

ENERGIE

Ausgabe 1/2021

Perspektiven

Forschung für die Energieversorgung von morgen

Bilanz

Energie 2020

Im vergangenen Jahr lagen Kohle- und Windstrom in Deutschland erstmals auf Augenhöhe. Windräder an Land und auf See erzeugten insgesamt 133 Milliarden Kilowattstunden Strom – etwa so viel, wie alle Braun- und Steinkohlekraftwerke zusammen.

EDITORIAL | Laut Klimabilanz des Umweltbundesamtes wurden im letzten Jahr fast neun Prozent weniger Treibhausgase freigesetzt als 2019 – der größte Jahresrückgang seit der deutschen Einheit. Mehr als die Hälfte davon ging auf das Konto der Energiewirtschaft (siehe Seite 2). Der Vorrang erneuerbarer Quellen und der insgesamt sinkende Energieverbrauch im Gefolge der Corona-Pandemie brachten hier ein Minus von gut 14 Prozent. Weltweit, so die Internationale Energieagentur, ließ die Corona-Krise die energiebedingten Kohlendioxid-Emissionen um sechs Prozent sinken – so viel wie seit dem Zweiten Weltkrieg nicht. Allerdings: Nach Tiefstand im April stiegen mit anziehender Wirtschaft auch die globalen Emissionen wieder an. Im Dezember lagen sie bereits um zwei Prozent höher als im Vorjahresmonat.

Vor allem wegen der Corona-Pandemie und der Einschränkungen im wirtschaftlichen und öffentlichen Leben nahm der Primärenergieverbrauch in Deutschland 2020 um fast neun Prozent im Vergleich zum Vorjahr ab. Die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen errechnete einen historischen Tiefstand von 399 Millionen Tonnen Steinkohleneinheiten.

Mit Ausnahme der Erneuerbaren verzeichneten alle Energieträger Rückgänge: Der Verbrauch an Mineralöl ging um rund 12 Prozent zurück. Erdgas sank um gut drei Prozent ab, Stein- und Braunkohle um jeweils 18 Prozent. Kernenergie lieferte nach der Abschaltung des Kraftwerks Philippsburg 14 Prozent weniger Strom. Nur die erneuerbaren Energien steigerten ihren Beitrag – um insgesamt drei Prozent.

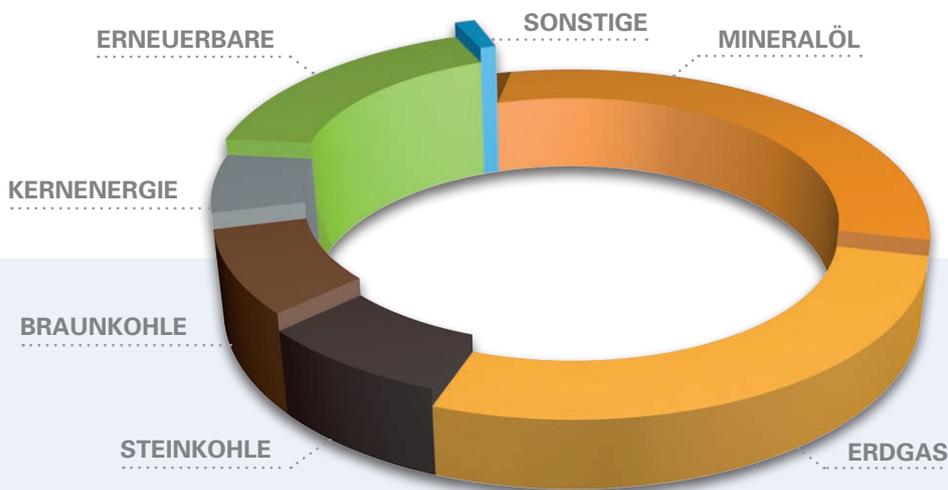
Trotz dieser Veränderungen bleibt es bei einem breiten Mix: Gut 76 Prozent des Primärenergieverbrauchs entfallen auf fossile Energieträger, auf Öl und Gas, Stein- und Braunkohle, sechs Prozent auf Kernenergie. Die Erneuerbaren steigerten ihren Beitrag auf fast 17 Prozent. Ihre

Fortsetzung auf Seite 2

Die Redaktion

Ergänzt werden die Kurzbeiträge durch weiterführende Artikel im Internet.

