

# ENERGIE- WENDE

Von der Kleinwindanlage  
bis zum Solarpark

## Windkraft

Eine Turbine hinterm  
Gemüsebeet

## Energieverbrauch

Smarter regulierte  
Speicher

## Ökostrom

Lohnt eine Solaranlage  
auf dem Dach?





Antje Findekle  
E-Mail: [findekle@spektrum.de](mailto:findekle@spektrum.de)

Liebe Lesende,  
selten war die Diskussion um fossile Energieträger so präsent wie derzeit. Zum einen wurde sehr deutlich, wie stark internationale Verflechtungen und damit auch Abhängigkeiten sind. Und zum anderen fragen sich viele, welche Maßnahmen sie selbst in ihrem Haushalt umsetzen können. Energiesparen ist dabei nur ein Weg. Denn inzwischen sind auch Anlagen für erneuerbare Energien durchaus im kleinen Maßstab interessant, sinnvoll und bezahlbar.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 25.04.2022

Folgen Sie uns:



**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-Mrschtik

**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

**ASSISTENZ GESCHÄFTSLEITUNG:** Stefanie Lacher

**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.),  
Michaela Knappe (Digital)

**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser,  
Tel.: 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto: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](mailto: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: © 2022 (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

SUBVENTIONEN

Warum immer noch Milliarden  
in die Fossilen fließen

SCHROPTSCHOPF / GETTY IMAGES / ISTOCK

SEITE

20

WASSERSTOFFTECHNOLOGIE  
Der Verbrenner ist tot, lang  
lebe der Verbrenner!

H<sub>2</sub>

AUDIOUWBERUNG / GETTY IMAGES / ISTOCK

ÖKOSTROM

Lohnt eine Solaranlage auf  
dem Dach noch?

SEITE

30

BOMBERMOON / GETTY IMAGES / ISTOCK

TIPPS ZUM ENERGIESPAREN

Energiewende zum Selbermachen

SEITE

49

PATRICK DAXENBICHLER / GETTY IMAGES / ISTOCK

04 SUBVENTIONEN

Warum immer noch Milliarden in  
die Fossilen fließen

13 GROSSE WIND- UND SOLARPARKS

Kollateralschäden am Klima?

20 WASSERSTOFFTECHNOLOGIE

Der Verbrenner ist tot,  
lang lebe der Verbrenner!

30 ÖKOSTROM

Lohnt eine Solaranlage  
auf dem Dach noch?

