sie erst einmal die industrielle Revolution nachholen und dabei den fossilen Energiepfad beschreiten, um anschließend auf Sonne, Wind und Wasserkraft umzusteigen? Oder können sie die klimaschädliche Phase einfach auslassen und ihren Lebensstandard gleich mit Hilfe regenerativer Quellen deutlich anheben?

Michael Springer ist Schriftsteller und Wissenschaftspublizist. Seit 2005 betreut er die Kolumne »Springers Einwürfe« in »Spektrum der Wissenschaft«.

Für das elegante Überspringen der fossilen Wirtschaft, in der Fachwelt Leapfrogging genannt, sprechen die Effizienz, die Fotovoltaik und Windkraftanlagen in den vergangenen Jahrzehnten erreicht haben, sowie die hohe Verfügbarkeit von Sonne und Wind in den Tropen. Am Beispiel von Afrika haben Forscher nun die Chancen und Hemmnisse des Leapfrogging auf Basis umfangreicher Datensätze durchgerechnet.

Die Umweltökonomin Galina Alova von der University of Oxford und ihr Kollege Philipp Trotter von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen erstellten ein Programm, das aus Informationen über laufende und geplante Kraftwerke Zukunftsszenarien zu entwickeln vermag. Die Algorithmen sind zu maschinellem Lernen fähig; sie werden anhand historischer Daten trainiert, indem sie zunächst Zielpunkte in der Vergangenheit anpeilen und diese Szenarien mit der dann tatsächlich eingetretenen Situation abgleichen. Dadurch lernt das Programm schließlich, fundierte Prognosen über die künftige Energieentwicklung Afrikas zu liefern.

Wie die Forscher angesichts der erstmals so komplett erhobenen Daten betonen, ist die Ausgangslage dem Leapfrogging wenig förderlich. Afrikas Strom wird derzeit zu 80 Prozent fossil erzeugt. Damit trägt der Kontinent zunehmend zum globalen CO₂-Ausstoß bei – und in Bezug auf das starke Wachstum von Bevölkerung und Wirtschaft droht das, sofern nicht umgesteuert wird, in den kommenden Jahrzehnten noch viel schlimmer zu werden. Windkraftanlagen spielen vorderhand kaum eine Rolle. Solaranlagen werden zwar überall eifrig gebaut, tragen aber nur wenige Prozent zum Energiemix bei.

Was tun? Alova und Trotter weisen auf die speziell in Afrika große Planungsunsicherheit bei der Stromerzeugung hin; sie empfehlen deshalb, derzeit beabsichtigte Wärmekraftwerke gar nicht erst zu errichten und dafür auf erneuerbare Energien zu setzen. Entscheidend für dieses Umsteuern wären einerseits gezielt eingesetzte Finanzmittel der internationalen Entwicklungshilfe und andererseits die konsequente Förderung durch die jeweilige Regierung.

Erfahrungsgemäß reagieren dezentrale Versorger besonders beweglich auf den Wechsel zum regenerativen Pfad. In Indien beispielsweise versorgen viele lokale Solaranlagen kleinere Betriebe direkt, anstatt ihren Strom ins nationale Netz einzuspeisen. Auch in Afrika könnte die Beispielwirkung solcher Erfolge für mehr Sonne im Energiemix sorgen.

Die Szenarien besagen: Wenn es Afrika bis 2030 nicht gelingt, sich von fossilen Energieträgern zu lösen, könnte es dafür zu spät werden. Ein baldiger radikaler Wechsel zur Solarwirtschaft wäre – um einen bekannten Mondfahrerspruch abzuwandeln – ein großer Sprung für Afrika und ein wichtiger Schritt für die Menschheit. ↩

(Spektrum der Wissenschaft, 3/2021)

Spektrum der Wissenschaft KOMPAKT

Wertvolle Ressource in der Tiefe GRUNDWASSER

Klimawandel | Hitzefälle unter Großstädten
Trinkwasser | Aufwändige Aufbereitung
Nitrat und Co | Jenseits der Landwirtschaft

FÜR NUR
€ 4,99

HIER DOWNLOADEN

INTERESSENKONFLIKTE

BREMSKLOTZ FÜR DIE ENERGIEWENDE

von Peter Fairley

Ingenieure mögen noch so ausgetüftelte Ideen für eine Versorgung mit erneuerbaren Energien vorlegen – oft blockieren Interessengruppen wie auch historisch gewachsene Strukturen den Fortschritt.



