Im Land der Stromfresser

Nicht nur in den USA, auch bei uns gibt es Proteste gegen Rechenzentren. Sie verbrauchen Ressourcen und stören Anwohner. Geht das auch anders?

Von Piotr Heller (Text), Julia Bellan und Nina Hewelt (Grafik)

Bis vor Kurzem waren Rechenzentren ein unauffälliges Stück Infrastruktur. Zwar war unser modernes Leben ohne sie undenkbar: ohne Speicherkapazitäten in der Nähe kein Youtube oder Netflix, ohne Knotenpunkte keine Internetplattformen, ohne Supercomputer keine Wettervorhersagen. Aber die physische Entfaltung all dessen in Form grauer Betonklötze voller Computer ließ die meisten Menschen ziemlich kalt. Das ist nun vorbei.

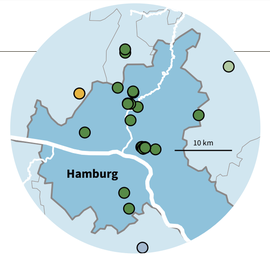
In den Vereinigten Staaten wurde im ersten Quartal dieses Jahres der Bau von 75 neuen Rechenzentren im Wert von 130 Milliarden Dollar durch Proteste blockiert oder verzögert. Einige Bundesstaaten beschlossen Moratorien für Neubauten. Rund 70 Prozent der Bevölkerung wollen keine Rechenzentren in der Nähe. Hierzulande zählt die Initiative „Heiße Luft“ mindestens 26 Protestgruppen. Die Gemeinde Groß-Gerau hat den Bau eines 160-Megawatt-Rechenzentrums gestoppt. Das ist vielleicht erst der Anfang.

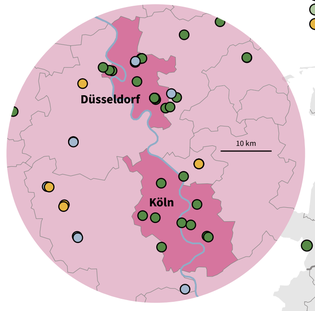
„In der Debatte kommen viele Aspekte zusammen, die auch hierzulande zu einer wachsenden Polarisierung führen können“, sagt Matthias Diermeier. Der Politikwissenschaftler vom Institut der Deutschen Wirtschaft (IW) erforscht die Akzeptanz von Transformationsprozessen. Zwar zeigt eine Umfrage des Branchenverbands Bitkom, dass zwei Drittel der Deutschen einem neuen Rechenzentrum am eigenen Wohnort positiv gegenüberstünden. Die Befragung leidet allerdings darunter, dass das Ausmaß neuer Rechenzentren vielen Anwohnern erst im Planungsprozess bewusst wird. Auch müssten solche Befragungen konkrete Szenarien für Abstände zum Rechenzentrum einbeziehen, sagt Diermeier. Solche Umfragen macht das IW gerade im Rahmen der Hightech-Agenda der Bundesregierung. Die Ergebnisse stehen noch aus, aber er vermutet: Je näher das Rechenzentrum, desto größer der Widerstand.