1



Der Verbrauch an Primärenergie lag 2020 um insgesamt 8,7 Prozent unter dem Niveau des Vorjahres. Mit Ausnahme der Erneuerbaren verzeichneten alle Energieträger Rückgänge.

Daten: ACEB, Grafik: Reinald Fenke

Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz stieg laut Bundesnetzagentur auf insgesamt 24 Milliarden Euro.

In Folge der Corona-Pandemie ging auch der Stromverbrauch zurück – um gut vier Prozent auf 544 Milliarden Kilowattstunden, so der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. Entsprechend sank die Erzeugung: aus Steinkohle um mehr als ein Viertel, aus Braunkohle um knapp ein Fünftel. Gaskraftwerke legten um knapp ein Prozent zu. Die Erneuerbaren Energien lieferten insgesamt vier Prozent mehr Strom. Ihr Anteil an der Stromproduktion stieg damit auf fast 45 Prozent. Die stärksten Zuwächse – um jeweils gut elf Prozent – verzeichneten dabei Photovoltaik und Windenergie auf See.

Die Windenergie – bedeutendster Energieträger im Strom-Mix – erzeugte erstmals so viel Strom wie die Kohle. Die installierte Leistung der mittlerweile 29.608 Windräder an Land stieg um knapp 1.800 Megawatt auf nunmehr 55 Gigawatt. Bis 2030 sollen laut Erneuerbare-Energien-Gesetz 71 Gigawatt erreicht werden.

Auf See gingen gut 200 Megawatt neu ans Netz. Hier stehen inzwischen 1.500 Turbinen einer Gesamtleistung

von 7,8 Gigawatt – im europäischen Vergleich Platz zwei hinter Großbritannien. Bis 2030 sollen laut Windenergie-auf-See-Gesetz 20 Gigawatt installiert sein, das Doppelte bis 2040.

Rund 4.400 Megawatt Photovoltaikleistung wurden hinzugebaut. Am Jahresende waren damit zwei Millionen Anlagen mit insgesamt 53 Gigawatt installiert. Bis 2030 sollen es nach jetzigen Plänen 100 Gigawatt werden.

In der Klimabilanz sanken die Treibhausgas-Emissionen um 70 Millionen Tonnen oder minus 8,7 Prozent – der größte Jahresrückgang seit 1990, so das Umweltbundesamt. Den kräftigsten Beitrag dazu leistete die Energiewirtschaft mit minus 38 Millionen Tonnen. Allerdings lassen sich gut ein Drittel aller Minderungen auf die Folgen der Corona-Pandemie zurückführen. „Ohne die Corona-Lockdowns mit den Einschränkungen bei Produktion und Mobilität hätte Deutschland sein Klimaziel für 2020 verfehlt“, so Bundesamtspräsident Dirk Messner: „Das bedeutet, dass die Emissionen wieder steigen werden, wenn die Wirtschaft anspringt“.

imi

Elektrizität

Strom aus Körperwärme

Ein tragbarer thermoelektrischer Generator wandelt Körperwärme in elektrischen Strom um. Ein Gerät in Armband-Größe genüge, um Uhren oder Fitness-Tracker mit Strom zu versorgen, berichtet ein Forscherteam um Jianliang Xiao von der University of Colorado in Boulder (Colorado, USA). Auch am Bein oder am Finger könnten solche Generatoren getragen werden.

Während Batterien irgendwann ersetzt oder aufgeladen werden müssen, können Thermo-Generatoren, so Xiao, konstante Leistung liefern. Sie nutzen Tempera-

turunterschiede, um elektrische Spannung zu erzeugen. Der Unterschied zwischen der menschlichen Haut und der Umgebungsluft reicht bereits für eine kleine Spannung aus.