Mehr als ein Jahrzehnt wartete Wales auf das Gezeitenkraftwerk in der Swansea Bay. Machbarkeitsstudien zufolge könnte es elf Prozent der walisischen Haushalte mit Strom versorgen, denn die Bucht ist Teil des Bristol Channel, einer Meerenge mit bis zu 15 Meter Tidenhub. Doch die Baukosten blieben unklar, ebenso die Auswirkungen auf den Fischbestand und die traditionellen Austernfarmen, ja auf die gesamte walisische Wirtschaft. Und so kam im Juli 2020 zunächst das vorläufige Aus für das Projekt. Seit Ende März 2021 werden die Möglichkeiten eines Gezeitenkraftwerks in der Bucht jedoch wieder untersucht.

Ob Gezeiten- oder Windkraftwerk, dergleichen geschieht häufig. »Planer unterschätzen meist die große Rolle politischer und wirtschaftlicher Prozesse«, erklärt die kanadische Historikerin Petra Dolata von der University of Calgary. Der Klimawandel dürfte daran nichts ändern.

Peter Fairley ist Wissenschaftsautor in Victoria, Kanada.

Um den Ausstoß an Kohlendioxid zu reduzieren, liegt es beispielsweise nahe, neue Kraftwerke dort zu bauen, wo sie besonders effizient arbeiten können. Deshalb versuchen Forscher Wind, Sonneneinstrahlung, Regen und andere relevante Umweltgrößen zu ermitteln und dann mit immer besseren Modellen abzuschätzen, wo sich der technische und finanzielle Aufwand lohnt. Doch auch noch so rational begründete Programme lösen sich oft in nichts auf, wenn sie mit den Realitäten vor Ort konfrontiert werden.

Per Högselius, Wissenschafts- und Technologiehistoriker am KTH Royal Institute of Technology in Stockholm, präsentiert in seinen Vorträgen zum Thema gern ein Bild von Schwäbisch Hall im 16. Jahrhundert. Damals war die Stadt ein Zentrum der Salzproduktion in Europa. Was wir heute ganz selbstverständlich als Würzmittel auf den Tisch stellen, diente damals auch dazu, Lebensmittel zu konservieren. Dementsprechend hoch war die Nachfrage, und so lohnte es sich, das dort salzhaltige Grundwasser aufzukochen und zu verdampfen. Der flämisch-deutsche Künstler Frans Hogenberg (1535–1590) erfasste in seinem Gemälde

AUF EINEN BLICK

Eigennutz vor Umweltschutz

01 Strom erzeugende Kraftwerke sowie die zur Verteilung unabdingbaren Netze sollten sich in einer Weise entwickeln, die nachhaltige Energiequellen möglichst effizient einbindet.

02 Die erforderlichen Planungswerkzeuge stehen zur Verfügung, doch prallen die notwendigen Baumaßnahmen mitunter auf Umweltbedenken oder Anwohnerinteressen.

03 Das größte Hemmnis aber sind die Interessen von Unternehmen wie auch Staaten, bestehende Infrastrukturen weiter zu nutzen, um Investitionsgüter und Arbeitsplätze zu erhalten.

die dramatischen Auswirkungen dieser florierenden Industrie: kahle, baumlose Hänge. Im 16. Jahrhundert waren die Wälder rund um Schwäbisch Hall laut Högselius bereits abgeholzt und verfeuert. Der Künstler deutete sogar die damalige Lösung des Problems an, denn auf dem Fluss malte er treibende Stämme. »Als es vor Ort keine Wälder mehr gab, wechselte man also nicht zu einem anderen Brennmaterial oder gar einer anderen Industrie, sondern importierte Holz im großen Stil.« Das war zwar teurer, doch offenbar immer noch rentabel.

Die Lehre daraus lautet: Investitionen beziehungsweise die damit verbundenen Gewinnerwartungen, kulturelle Gewohnheiten sowie die Einbindung in Handelsnetze setzen ökonomische Prozesse in Gang, die den Status quo stabilisieren. »Sobald man eine bestimmte Richtung eingeschlagen hat, entsteht eine innere Logik, die es unabdingbar erscheinen lässt, den Weg weiterzugehen«, warnt Högselius.