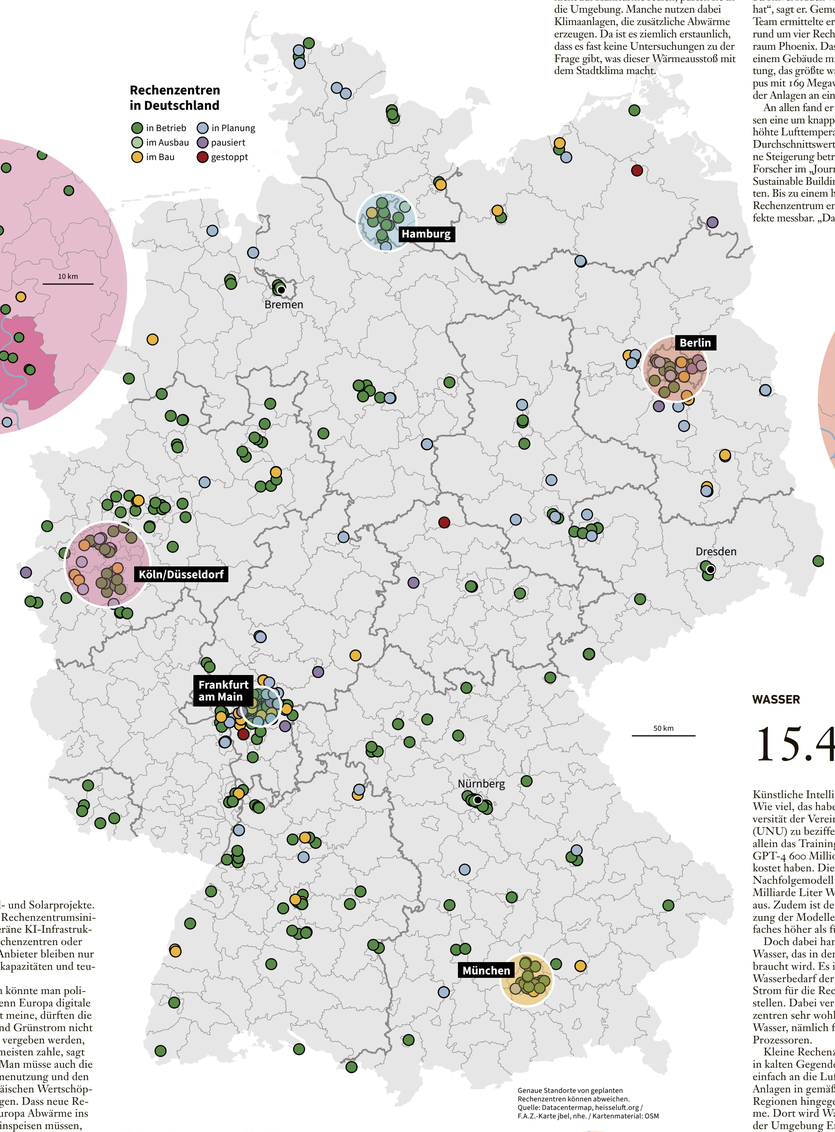
Dass der gerade jetzt hochkocht, hat zwei Gründe. Neue Rechenzentren sind zum Großteil eine Folge des KI-Booms. Viele Menschen sind skeptisch gegenüber dieser Industrie und ihren Vertretern. Tatsächlich ist der Widerstand gegen Rechenzentren zumindest in den USA Teil einer größeren Anti-Tech-Bewegung. „An der Frage, wie man zu Rechenzentren steht, macht man auch fest, wie man zu KI steht und zur Nutzung von Ressourcen“, sagt Diermeier.

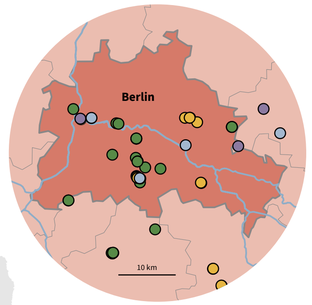
Und Rechenzentren brauchen immer mehr Ressourcen, denn sie werden größer und es werden mehr. Das ist der zweite Grund für den Widerstand. Im Jahr 2016 erstreckte sich das durchschnittliche Rechenzentrum auf etwa 10.000 Quadratmeter und brauchte eine Leistung von 15 Megawatt; heute sind es 20.000 Quadratmeter und 65 Megawatt. Sie beziehen also im Schnitt so viel Leistung, wie zehn große Windkraftanlagen erzeugen. Bisher gibt es in Deutschland laut öffentlichen Daten knapp 500 Rechenzentren, bereits 230 weitere sind geplant oder im Bau. Sie konkurrieren mit anderen Industrien, der Landwirtschaft und dem Bürger um Strom, Wasser und Fläche. „Das sind Aspekte, über die wir uns in Deutschland gerne streiten“, sagt Diermeier.

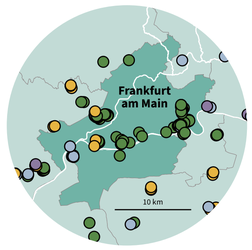
Lokal haben die Rechenzentren jedoch wenig zu bieten. Sie haben nur einige Dutzend Angestellte, wie Arbeitsmarktexperten aus den USA festgestellt haben. Um sie herum, so sagen die Forscher, entstehen bestenfalls in moderatem Umfang neue Arbeitsplätze. Diese Asymmetrie ist für Wolfgang Maaß der Kern des Problems: „Die Lasten sind lokal und konkret, der Nutzen ist global und diffus“, sagt der Wirtschaftsinformatiker von der Universität des Saarlandes. Schließlich fließe die Wertschöpfung überwiegend zu internationalen Konzernen. Die Frage nach der Zukunft von Rechenzentren dürfte sich also auch daran entscheiden, wie man die Probleme löst, die sie vor Ort verursachen.