37 KLEINWINDKRAFTANLAGEN

Ein Windrad hinterm Gemüsebeet

42 ENERGIEVERBAUCH

Smarter regulierte Speicher

49 TIPPS ZUM ENERGIESPAREN

Energiewende zum Selbermachen

59 EU-TAXONOMIE

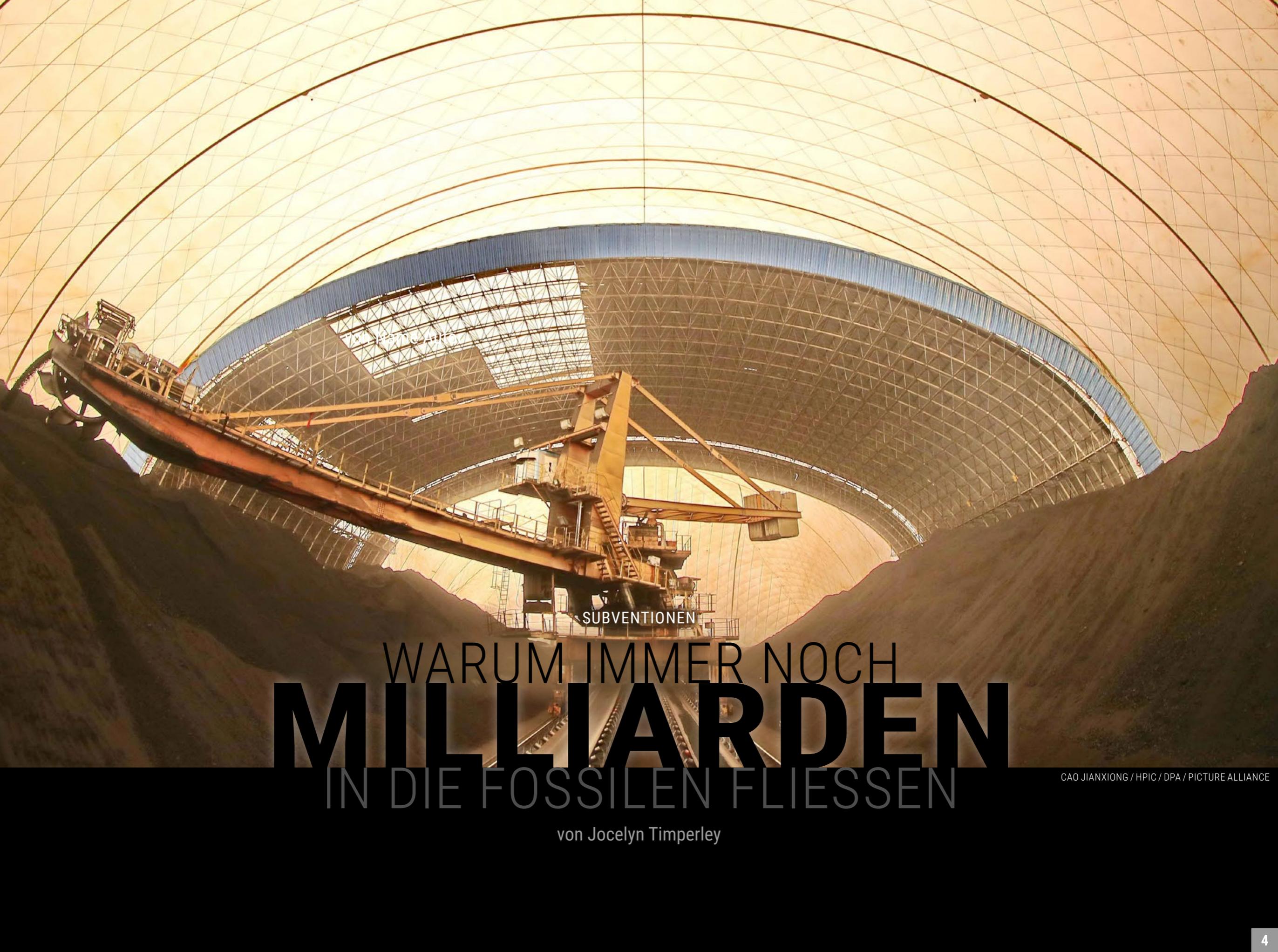
Wieso Erdgas auf einmal  
nachhaltig sein soll

66 KRITISCHE METALLE

Die Energiewende bekommt ein  
Rohstoffproblem

73 REZENSION

Eine (notwendige) Zumutung



PICTURE ALLIANCE

SUBVENTIONEN

WARUM IMMER NOCH  
**MILLIARDEN**  
IN DIE FOSSILEN FLIESSEN

CAO JIANXIONG / HPIC / DPA / PICTURE ALLIANCE

von Jocelyn Timperley

Fossile Energie – und damit der Klimawandel – wird Jahr für Jahr mit Abermilliarden subventioniert. Das ist anerkanntermaßen schädlich, doch die meisten Regierungen drücken sich.

**S**ubventionen für fossile Brennstoffe sind eine der größten finanziellen Hürden beim Umstieg auf erneuerbare Energien. Jahr für Jahr geben die Regierungen der Welt geschätzt eine halbe Billion US-Dollar aus, um den Preis für fossile Brennstoffe künstlich niedrig zu halten. Das ist mehr als dreimal so viel, wie an Subventionen in erneuerbare Energien gesteckt wird. All das, obwohl die Politik bereits mehrfach – auch im Rahmen von G7- und G20-Treffen – zugesagt hatte, dieser Art der Unterstützung ein Ende zu bereiten.