Wegen dieser Eigendynamik setzen sich neue Energiequellen erst dann durch, wenn es mit den traditionellen nicht mehr geht. In Europa, China und anderen Tei-



KUPFERSTICH VON FRANS HOGENBERG (KOLORIERT); BRAUN, G., HOGENBERG, F.: CIVITATES ORBIS TERRARUM. BD 3, KÖLN, 1581 / SCHWÄBISCH HALL UM 1580 / PUBLIC DOMAIN

len der Welt löste die Kohle das Feuerholz als Brennstoff erst ab, nachdem die Wälder im Zuge industriellen Wachstums großflächig verschwunden waren und globale Handelsnetze fossile Brennstoffe befördern konnten. Erdgas und Atomkraft setzten sich ebenfalls während solcher Energiekrisen in der Stromerzeugung durch. Diesen Zusammenhang er-

IN SCHWÄBISCH HALL | Die Salzproduktion in Schwäbisch Hall verschlang die Wälder der Umgebung. Im 16. Jahrhundert wurde Brennholz importiert, statt andere Energiequellen zu nutzen.

kannte allerdings nicht jeder Zeitgenosse. Auch heutzutage halten manche Interessengruppen an ihren eigenen, nicht immer rational nachvollziehbaren Vorstellungen fest, leugnen den Klimawandel oder lehnen die daraus abzuleitenden Konsequenzen aus wirtschaftlichen Gründen ab. Ökonomen arbeiten deshalb daran, Faktoren wie Gesundheit oder Umweltbelastung mathematisch zu erfassen und die Kraftwerks- und Stromnetzpläne so transparenter zu machen.

Unabhängig von sozialen und politischen Bedenken lautet das Kredo mancher Experten: Erneuerbare Energien lassen sich nur dann zuverlässig und kosteneffektiv nutzen, wenn die Kraftwerksstandorte in einem kontinentalen Maßstab optimiert werden. Das würde sogar den Bedarf an Energiespeichern reduzieren, wie eine Studie der US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) von 2016 ergab. Christopher Clack, Koautor der Studie und jetzt Geschäftsführer von Vibrant Clean Energy in Erie (Colorado), das Modelle für Stromversorgungsnetze entwickelt, versichert: »Wenn nur der teilnehmende Markt oder die Region groß genug ist, kann man

Kohlendioxidemissionen und Kosten gleichzeitig reduzieren.«

Globalisierung der Stromwirtschaft

Das Konzept der Energieglobalisierung ersann 2004 der deutsche Energieberater Gregor Czisch, als er darauf hinwies, dass Windkraftwerke in Nordafrika und dem Mittleren Osten im Sommer maximale Leistung liefern, in Nordeuropa hingegen im Winter. Durch entsprechende Kombination ließen sich kosteneffektiv 100 Prozent des Energiebedarfs von 50 Ländern in Europa, Nordafrika und dem Mittleren Osten decken. Dabei ging er von mehreren hunderttausend Windturbinen aus, die noch von Biomasse- und schon existierenden Wasserkraftwerken unterstützt würden. Im Leitungsnetz zwischen Erzeugern und Verbrauchern sollte Gleichstrom fließen, der über lange Distanzen weniger Verluste verursacht als Wechselstrom.

Die NOAA-Studie konzentriert sich auf die USA im Jahr 2030. Die Autoren möchten den Ausstoß von Treibhausgasen vor allem durch Windenergie und große Solaranlagen reduzieren (Letztere waren 2004 noch zu teuer, kamen daher in

Czischs Szenario nicht vor), ergänzt von wenigen Gas- und Kernkraftwerken. Treibhausgasemissionen durch die amerikanische Energieerzeugung würden so um bis zu 79 Prozent reduziert bei vermutlich gleichzeitig sinkenden Strompreisen. Eine Gruppe kanadischer, US-amerikanischer und mexikanischer Wissenschaftler entwickelte sogar einen Optimierungsplan für den ganzen Kontinent, der 2019 vorgestellt wurde.

Ehrgeizige Stromoptimierungspläne, die die Installation tausender Kilometer von Hochspannungsleitungen erfordern, müssen aber immer noch entweder von einer Regierung oder von den zuständigen Behörden genehmigt werden. In den USA stehen dem oft Befürchtungen entgegen, dass lokale Energieerzeuger einem stärkeren Konkurrenzdruck ausgesetzt sind, wenn neue Leitungen Strom aus anderen Gebieten bringen. Netzbetreiber in Deutschland können damit umgehen, ringen jedoch um den Verlauf der als SuedLink bezeichneten Gleichstromtrasse, die Offshore-Windparks im Norden mit Süddeutschland verbinden soll. Denn viele Gemeinden lehnen es ab, dass oberirdische Leitungen

mitsamt Strommasten über ihr Gebiet führen.