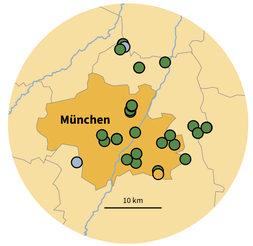








Genaue Standorte von geplanten Rechenzentren können abweichen. Quelle: Datacentermap, heisseluft.org / F.A.Z.-Karte jbel, nhe. / Kartenmaterial: OSM



ENERGIE

Überlastete Netze

Der Nachhaltigkeitsforscher Eric Masanet von der University of California teilt die Geschichte von Rechenzentren in drei Epochen ein. Um den explosionsartigen Anstieg ihres Energiebedarfs zu verstehen, den wir aktuell in der dritten Epoche beobachten, lohnt sich ein Blick auf die beiden davor.

Die erste begann in den Neunzigern mit dem Ausbau der Internetdienste. Rechenzentren waren klein und dezentral. Die Unternehmen betrieben sie selbst, Energieeffizienz spielte kaum eine Rolle. Das änderte sich in den Zehnerjahren, der Epoche des Cloud-Computings. Es entstanden Hyperscaler: riesige Anlagen großer Konzerne, die Rechenleistung und Speicher an andere Unternehmen verkaufen. Größer ist hier effizienter, berichtet Wolfgang Maaß, Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik an der Universität des Saarlandes: In Hyperscalern werden die vielen Server effizienter gekühlt, die Lasten vieler Kunden gebündelt und Hardware kann schneller erneuert werden.

In dieser Epoche sank der sogenannte Power-Usage-Effectiveness-Wert (PUE) der Rechenzentren kontinuierlich. Er beschreibt das Verhältnis des gesamten Energieverbrauchs zum reinen Energiebedarf der Rechnerinfrastruktur. Das heißt: Ein Rechenzentrum, bei dem viel Energie für die Kühlung draufgeht, hat einen höheren PUE-Wert und damit eine geringere Effizienz. Der gesamte Energieverbrauch blieb dadurch trotz wachsender Menge weitgehend stabil.

Das ist nun, in der KI-Epoche, völlig anders. „KI-Server benötigen bis zu zehnmal mehr elektrische Leistung als klassische Server, und die setzen sie in nie da gewesenen Ausmaßen ein“, schreibt der kalifornische Forscher Masanet in einem Artikel. Mit dem KI-Boom steigt der Energiebedarf von Rechenzentren längst so stark, dass Effizienzgewinne verpuffen. Die Internationale Energieagentur geht davon aus, dass sich der Strombedarf von heute rund 485 Terawattstunden pro Jahr auf 945 Terawattstunden im Jahr 2030 verdoppeln wird. Bis 2050 könnte er sogar 5000 Terawattstunden erreichen, wie Forscher aus der Schweiz im Magazin „Cell Reports Sustainability“ vorrechnen. Das würde den gesamten heutigen Energieverbrauch Deutschlands übersteigen.

Global betrachtet, handelt es sich bloß um einen einstelligen Prozentwert des gesamten Strombedarfs. Also alles halb so wild? Nein, sagt Wirtschaftsinformatiker Maaß. „Der globale Anteil ist die falsche Bezugsgröße.“ Entscheidend seien drei Dinge: die Wachstumsrate, die räumliche Konzentration und der Zeitpunkt. „In entwickelten Volkswirtschaften dürften Rechenzentren mehr als 20 Prozent des Nachfragewachstums bis 2030 verursachen“, sagt er. Rechenzentren würden in zwei bis drei Jahren gebaut, Netze und Kraftwerke in zehn. „Diese Lücke wird häufig fossil geschlossen.“