»Ich denke, alle sind sich im Grunde einig: Es muss etwas gegen Subventionen für fossile Brennstoffe getan werden«, sagt Harro van Asselt, Spezialist für Klimarecht und -politik an der Universität

von Ostfinnland in Joensuu. »Aber die Diskrepanz zwischen Rhetorik und Realität fängt langsam an weh zu tun. Es zeigt sich immer mehr, wie schwierig es ist, die Vorsätze in die Tat umzusetzen.«

Ein Wandel ist möglich: Immerhin 53 Länder haben ihre Subventionen für fossile Brennstoffe zwischen 2015 und 2020 reformiert, wie die Genfer Forschungsgruppe Global Subsidies Initiative (GSI) berichtet. Sogar US-Präsident Joe Biden hat sich als bislang letzter hochrangiger Politiker zur Abschaffung der Finanzhilfen bekannt. Getan werden muss aber noch weit mehr. »In den kommenden Jahren werden alle Regierungen die Subventionen für fossile Brennstoffe abschaffen müssen«, schreibt die Internationale Energieagentur (IEA) in einem aktuellen Bericht aus dem Jahr 2021. Darin skizziert sie eine »Roadmap« zum Erreichen von Netto-Null-Emissionen bis 2050.

**Vom 31. Oktober bis zum 12. November 2021** fand in Glasgow das 26. Treffen der Mitgliedsstaaten der Klimarahmenkonvention von Rio (Conference of the Parties, COP) statt. Lesen Sie mehr [rund um Klimawandel und Klimaschutz auf unserer Themenseite](#)

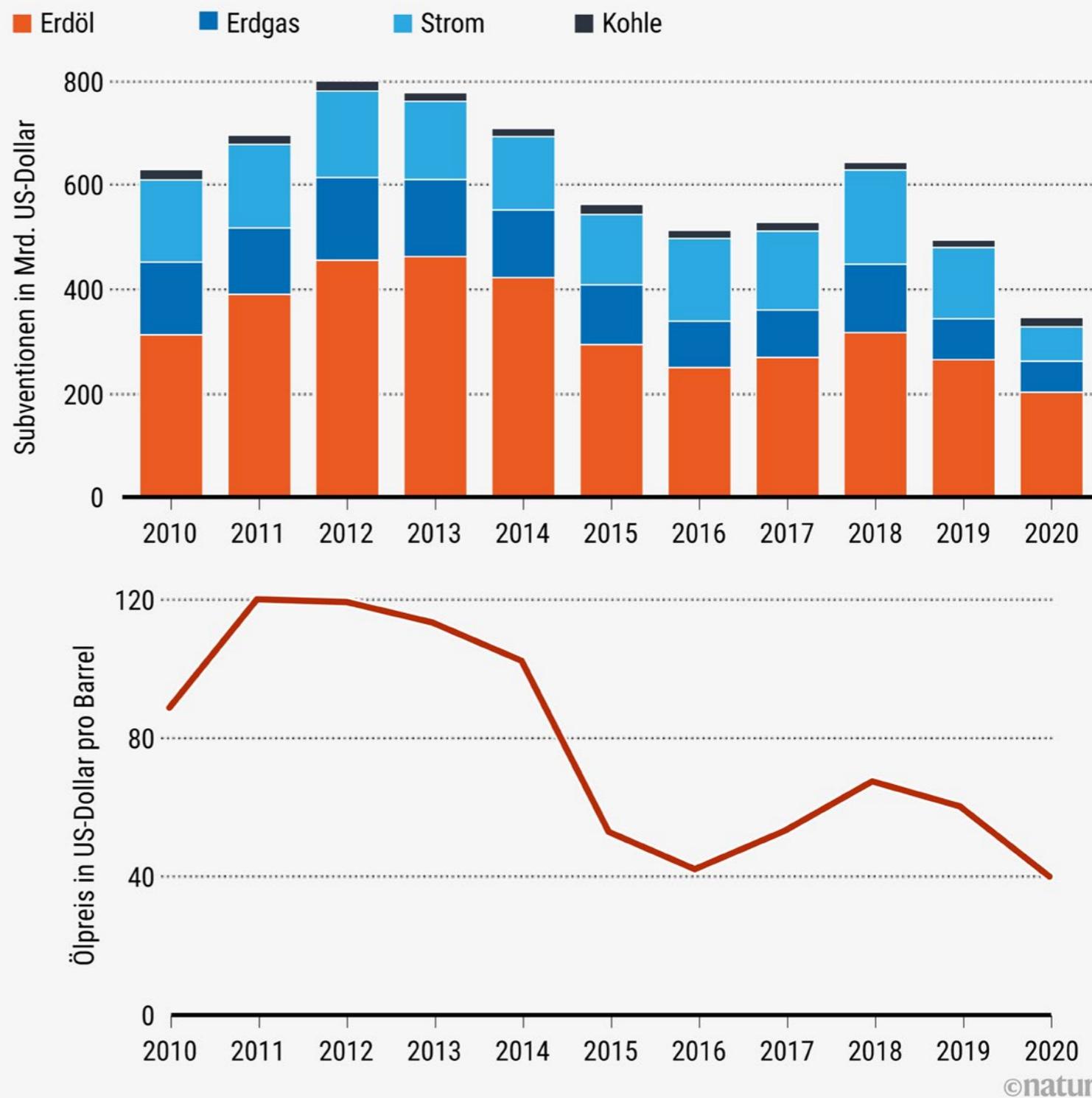
## Wie werden fossile Brennstoffe subventioniert?