Die Forscher kombinierten starre thermoelektrische Chips mit einem flexiblen Untergrund, dem biegsamen und dehnbaren Kunststoff Polyimin. Elektrische Kontakte aus einer flüssigen Metall-Legierung aus Gallium und Indium leiten den Strom dann zu einem Verbraucher. „Unser Design macht das gesamte System dehnbar, ohne das thermoelektrische Material stark zu belasten, was sehr spröde sein kann“, so Xiao.

Das Substrat aus flexiblem Kunststoff und Flüssigmetall hat selbstheilende Eigenschaften: Schiebt man Teile an einer gerissenen Stelle zusammen, verbinden sich die Kunststoffketten und metallischen Kontakte innerhalb einer Viertelstunde wieder. In fünf bis zehn Jahren, schätzen die Forscher, könnten ihre Geräte auf den Markt kommen.

Ein thermoelektrischer Generator, getragen als Ring.



Foto: Xiao Lab

Stefan Parsch

30 Jahre ASDEX Upgrade

Im Jahr 1991 erzeugte die Fusionsanlage ASDEX Upgrade am 21. März 1991. Seitdem wird sie am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching erfolgreich genutzt, um Betriebsweisen für ein zukünftiges Fusionskraftwerk zu entwickeln.

Um nach dem Vorbild der Sonne aus der Verschmelzung von Atomkernen Energie zu gewinnen, muss es gelingen, den Brennstoff – ein dünnes Wasserstoff-Plasma – stabil und nahezu berührungsfrei in magnetischen Feldern einzuschließen und auf hohe Temperatur über 100 Millionen Grad aufzuheizen. Zu diesem Zweck ist ASDEX Upgrade mit einer leistungsstarken Plasmaheizung ausgerüstet und mit einem besonderen Bauteil, einem Divertor. Er reguliert die Wechselwirkung zwischen dem heißen Brennstoff und den umgebenden Wänden des Plasmagefäßes. Dazu lenkt ein zusätzliches Magnetfeld den äußeren Rand des ringförmigen Plasmas auf robuste, gekühlte Platten am Boden des Gefäßes. So werden Verunreinigungen aus dem Plasma entfernt. Zugleich hüllt die vom Divertor-Feld geformte Randschicht das Zentralplasma wie ein wärmender Mantel ein – eine Voraussetzung für gute Wärmeisolation.

„Weil wichtige Eigenschaften des Plasmas sowie die Belastung der Wände den Verhältnissen in einem späteren Kraftwerk angepasst sind“, sagt Projektleiter Prof. Dr. Arne Kallenbach, „können wir mit ASDEX Upgrade unter kraftwerksähnlichen Bedingungen forschen“. Dazu gehören Fragen zum Material für die innere Wand des Plasmagefäßes: Die erfolgreichen Experimente an ASDEX Upgrade mit Wolfram – dem Metall mit dem höchsten Schmelzpunkt – wiesen größeren Anlagen den Weg: In einem Umbau erhielt das europäische Gemeinschaftsexperiment JET einen Wolfram-Divertor. Der internationale Experimentalreaktor ITER entschied, auf den zunächst geplanten Kohlenstoff-Divertor zu verzichten und gleich auf Wolfram zu setzen. Für das Demonstrationskraftwerk ist Wolfram das Referenzmaterial.

Ein wichtiges Arbeitsthema ist der stabile Einschluss des Plasmas in seinem magnetischen Käfig. Beim Wechselwirken der geladenen Plasmateilchen mit dem Magnetfeld können sich nämlich unterschiedlichste Störungen entwickeln: Zum Beispiel kann das Randplasma kurzzeitig seinen Einschluss verlieren und periodisch Plasmateilchen und -energie nach außen auf die Gefäßwände werfen. Während der mittelgroße ASDEX Upgrade dies verkraftet, könnte in Großanlagen wie ITER der Divertor überlastet werden.