Die räumliche Konzentration hat in Deutschland bereits Folgen: Frankfurt, wo gemeinsam mit dem Umland mehr als ein Drittel der deutschen Rechenzentrums-Leistung steht, rechnet bis Mitte der Dreißigerjahre mit Engpässen bei neuen Stromanschlüssen. Der europäische Markt für Rechenzentren wird von wenigen US-Konzernen beherrscht. „Daraus entsteht ein Verdrängungsmechanismus“, sagt Maaß. Denn diese Firmen erhielten aufgrund ihres großen Kapitals und der langen Planungssicherheit oft Verträge für die günstigsten Wind- und Solarprojekte. „Für europäische Rechenzentrumsinitiativen, für souveräne KI-Infrastruktur, Forschungsrechenzentren oder mittelständische Anbieter bleiben nur knappe Anschlusskapazitäten und teurerer Strom.“

Dieses Problem könnte man politisch angehen: Wenn Europa digitale Souveränität ernst meine, dürften die Netzanschlüsse und Grünstrom nicht prinzipiell an den vergeben werden, der als erster am meisten zahle, sagt Wolfgang Maaß. Man müsse auch die Effizienz, Abwärmenutzung und den Beitrag zur europäischen Wertschöpfung berücksichtigen. Dass neue Rechenzentren in Europa Abwärme ins Fernwärmenetz einspeisen müssen, sofern eines vorhanden ist, ist bereits gesetzlich geregelt.

Zudem gibt es technische Möglichkeiten, den Strombedarf zu senken oder verstärkt nachhaltige Quellen zu nutzen. KI-Forscher arbeiten an kleinen, spezialisierten Modellen, die weniger Rechenleistung benötigen. Experten empfehlen zudem, zeitlich flexible Arbeitsschritte wie etwa das KI-Training dem Wind- und Solarangebot folgen zu lassen. Schätzungen aus der Schweizer „Cell“-Studie zufolge könnte man die unerwünschte Abregelung von Strom aus erneuerbaren Energien in Europa perspektivisch um ein Drittel verringern, wenn man die Lasten der Rechenzentren dynamisch dorthin verlagert, wo zu viel Strom im Netz ist. Dass das technisch geht, haben Forscher der Boston University gemeinsam mit dem Unternehmen Emerald AI anhand von fünf Rechenzentren demonstriert. So könnten Rechenzentren letztlich nicht nur effizienter werden, sondern auch die Energiewende unterstützen.

ABWÄRME

Bis zu zwei Grad Celsius

Annähernd die gesamte elektrische Energie, die in ein Rechenzentrum fließt, wird dort in den Prozessoren in Wärme umgewandelt. Und die muss irgendwo hin. Rechenzentren, die dabei nicht auf Kühltürme setzen, pusten sie in die Umgebung. Manche nutzen dabei Klimaanlagen, die zusätzliche Abwärme erzeugen. Da ist es ziemlich erstaunlich, dass es fast keine Untersuchungen zu der Frage gibt, was dieser Wärmeausstoß mit dem Stadtklima macht.

David Sailor, Professor für Stadtplanung an der Arizona State University, ist einer der wenigen, die nachgemessen haben. „Wir waren neugierig, welche Auswirkungen der sehr konzentrierte Stromverbrauch von Rechenzentren hat“, sagt er. Gemeinsam mit seinem Team ermittelte er die Lufttemperatur rund um vier Rechenzentren im Großraum Phoenix. Das kleinste bestand aus einem Gebäude mit 36 Megawatt Leistung, das größte war ein Rechen-Campus mit 169 Megawatt. Zudem lag eine der Anlagen an einem Wohngebiet.

An allen fand er windabwärts gemessen eine um knapp ein Grad Celsius erhöhte Lufttemperatur vor. Das war der Durchschnittswert. Die größte gemessene Steigerung betrug 2,2 Grad, wie die Forscher im „Journal of Engineering for Sustainable Buildings and Cities“ berichten. Bis zu einem halben Kilometer vom Rechenzentrum entfernt waren diese Effekte messbar. „Das hat Folgen für die Anwohner“, sagt Sailor. Sie reichten von Unbehagen bis zu hitzebedingten Gesundheitsproblemen. Zudem steige mit der Lufttemperatur auch der Wasserverbrauch von Haushalten um etwa fünf Prozent pro Grad Celsius sowie der Energieverbrauch von Klimaanlagen um rund zehn Prozent.