Selbst in der Volksrepublik China bremsen sozialer und politischer Druck die Energiewende aus. Das Stromnetz wird dort einzig von der State Grid Corporation of China (SGCC) betrieben, dem größten Stromversorger der Welt. Dessen Umsätze übertrafen 2015 die von Duke Energy, dem größten amerikanischen Unternehmen dieses Wirtschaftssektors, um das Vierfache. Die SGCC legt nicht nur fest, wie viel Strom jedes einzelne Kraftwerk verkaufen darf, sie lässt oft bei Netzüberlastung Wind-, Solar- und Wasser- statt Kohlekraftwerke herunterfahren. Dies sei besser für die Netzstabilität, lautet die Begründung. Dem unabhängigen Energieberater Chi-Jen Yang zufolge sichert das Unternehmen damit aber lediglich seine Umsätze im konventionellen Bereich. »Die Zentralregierung hat starke Kapitalinteressen an der Kohleindustrie«, sagt er, »und mischt sich deshalb im Markt ein, um deren Profitabilität zu schützen.« Mit ernsten Folgen: Solches Abschalten der Kraftwerke reduzierte 2015 die Stromerzeugung durch Windkraft um 15 Prozent, die Aus-



WINDPARK NOORDOOSTPOLDER | Neue Kraftwerke für erneuerbare Energien werden zwar gründlich geplant, doch oft blockieren nicht technische oder ökologische, sondern soziale oder wirtschaftliche Probleme die Realisierung.

beute der Fotovoltaik um 10 Prozent. Um die Verluste nicht weiter steigen zu lassen, setzten die Behörden in Peking den Bau einiger Windfarmen aus.

Lange Leitungen für den Kohlestrom

Yang sagt, dass die SGCC ihr Leitungsnetz ausbauen könnte, um das Problem zu beheben. Und tatsächlich errichtet das Großunternehmen neue Gleichstromleitungen sehr schnell, weil es keine Rücksicht auf Einsprüche von Anrainern nehmen muss. Doch beim Entwurf neuer Stromtrassen hatte man nicht die Wind- und Sonnenenergie im Kopf, sondern den Kohlestrom, der vom Norden Chinas in die großen Städte im Osten, wie Peking, gebracht werden musste. Dort wurden nämlich nach Protesten gegen die Luftverschmutzung Kraftwerke abgeschaltet.

Die Entwickler haben aber noch einen gewissen Spielraum. So verschiebt sich laut Yang das Wachstum der Windenergieerzeugung vom Norden und Westen immer mehr auf küstennahe Standorte und Offshoreprojekte in den Ostprovinzen Chinas. Wenn die Windenergie näher an die Millionenstädte rückt, wird

sie auch unabhängiger von Fernleitungen. Trotzdem schätzt er die Energiewende im Reich der aufgehenden Sonne im Vergleich zu den USA als unsicherer ein. Denn dort seien es Bundesstaaten und Konzerne, die den Ausbau erneuerbarer Energien vorantreiben, während in China alles vom Willen der Zentralregierung abhängt – und der könne sich schnell ändern.

Indien hat ganz andere Sorgen. Dort leben derzeit mehrere hundert Millionen Menschen ohne Zugang zu Elektrizität. Dezentrale Lösungen könnten schnell Abhilfe schaffen, doch »selbst dort, wo das Hauptstromnetz immer wieder ausfällt, wollen die Leute unbedingt daran angeschlossen werden«, konstatiert Jamie Cross von der University of Edinburgh. Der Grund sei der auf dem Subkontinent verbreitete Mythos, große Kraftwerke brächten ökonomische Unabhängigkeit.

Indiens erster Premierminister Jawaharlal Nehru (1889–1964) nannte Megastaudämme die »Tempel des modernen Indien«. Mehr als 60 Jahre später sind solche Großvorhaben zwar in Verruf geraten, da sie die Umwelt zerstören und

oft mit massiven Umsiedlungen einhergehen, der Mythos aber ist immer noch lebendig. Es hilft auch nicht, dass es inzwischen gute Möglichkeiten gibt, erneuerbare Energien einzusetzen, von solarbetriebenen Handlaternen bis zu Mikrostromnetzen für ganze Dörfer. Denn die können dann doch wenig mehr, als Handys aufzuladen und Lampen zum Leuchten zu bringen. Cross berichtet von einem Dorf im indischen Bundesland Bihar, wo die Bewohner 2014 ein Angebot von Greenpeace auf ein solches Mikronetz mit der Begründung ablehnten: »Wir wollen echte Elektrizität!« Ähnlich würden wohl auch die Bewohner von Goudaguda im indischen Bundesstaat Odisha reagieren. Sie gehören zu den Adivasi, einer in Indien wenig geachteten ethnischen Minderheit. Ihrer Meinung nach wird der Zugang zum Hauptstromnetz von Angehörigen höherer Kasten blockiert. »Der ersehnte Anschluss wäre in ihren Augen ein Symbol dafür, dass der Staat sie als gleichberechtigte Bürger anerkennt.«