Vereinfacht gesagt treten Subventionen für fossile Brennstoffe in zweierlei Gestalt auf. Zum einen sind da so genannte Produktionssubventionen. Das sind Steuererleichterungen oder direkte Zahlungen, die Öl-, Gas- oder Kohleförderung günstiger machen. »In westlichen Staaten sind Produktionssubventionen weit verbreitet«, sagt Bronwen Tucker, Analystin bei Oil Change International im kanadischen Edmonton. Die gemeinnützige Forschungsorganisation hat ihren Hauptsitz in Washington, D.C. und setzt sich dafür ein, die wahren Kosten der fossilen Brennstoffe aufzudecken. Produktionssubventionen, sagt Tucker, würden auch häufig dafür sorgen, dass sich eine Infrastruktur für fossile Energieträger dauerhaft etabliert – Ölpipelines und Gasfelder sind typische Beispiele.

Neben den Produktionssubventionen gibt es die Verbrauchssubventionen. Diese Staatshilfen senken Brennstoffpreise für den Endverbraucher, indem sie beispielsweise den Preis an der Tankstelle unter den Marktpreisen senken. Verbrauchssubventionen findet man in Ländern mit

## Schwankende Subventionen für fossile Energien

Die Höhe der jährlichen Subventionszahlungen schwankt stark in Abhängigkeit vom Ölpreis. Im Jahr 2020 gingen die Subventionen zurück, weil auch die Nachfrage nach Treibstoffen im Zuge der Coronapandemie sank.



NATURE, NACH: UPDATE ON RECENT PROGRESS IN REFORM OF INEFFICIENT FOSSIL-FUEL SUBSIDIES THAT ENCOURAGE WASTEFUL CONSUMPTION 2021. OECD-IEA, 2021; TIMPERLEY, J.: WHY FOSSIL FUEL SUBSIDIES ARE SO HARD TO KILL. NATURE 598, 2021; DT. BEARBEITUNG: SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

niedrigem Einkommen häufiger – in einigen Staaten helfen sie Menschen, saubere Energie zum Kochen zu bekommen. »In anderen Regionen wie im Nahen Osten werden Verbrauchssubventionen auch als direkte Hilfen für Bürger eingesetzt«, sagt Michael Taylor, Energieanalyst aus Bonn, der bei der Internationalen Agentur für erneuerbare Energien (IRENA) mit Sitz in Abu Dhabi arbeitet.

Die IEA und die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) schätzen, dass jene 52 Industrie- und Schwellenländer, die zusammengenommen für rund 90 Prozent des weltweiten Verbrauchs fossiler Brennstoffe verantwortlich sind, von 2017 bis 2019 Subventionen im Wert von durchschnittlich 555 Milliarden US-Dollar pro Jahr gewährt haben. Dieser Betrag sank danach auf Grund des geringeren Energiebedarfs und sinkender Brennstoffpreise während der Covid-19-Pandemie auf 345 Milliarden US-Dollar im Jahr 2020.