In Phoenix, einer der heißesten Großstädte der USA, ist jedes zusätzliche Grad ein Problem. In gemäßigten Klimazonen wie der Europas müsse man deswegen nicht so besorgt sein, meint Sailor, aber: „Gerade im Sommer sind solche zusätzlichen Wärmequellen relevant.“ Für ihn als Stadtplaner ist das ein Auftrag: Man müsste über Grünflächen und Parks nachdenken, die die Wärmebelastung abfedern. Hochauflösende Mikroklimamodelle von Städten könnten zudem dabei helfen, Rechenzentren so zu errichten, dass sie sich nicht als zusätzliche Hitzequellen bemerkbar machen.

WASSER

15.400 Kubikmeter

Künstliche Intelligenz benötigt Wasser. Wie viel, das haben Experten der Universität der Vereinten Nationen (UNU) zu beziffern versucht. So soll allein das Training des KI-Modells GPT-4 600 Millionen Liter Wasser gekostet haben. Die Schätzung für das Nachfolgemodell GPT-5 fällt mit einer Milliarde Liter Wasser noch mal höher aus. Zudem ist der Bedarf für die Nutzung der Modelle ohnehin um ein Vielfaches höher als für das Training.

Doch dabei handelt es sich nicht um Wasser, das in den Rechenzentren verbraucht wird. Es ist der geschätzte Wasserbedarf der Kraftwerke, die den Strom für die Rechenzentren bereitstellen. Dabei verbrauchen Rechenzentren sehr wohl auch direkt vor Ort Wasser, nämlich für die Kühlung der Prozessoren.

Kleine Rechenzentren sowie solche in kalten Gegenden können die Wärme einfach an die Luft abgeben. Große Anlagen in gemäßigten und warmen Regionen hingegen brauchen Kühltürme. Dort wird Wasser verdunstet, was der Umgebung Energie entzieht. Das Wasser ist aus dem lokalen Kreislauf dann erst mal raus. Es ist verbraucht. So kommt es, dass große Rechenzentren zwar effizienter mit der Energie umgehen, beim Wasserverbrauch aber weniger effizient sind.

In Deutschland werden Rechenzentren auf Umweltverträglichkeit geprüft, wozu auch eine Analyse des Wasserverbrauchs zählt. Wie hoch der ausfallen kann, erklärt Thorsten Wagener, Professor für hydrologische Systeme an der Universität Potsdam, am Beispiel eines neuen Rechenzentrums von Amazon in der Niederlausitz. Das hat eine Entnahme von 15.400 Kubikmetern Grundwasser pro Jahr genehmigt bekommen. In der Region versickern im Jahr rund 70 Liter pro Quadratmeter. Somit müsste man sozusagen allein für das Rechenzentrum eine Einzugsgebietsfläche von knapp 30 Fußballfeldern reservieren, um seinen Wasserbedarf zu decken, rechnet Wagener vor. „Für mehrere Nutzer kann das schnell eine recht große Fläche werden, und man kann manchmal anschaulich zeigen, dass eine Region nicht nachhaltig sein kann ohne Zufluss von außerhalb“, sagt er.

Zudem scheine der Gesamtwasserverbrauch für Rechenzentren nicht immer klar zu sein. „Gerade in Metropolen, wo sich die Bedarfe vieler Nutzer überlagern, kann das zu Engpässen beitragen“, sagt Wagener. Hier gelte das Gleiche wie für andere Industrien: „Wir brauchen mehr Transparenz, damit die Nachhaltigkeit solcher Zentren klar ist und zusammen mit ihrem ökonomischen Nutzen bewertet werden kann.“

Es gibt auch technische Alternativen. Systeme, die die Wärme mit einer Flüssigkeit von den Chips ableiten anstatt mit Luft, müssen nicht so stark vorgekühlt werden. Sie benötigen dadurch keine Kühltürme mehr, in denen Wasser verdunstet. „Diese Alternativen befinden sich jedoch noch in einem frühen Stadium“, schreibt Ana Valdivia vom Oxford Internet Institute in einem Kommentar. Und Wasser sei für die Rechenzentrumsbranche derzeit noch eine zu kostengünstige Ressource.

LÄRM

Tiefes Summen

Dieselgeneratoren für Stromengpässe, Klimaanlagen für die Kühlung: Rechenzentren machen Geräusche, das ist unbestritten. Manche Anwohner beschreiben sie wie das „Summen einer Drohne im industriellen Maßstab“. Die Frage ist: Ab wann wird dieses Geräusch zum Problem?