Dass solche Mythen auch in den Industriestaaten wirken, zeigt die Planung für das Gezeitenkraftwerk in der Swan-

sea Bay. Das Projekt gilt in Wales als Zeichen des Neuanfangs – eine innovative Technologie sollte die einstige Bergbauregion zukunftsfähig machen. Als die britische Regierung 2015 Planungen für das Projekt genehmigte, glaubte der Gemeinderat, es würde Swansea als Musterbeispiel für die Erzeugung erneuerbarer Energien weltweit bekannt machen. Mehr als zwei Jahre danach diskutiert die Regierung aber immer noch über die Höhe der Subventionen. Das Projekt soll 1,5 Milliarden Euro kosten. Wie viel des Investitionsrisikos sollte der Staat übernehmen, um diese Technologie voranzubringen? Das ist nur eine weitere nicht technische Frage, die – zum Leidwesen der Politiker – kein Modell beantworten kann.



(Anm. d. Red.: Artikel wurde am 13. August 2021 aktualisiert.)

(Spektrum der Wissenschaft, Juli 2018)

MacDonald, A. E. et al.: Future cost-competitive electricity systems and their impact on US CO2 emissions. In: Nature Climate Change 6, S. 526–531, 2016

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT



KRISEN MEISTERN

Was uns in **schwierigen Zeiten** hilft

Covid-19 | Belastung für die Psyche
Rezession | Was Angst mit uns macht
Traumata | Wie sich Resilienz fördern lässt

HIER DOWNLOADEN

Print: 5,90 Euro • Download: 4,99 Euro

AUCH ALS
GEDRUCKTE
AUSGABE
ERHÄLTlich!



MEXIKO

WARUM DIE IKOJTS GEGEN **DIE WINDKRAFT KÄMPFEN**

von Ulrike Prinz

Windenergie gilt als sauber. Doch die Ikojts, eine indigene Gruppe in Mexiko, bekämpfen sie als »kontaminierend«. Der Ethnologe Oliver D. Liebig wollte herausfinden, warum.

Der Bug der Lancha hebt sich und springt über die Wellen. Wasser spritzt ins Boot, es ist warm und salzig. An den Ufern ist karge Vegetation zu erkennen. Die zahlreichen Inseln liegen wie große braune Dünen in einer Wüste aus Wasser. Von hier aus kann man die Barra Santa Teresa sehen, auf der der Windpark entstehen soll. Pelekane segeln vorbei.

Die Stellen, an denen die Fischer der Ikojts ihre Netze auswerfen, wechseln ständig. Sie orientieren sich dabei an den vom Wind hervorgerufenen Strömungen und Bewegungen der Fische. Die Kanäle zwischen den Inseln sind fischreich. Plötzlich, beim Einholen des Netzes, beginnt das Boot heftig zu schwanken. El Nortazo, der starke Nordwind, hat sich erhoben und pfeift hell durch die Maschen des Fischernetzes. Das Einholen muss nun schnell gehen, während das Boot von den Wellen hin und her geworfen wird.

Wenn der Nortazo weht, kann das Fischen gefährlich werden. Seine Böen

können einen Lastwagen umwerfen, umso mehr die Lanchas, die Fischerböten in der Lagune. Vor allem während der Monate Dezember und Januar rauscht der starke Wind über den Isthmus von Tehuantepec. Hier ist Mexiko gerade einmal 260 Kilometer breit, im Norden der Golf von Mexiko, im Süden der Pazifik. Auf halbem Weg formen zwei Gebirgsketten einen natürlichen Korridor, der die besten Voraussetzungen dafür erfüllt, den Wind in erneuerbare Energie zu verwandeln.

Erneuerbare Energiequellen erleben seit der Jahrtausendwende einen starken Aufschwung, vor allem in Mexiko. Vom Jahr 2000 an hat sich das Land auf dem Markt der Windenergie etabliert, um seine Abhängigkeit von den sinkenden Einnahmen im Ölgeschäft zu verringern und Emissionen zu reduzieren. Innerhalb von knapp 20 Jahren wurden in ganz Mexiko 54 Windparks mit einer Leistung von 4935 Megawatt installiert. Und der Markt ist mit einem geschätzten Gesamtpotenzial von 71000 Megawatt noch gut ausbaufähig. Allein in der Region Oaxaca stehen bereits 28 Windparks. Doch um den geplanten Megawindpark San Dioni-

sio auf der schmalen Landzunge der Barra Santa Teresa, den zweitgrößten in ganz Lateinamerika, gibt es Streit. Und das schon seit fast zehn Jahren.