Auch im Inneren des Plasmas sind Instabilitäten unerwünscht. Wenn Temperatur und Druck in die Nähe der Zündwerte kommen, können hier „magnetische Inseln“ auftreten. Im vormals symmetrischen Plasmaring bilden sich dann blasenartige Störungen mit in sich geschlossener Magnetfeldstruktur. Es kommt quasi zu einem magnetischen Kurzschluss. Plasmatemperatur und -druck sinken über die Breite der Insel ab. Die Leistung eines späteren Kraftwerks würde darunter leiden.

Zu beiden Problemen konnte ASDEX Upgrade Lösungen finden. Randinstabilitäten lassen sich entweder durch eine gezielte Verformung des Magnet-

Im Kontrollraum: Projektleiter Arne Kallenbach vor der Videowand mit der 38812-ten Plasmaentladung.



Foto: Elisabeth Jaletzke

feldes am Plasmarand vermeiden oder durch die maßgeschneiderte Einstellung der Plasmawerte am äußersten Plasmarand. Magnetische Inseln wiederum konnte man durch eingestrahlte Mikrowellen in die Mitte einer entstehenden Insel auflösen. Nach diesem Vorbild enthalten die ITER-Pläne seither eine steuerbare Einkopplung für Mikrowellen.

„In vielerlei Hinsicht“, sagt Projektleiter Prof. Dr. Arne Kallenbach, „kann ASDEX Upgrade als ‚Blaupause‘ für ein Tokamak-Fusionskraftwerk angesehen werden. Die in 30 Jahren erarbeiteten Muster-Entladungen liefern zusammen mit neu entwickelten Computercodes verlässliche Informationen für ein Kraftwerk“.

Um sich für die Zukunft zu rüsten, will man demnächst ein neues Divertor-Konzept testen: Zwei zusätzliche Magnetspulen an der Decke des Plasmagefäßes sollen das Divertor-Feld so auffächern, dass sich die Leistung aus dem Plasma auf eine größere Fläche verteilt. Prototypen und ein Teststand für die Montage sind bereits fertiggestellt. Mitte 2022 soll der Einbau beginnen.

Bleibt die Kamera bei Videokonferenzen ausgeschaltet oder läuft der Stream in Standardauflösung, lässt sich der ökologische Schaden erheblich reduzieren.



Foto: Panthermedia, Andriy Popov

-übertragung verbrauchte Wasser könnte mehr als 300.000 olympische Schwimmbecken füllen; die in Anspruch genommene Landfläche entspräche in etwa der von Los Angeles.

Bleiben jedoch während Videokonferenzen die Kameras ausgeschaltet, ließe sich der ökologische Schaden um 96 Prozent reduzieren, schätzen die Forscher. Das Streamen in Standardauflösung statt in High Definition bei Apps wie Netflix oder Hulu könnte 86 Prozent einsparen.

Dabei unterscheiden sich die Umweltbelastungen von Land zu Land. Der mit dem Internet verbundene Kohlendioxid-Ausstoß ist zum Beispiel in den USA um neun Prozent höher als im globalen Durchschnitt, der Wasser- und Land-Verbrauch aber 45 bzw. 58 Prozent niedriger. Obwohl in Deutschland – wegen des vergleichsweise hohen Anteils erneuerbaren Stroms – die Emissionen 28 Prozent unter dem weltweiten Durchschnitt liegen, sind Wasser- und Landverbrauch deutlich höher – um 34 bzw. 200 Prozent.