Das ist nach heutigem Wissensstand schwer zu beantworten. Denn während man relativ viel über den Strom- oder Wasserverbrauch von Rechenzentren weiß, seien die „gesundheitlichen Auswirkungen dieser Anlagen im Zusammenhang mit Lärm bislang praktisch nicht untersucht“, schreiben Forscher aus Texas in einer aktuellen Übersichtsarbeit im Fachmagazin „Clean Technologies“.

Klar ist: Die Geräusche spielen sich eher in tiefen Frequenzen ab. Das kann beim Lärmschutz ein Problem sein, denn die dort im Regelfall geltenden Grenzwerte sind so gelagert, dass tiefe Frequenzen weniger ins Gewicht fallen. Dies unterschätzt den niedrigfrequenten Schall von Klimaanlagen systematisch, wie in einer Studie im „Journal of Building Engineering“ nachzulesen ist.

Lärm kann krank machen. Vor allem wenn man ihm ständig ausgesetzt ist, kann er zu Stress, Schlafstörungen oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen. Doch der konkrete Einfluss von Rechenzentren wurde bisher nie untersucht. Die Risiken werden aus der Forschung zu Industrie- und Verkehrslärm abgeleitet, schreiben Mediziner der Harvard-Universität in einer noch nicht wissenschaftlich begutachteten Übersichtsarbeit. Sie halten das für plausibel, bezeichnen die so gewonnenen Schlussfolgerungen aber ausdrücklich als Hypothesen.

In ihrer Arbeit beschreiben sie ein Protokoll, das die Wissenslücken rund um den Schall von Rechenzentren schließen soll: Messungen an drei bis fünf Anlagen über mindestens eine Woche mit Nachtdaten und Analysen verschiedener Frequenzen. Das wäre ein Anfang.





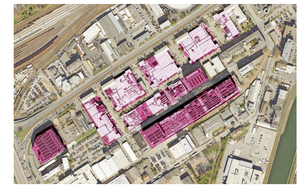
Am Wohngebiet: In Hattersheim am Main sind Rechenzentren neben einer Neubausiedlung entstanden.
Foto Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main





Auf dem Acker: Im sächsischen Falkenstein arbeiten 310.000 Server, wo sich 2008 noch ein grünes Feld erstreckte.
Foto GeoSN, dl-de/by-2-0

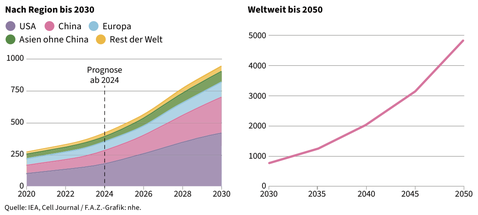




Im Gewerbegebiet: Wo 2007 an der Hanauer Landstraße in Frankfurt noch Lagerhallen und Brachflächen waren, stehen heute Rechenzentren.
Foto Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main

Der Stromverbrauch von Rechenzentren wird steigen

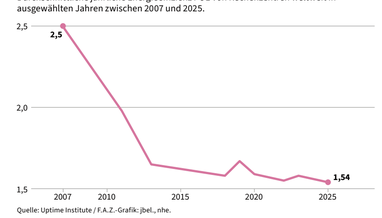
Prognostizierter Stromverbrauch von Rechenzentren in Terawattstunden



Quelle: IEA, Cell Journal / F.A.Z.-Grafik: nhe.

Energieeffizienz von Rechenzentren erreicht Plateau

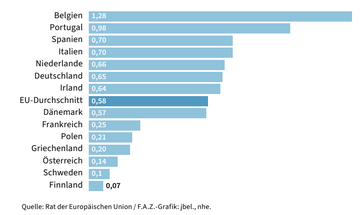
Durchschnittliche jährliche Energieeffizienz PUE von Rechenzentren weltweit in ausgewählten Jahren zwischen 2007 und 2025.



Quelle: Uptime Institute / F.A.Z.-Grafik: jbel., nhe.

Weniger Wasserverbrauch in kalten Regionen

Wassernutzungseffizienz in Kubikmeter je Megawattstunde (m^3/MWh)



Quelle: Rat der Europäischen Union / F.A.Z.-Grafik: jbel., nhe.

© Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH, Frankfurt. Alle Rechte vorbehalten. Zur Verfügung gestellt vom Frankfurter Allgemeine ARCHIV