Fehde um das Windkraftwerk

Die Ikojts wehren sich mit Händen und Füßen gegen die Installation des Windparks. Die indigene Gruppe, deren Angehörige vor allem als Fischer leben, hat es dazu mit dem mexikanischen privatwirtschaftlichen Konsortium Mareña Renovables / Eólica del Sur aufgenommen.

»Mareña Renovables glaubt, dass sie hier einfach ankommen können und dass der Wind ihnen gehört, oder?«, sagt Pablo, ein Fischer aus San Mateo.

Wie ihre Nachbarn, die Binnizá, kritisieren die Ikojts, dass der Bau des Windparks unsauber und gewaltsam durchgedrückt werde. Ohne umfassende Information über das Projekt und ohne Befragung der Betroffenen oder durch Irreführung sei versucht worden, die lokalen Bevölkerungsgruppen über den Tisch zu ziehen. Bürgermeister würden gekauft und Gegnerinnen und Gegner des Projekts gezielt durch paramilitärische Gruppen eingeschüchtert. Erst am

21. Juni 2020 wurden bei einem Gewaltausbruch in San Mateo 15 Ikojts auf grausame Art zu Tode geprügelt und teilweise verbrannt. Die Anwohner von San Mateo führen den Vorfall auf die langjährige Fehde um das Windkraftprojekt zurück.

Massive Verstöße gegen nationales und internationales Recht seien das, finden die Indigenen. Verletzt würden unter anderem mehrere Artikel des von Mexi-

ko ratifizierten »Übereinkommens über indigene und in Stämmen lebende Völker in unabhängigen Ländern« der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO). Es ist eine Einschätzung, der sich etwa auch die Coalition for Human Rights in Development anschließt. Der Zusammenschluss zahlreicher Nichtregierungsorganisationen hat es sich zum Ziel gesetzt, Menschenrechtsverletzungen in mit öffentli-

chem Geld geförderten Infrastrukturprojekten aufzudecken. Der Konflikt um den Windpark ist einer von 25 Fallberichten in ihrer jüngsten Veröffentlichung, dem 2019 erschienenen Report »Uncalculated Risks«. Minuziös protokolliert die Organisation darin die Unregelmäßigkeiten im Genehmigungsverfahren, das gewaltsame Vorgehen gegen die Protestierenden und den Mangel an staatlicher Rückendeckung für die Gemeinden.

Wir kennen das Meer und den Wind

Die Dörfer der Ikojts, San Dionisio del Mar, San Mateo del Mar, San Francisco del Mar und Santa María del Mar, liegen alle an der Lagune. Es gibt mehrere kleine Inseln, wie den Cerro Cristo, auf dem sich eine heilige Stätte der Ikojts befindet, und den Strand Playa Copalito, von dem die Fischer zu ihren Fangfahrten ablegen. Vom Pazifischen Ozean ist die Lagune

FISCHER IN IHREN KLEINEN MOTORBOOTEN |

In der Lagune fangen sie Fische und Krustentiere. Doch wenn der Windpark kommt, befürchten sie, dass ihnen der Fischfang keine Lebensgrundlage mehr bietet.





KARGES LAND, ABER EIN IDEALES REVIER FÜR DIE WINDKRAFT | Fast nirgendwo in Mexiko sind die Bedingungen für Windkraft so gut wie im Süden des Isthmus von Tehuantepec. Bereits jetzt dominieren große Windparks den Blick aufs Nordufer der Lagune.

durch zwei schmale Halbinseln getrennt. Eine weitere Landzunge, die Barra Santa Teresa, die an ihrer schmalsten Stelle nur rund 100 Meter breit ist, ragt mehrere Kilometer weit in die Lagune hinein. Ginge es nach dem Windpark-Unternehmen, sollen auf dieser elegant geschwungenen Nehrung mehr als 100 Windenergieanlagen entstehen.

»Wir kennen das Meer und den Wind. Das Unternehmen kennt sie nicht«, erklärt Santiago aus San Mateo. Und tatsächlich lieferten die Ikojts schon zu prä-

kolumbischen Zeiten Garnelen, Fisch und andere Meeresprodukte für die Händler der aztekischen Salzroute. Noch heute ist der Fischfang in San Dionisio eine wichtige Einkommensquelle, obwohl – wie in vielen indigenen Dörfern Mexikos – auch die »remesas« zu einer zentralen Säule der lokalen Ökonomie geworden sind: die Geldsendungen der abgewanderten Gemeindemitglieder.