Nicht alle Organisationen ermitteln die Höhe solcher Subventionen nach den gleichen Maßstäben. Das International Institute for Sustainable Development

(IISD) verwendet beispielsweise den umfassenderen Begriff der »Unterstützung« und subsumiert darunter sämtliche finanziellen Hilfen, die aus öffentlicher Hand gewährt werden. Neben eigentlichen Subventionen sind das vor allem Zahlungen an Staatsunternehmen. In einem im November 2020 veröffentlichten Bericht schätzt die gemeinnützige Organisation aus Winnipeg in Kanada, dass allein die G20-Staaten zwischen 2017 und 2019 durchschnittlich 584 Milliarden US-Dollar pro Jahr für verschiedene Formen dieser Unterstützung ausgegeben haben. Das ist deutlich mehr als in der OECD-IEA-Analyse. Die größten Förderer sind demnach China, Russland, Saudi-Arabien und Indien.

Einigen Fachleuten ist auch das noch zu eng gefasst. Für sie sind versteckte Kosten fossiler Brennstoffe – also zum Beispiel ihre Auswirkungen auf die Luftqualität oder ihr Einfluss auf den Klimawandel – ebenfalls eine Art von Subvention. Denn die Verschmutzer müssen bislang nicht für die dadurch verursachten Schäden zahlen. Rechnet man solche »externen Kosten« mit ein, wie es der Internationale Währungsfonds Ende September

2021 getan hat, kommt man zum Beispiel auf ein Gesamtsubventionsvolumen für fossile Brennstoffe von rund 5,9 Billionen US-Dollar allein im Jahr 2020. Das sind fast sieben Prozent des globalen Bruttoinlandsprodukts.

Externe Kosten können beispielsweise die Grundlage für eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung liefern. Wie nützlich und aussagekräftig sie für die Debatte um Subventionszahlungen sind, ist umstritten: »Der durch fossile Brennstoffe verursachte Schaden ist massiv, aber ich würde ihn nicht als Subvention bezeichnen«, sagt etwa Johannes Urpelainen, Experte für Energiepolitik an der Johns Hopkins School of Advanced International Studies in Washington, D.C.

### **»Kein Handlungsbedarf« dank schwammiger Selbstverpflichtungen**

Unklare Definitionen wirken sich noch anderer Stelle aus. Die G7- und G20-Staaten haben sich zum Beispiel dazu verpflichtet, »ineffiziente Subventionen für fossile Brennstoffe« abzuschaffen. Sie führen aber nirgendwo aus, was das ganz konkret bedeutet soll. »Das ist eine sehr schwammige Verpflichtung«, sagt Ludovic

Subran, Chefökonom der Allianz Versicherungsgruppe, die im Mai einen Bericht über die Abschaffung von Subventionen veröffentlicht hat.

Die britische Regierung zum Beispiel sieht keinen Handlungsbedarf, und das, obwohl sie vom IISD zu den schlimmsten Subventionsgebern aller OECD-Mitgliedsstaaten gezählt wird. Die Fachleute des Thinktanks rechnen vor, dass das Vereinigte Königreich fossile Brennstoffe im Zeitraum von 2017 bis 2019 im Durchschnitt mit 16 Milliarden US-Dollar pro Jahr gefördert hat – indirekt über einen Verzicht auf Steuereinnahmen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe und direkt durch Finanzierung der einheimischen Öl- und Gasindustrie. Zu einem ähnlichen Urteil wie das IISD kommt auch ein Bericht der Europäischen Kommission von 2019.

»Sie streiten einfach ab, dass es bei ihnen ineffiziente Subventionen für fossile Brennstoffe gibt«, sagt Angela Picciariello, leitende Forschungsbeauftragte für Klima und Nachhaltigkeit am Overseas Development Institute in London. »Das macht es schwer, mit ihnen überhaupt nur zu diskutieren.« (Auf eine Anfrage

## Unterschiedliche Schätzungen

Das International Institute for Sustainable Development (IISD) bezieht bei seiner Schätzung der Subventionshöhe auch öffentliche Finanzhilfen etwa für Staatskonzerne mit ein (rot bis orange). Dadurch kommt es zu deutlich anderen Ergebnissen als OECD und IEA (blau).