Die Schätzungen beruhen auf öffentlich zugänglichen Daten. Sie sind daher nur grob, sagen die Forscher – nur so gut wie die verfügbaren Daten. Trotzdem ließen sie einen Trend erkennen. Der lässt die Autoren befürchten, dass die Corona-Pandemie den Weg in eine ökologisch unkontrollierte digitale Welt beschleunigen könnte: „Der neu entwickelte digitale Lebensstil hat große Vorteile für die Umwelt, einschließlich Reduzierung der reisebedingten Kohlendioxid-Emissionen“, schreiben sie. „Die stärkere Internetnutzung hat jedoch versteckte Umweltauswirkungen, die aufgedeckt werden müssen, um den Übergang in eine kohlenstoffarme und grüne Wirtschaft erfolgreich zu gestalten“.

bal

 www.energie-perspektiven.de

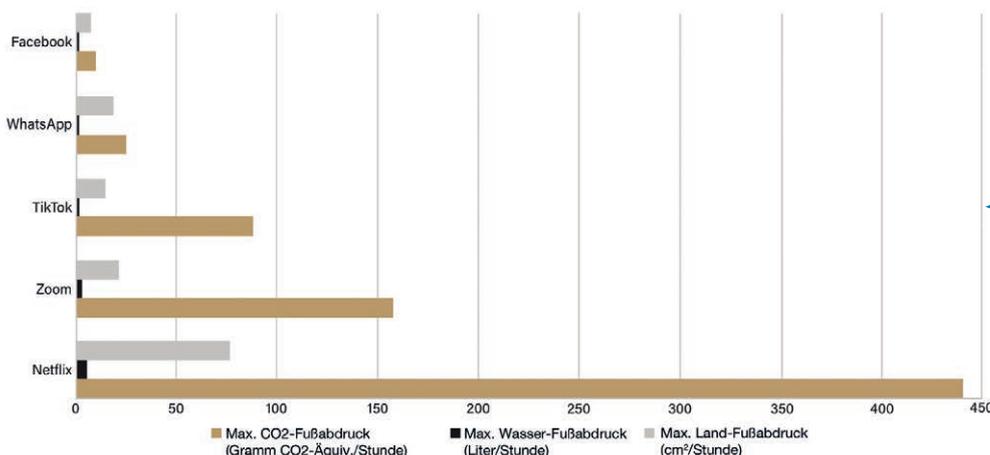
Internet

Kamera aus!

Seit die Corona-Pandemie das öffentliche Leben lähmt, gehen die Kohlendioxid-Emissionen weltweit stark zurück. Aber auch die nach Hause und ins Internet verlagerte Arbeit und Unterhaltung hat Auswirkungen auf die Umwelt. Das sagen Forscher von Purdue und Yale Universität sowie des Massachusetts-Institut für Technologie in einer neuen Studie.

Die Nutzung des Internet vor der Pandemie war für 3,7 Prozent der globalen Treibhausgas-Emissionen verantwortlich: Eine Stunde Videokonferenz oder Streaming setzt – je nach IT-Technologie und in Anspruch genommenem Stromerzeugungsmix – 150 bis 1000 Gramm Kohlendioxid frei. Zudem werden bis zu zwölf Liter Wasser verbraucht und im Mittel eine etwa tellergroße Fläche Land beansprucht. Zum Vergleich: Ein Liter Benzin, im Automotor verbrannt, erzeugt etwa 2300 Gramm Kohlendioxid.

In der Corona-Pandemie nahm der Internetverkehr weltweit stark zu. Setzt sich der Trend bis Ende 2021 fort, wäre laut Studie ein Wald der zweifachen Fläche Portugals nötig, um das zusätzlich freigesetzte Kohlendioxid zu binden. Das für die Datenverarbeitung und



Grafik: Purdue University, Kayla Wiles

Abschätzung des Kohlendioxid-Ausstoßes sowie des Wasser- und Landverbrauchs, den die Stromerzeugung für eine Stunde Datenverbrauch in Internet-Apps verursacht.

IMPRESSUM

Herausgeber: Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
 Postfach 1322
 85741 Garching
 Tel. +49 (0) 89 3299-1288
 Fax +49 (0) 89 3299-2622
 E-Mail: info@ipp.mpg.de
 Redaktion: Isabella Milch
 Gestaltung: Reinald Fenke

Gedruckt auf 100 Prozent
 Recyclingpapier
 22. Jahrgang 2021
 Nächste Ausgabe: Juni 2021
 Abonnement:
www.energie-perspektiven.de
 ISSN 1438-5708