Als der Ethnologe Oliver D. Liebig 2012 das erste Mal von den Konflikten um die Windenergie zwischen den indigenen

Gruppen und dem Staat hörte, ging er mit der Erwartung nach San Dionisio, die Erklärung sei im Wind selbst zu finden; es handle sich um einen Nutzungskonflikt oder um die Frage, wem der Wind gehöre. Doch auf seine Fragen bekam er von den Ikojts unerwartete Antworten.

»Fragte ich nach erneuerbaren Energien, erzählten sie vom Fischen. Fragte ich nach dem Wind, erzählten sie von der Lagune, den Fischen und Garnelen. Als ich begann, mich nach den Fischen und Garnelen zu erkundigen, sprachen sie

von den Mangroven, in denen diese laichen, und von den Strömungen, die in der Lagune entstehen«, sagt Liebig. »Es stellte sich heraus, dass für die Ikojts Laichgründe, Strömungen, Mangroven und Wellen weitaus mehr im Mittelpunkt standen als der Windpark selbst.«

Jenseits politischer Konflikte

Um die indigenen Perspektiven auf den geplanten Windpark zu verstehen, verbrachte Liebig zwischen 2013 und 2017 ein Jahr bei den Ikojts in San Dionisio und führte eine stationäre teilnehmende Beobachtung durch. Dazu führte er Interviews und offene Gespräche mit den Menschen vor Ort, aber er nahm auch ganz praktisch am Fischfang teil, bei der Feldarbeit, bei Festen und Ritualen. Sein Ziel war es, die sozialen und ökologischen Verflechtungen zu verstehen, die durch den Windpark in Bewegung geraten wa-

»DIE SCHMUTZIGE SEITE DER SAUBEREN ENERGIE« | Auf Hauswänden stehen Botschaften des Protests gegen die Windparkbetreiber. »Entwicklung für wen?«, fragen die Einheimischen.



OLIVER LIEBIG

Mitten durch die Lagune

Insgesamt 132 Windkraftanlagen will das Konsortium Mareña Renovables / Eólica del Sur auf der schmalen Landzunge errichten. Es wäre der zweitgrößte Windpark Mexikos.



Bereits gebaute Windparks



Standorte des geplanten Windparks



ren, und vor allem, wie sich die Ikojts in ihrer Umwelt wahrnehmen. Die Ergebnisse erschienen im Februar 2020 in seinem Buch »Der Geist des Windparks«.

Don López, ein Bewohner von San Dionisio, erzählte Liebig: »Wir sind die Ikojts. Wir leben an diesem Ufer des Mar muerte [toten Meeres, gemeint ist die Lagune]. Weil wir hier geboren sind, wachsen wir hier auf. Unsere Großeltern, unsere Vorfahren, die Urgroßeltern. Wir haben el Mar gesehen, und es gibt uns Unterhalt.«

Die Sonne brennt herunter, und der Wind fegt durch die Straßen von San Dionisio. Das Städtchen ist nach einem Schachbrettmuster angelegt mit einem Versammlungsraum im Zentrum. Nur wenige seiner staubigen Straßen sind asphaltiert. An die Stelle der palmbedeckten Lehmziegelbauten von einst treten immer häufiger Betonhäuser. Im Norden reichen die bereits gebauten Windparks bis an die Lagune von San Dionisio heran.

»Unsere Halbinsel ist sandig. Es ist Mangrovegebiet. Es ist ein Ökosystem«, sagt José. »Allein die Tatsache, dass sie an einer so engen Stelle so tief ausheben müssen, da sagt man sich, na ja, und wie

wollen sie das an einer so engen Stelle machen? Denn die Barra Santa Teresa ist an ihren breitesten Stellen nur 500 Meter breit ... und es gibt die Mangroven und endemische Arten. Hier kommen auch Zugvögel durch, und da fragt man sich, wie ist es möglich, dass wir davon reden, ›saubere Energie‹ zu erzeugen, wenn wir damit ein Ökosystem zerstören?«

Der politische Wille, die Windkraft in Mexiko auszubauen, ist groß. Entsprechend kommen die für die Genehmigung erforderlichen Regierungsgutachten zum immer gleichen Schluss: dass keine Probleme zu erwarten sind. Unabhängige Studien über die Umweltfolgen der Windparks gibt es kaum. Dabei werden die Windkraftanlagen in ein biologisch reiches Ökosystem gebaut. Der Isthmus von Tehuantepec ist ein Hort der Biodiversität in Mexiko. Hier, an der pazifischen Südküste der Region, besteht durch die Winde und die durch sie entstehenden Strömungen ein hohes Nährstoffangebot an Plankton vor der Küste, was zu reichen Fisch- und Garnelenpopulationen in der Lagune führt. Hier leben endemische Arten wie der Tehuantepec-Hase. Zugvögel machen hier Halt, und

Meeresschildkröten nutzen die sandigen Strände zur Eiablage.

»Der Windpark ist das Ende für uns Fischer«

Ihre Windenergieprojekte versprechen den privatwirtschaftlichen Konsortien satte Gewinne. Die lokale Bevölkerung aber, erklärt Liebig, könne weder mitgestalten noch mitverdienen. Die in Aussicht gestellten Pachteinahmen sind den Ikojts zu gering, weniger als umgerechnet zehn Euro pro Hektar und Jahr bekommen die Landbesitzer. Und die Offerter des Windparkbetreibers, 1,4 Prozent der gesamten generierten Energie der Region zugutekommen zu lassen, kann den befürchteten Verlust der eigenen Lebensweise und der Zukunft ebenso wenig ausgleichen. »Das führt auch dazu, dass sie die Auswirkungen auf Mangroven, Lagune und Fischfang als besonders bedrohlich empfinden und dass die Angebote der Konsortien für die Indigenen keine Alternative darstellen.« Dabei könnte deren Wissen helfen, die potenziellen Auswirkungen der Windparks auf Mangroven, Lagune und Fischfang abzufedern. Und sie könnten die zähen und teilweise

gewaltsamen Konflikte besänftigen. »Gerade bei einem Vorhaben erneuerbarer Energien sollten die lokalen indigenen Gruppen aktiv und mit einer angemessenen Beteiligung einbezogen werden«, meint der Ethnologe.

Dass es dazu nicht kommen würde, haben die Ikojts schnell begriffen. Das Megaprojekt hinter ihrem Dorf auf der Barra Santa Teresa werde alles verändern, glauben sie. Mateo, selbst ein Fischer, erwartet, dass die Windturbinen ihm und den anderen Fischern den Garaus machen werden. Er schüttelt den Kopf: »Sie werden Energie mit Wind erzeugen, sie sagen, dass das nicht kontaminiert. Aber ich muss kein großer Experte sein, um zu verstehen, dass es kontaminiert. Wenn wir nach La Venta gehen und sehen, wie an den Ventilatoren das Öl herunterläuft. Was passiert da? Ich frage mich, verschmutzt dieses Öl? Es verschmutzt, und zwar ziemlich viel!«

Alejandro hingegen stört sich an den Signalleuchten der Turbinen, die nachts blinken. »Das irritiert die Fische und Garnelen.« Aus Erfahrung wissen die Fischer, dass bereits kleine Reflexionen des Sonnenlichts den Tieren Gefahr signalisie-

ren. »Ja, sie haben Angst vor dem Licht. Und wenn sie die Turbinen errichten, haben die Lichter.« Auch das Sirren der Rotoren und Vibrationen vertreibe die Fische, meint Alejandro.

Bei seiner Feldforschung erkennt Liebig, dass der Begriff der »Kontamination« für die Ikojts weit mehr bedeutet als das herabtropfende Schmieröl. Ihre an den Fischfang geknüpfte Lebensweise bestimmt ihre Identität. Die Lagune gehört dazu, ebenso wie der Wind und die Mangroven. Sie bilden die Lebensgrundlage der Ikojts. An dieses Gefüge knüpfen die Ikojts ihre Geschichte und ihr Schicksal. Für sie hat sich daraus eine Gemeinschaft gebildet, die ihnen stets das Überleben gesichert hat. Durch den Windpark droht für sie die Zerstörung dieser für sie wichtigsten Beziehungen, des sozioökologischen Gleichgewichts von menschlichen und nicht menschlichen Akteuren.

»Wenn sie die [Windräder] aufstellen wollen«, meint Tonio, »dann sollen sie das auf den Hügeln hier machen. Aber nicht am Meer. Denn das ist unsere Lebensquelle.« ↩

(Spektrum – Die Woche, 48/2020)

BLICK IN DIE ZUKUNFT

Utopien | Geschichte eines Missverständnisses
Zukunftsvisionen | Zu viel Apokalypse
Predictive Coding | Vorhersagen im Gehirn

FÜR NUR
€ 4,99

HIER DOWNLOADEN

Spektrum DIE WOCHE



Das wöchentliche Wissenschaftsmagazin

IM ABO!

Als Kombipaket mit App und PDF

Mit News, Hintergründen, Kommentaren und Bildern aus der Forschung sowie exklusiven Artikeln aus »nature«. **Nur 0,92 € pro Ausgabe** (monatlich kündbar), für Schüler, Studenten und Abonnenten unserer anderen Magazine sogar nur 0,69 €.

Jetzt bestellen!