

26. World Energy Congress – Schlüsselbotschaften und Ergebnisse neuer globaler Energieszenarien

Hans-Wilhelm Schiffer und Stefan Ulreich

Der 26. World Energy Congress, veranstaltet vom World Energy Council vom 22. bis 25. April 2024 in Rotterdam, stand unter der Headline „Redesigning Energy for People and Planet“. Etwa 5.000 Delegierte aus der ganzen Welt diskutierten in 60 Sessions aktuelle Fragen und bestehende Herausforderungen zur Gestaltung der künftigen Energieversorgung. Angesichts dramatischer geopolitischer Veränderungen wie Kriege und zunehmenden Spannungen zwischen den Weltmächten, technologischer Fortschritte wie der KI und zunehmenden Folgen des Klimawandels wie Extremwetterereignissen ging es darum, Schwerpunkte neu zu denken und die globalen Energieszenarien zu adaptieren.

Seit der letzten Konferenz der Organisation im September 2019 in Abu Dhabi haben sich die Rahmenbedingungen für die wirtschaftliche Entwicklung und das globale Energiesystem fundamental verändert. Als zentrale Ereignisse aus diesen knapp fünf Jahren sind die Covid-19-Pandemie, der Angriffskrieg Russlands in der Ukraine, das Massaker der Terrororganisation Hamas vom 7. Oktober 2023, die Situation in Gaza, die Spannungen zwischen Iran und Israel sowie Territorialkonflikte im Südchinesischen Meer zu nennen. Ferner sind das Vordringen von KI sowie die Folgen schwerwiegender Wetterereignisse von Bedeutung, die mit tiefgreifenden Auswirkungen auf die Weltwirtschaft und das globale Energiesystem verknüpft sind.

Vor diesem Hintergrund hat der World Energy Council die zuletzt 2019 vorgelegten globalen Energieszenarien unter Nutzung seines globalen Netzwerkes neu gefasst. Enerdata hat die Quantifizierung der zwei gewählten exploratorischen Szenarien, Rocks und Rivers, unter Nutzung seines Simulations-Modells POLES übernommen. Die Schlüsselbotschaften, die sich daraus für den Zeithorizont bis 2050 ergeben, werden dargestellt und mit den Ergebnissen vergleichbarer Studien verglichen.

Ergebnisse des 26. World Energy Congress

In den Sitzungen, den side-events im Ausstellungsbereich und in den Pausen fand ein intensiver Gedankenaustausch statt im Rahmen dieses einzigartigen globalen Netzwerkes mit über 3.000 Mitgliedsorganisatio-



26. Weltenergiekongress in Rotterdam: Die Zukunft der Energieversorgung sieht deutlich anders aus als in der Vergangenheit
Bild Adobe Stock

nen aus mehr als 70 Ländern. Dabei hatte der Kongress fünf Schwerpunktthemen:

- **Humanising energy:** Eine dezentralere Energiewelt führt auch zu Herausforderungen beim Thema soziale Akzeptanz, da die Menschen stärkere Veränderungen in ihrer direkten Umgebung wahrnehmen – sowohl durch neue Infrastruktur als auch durch etwaige Änderungen im Nutzerverhalten. Der Erfolg von Transformationen ist damit stark von der Zustimmung vor Ort abhängig.
- **Navigating new energy maps:** Die Krisen in den letzten Jahren haben zu einer Refokussierung der Energiewelt geführt: insbesondere Versorgungssicherheit wurde nun zu einem bedeuten-
- deren Treiber. Bei den diversen Energiewendungen wurde über Korrekturen in Bezug auf Ziele und Geschwindigkeit als Reaktion auf die Krisen nachgedacht.
- **Refuelling the future:** Die intensivere Nutzung erneuerbarer Energien reduziert zwar die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen – erhöht aber gleichzeitig die Abhängigkeit von kritischen Mineralien. Damit stellen sich für die Produkte wie PV-Module, Windanlagen, Speicher und Elektrolyseure nicht nur die Herausforderungen, das neue Energiesystem stabil und kostengünstig zu versorgen sowie benötigte Innovationen zu ermöglichen, sondern auch neue geopolitische Herausforderungen.

■ **Pathfinding with the World Energy Trilemma:** Der Trilemma-Report ist eine Flaggschiffstudie des Weltenergieerats: über 120 Länder werden bewertet in Bezug auf ihre nationale Energiepolitik und das Erreichen des Zieldreiecks aus Versorgungssicherheit, Energiepreisen und Umweltverträglichkeit.

■ **Closing the gaps:** Die stattfindenden Energiewenden sind insgesamt nicht schnell genug, um die globale Erwärmung auf 1,5°C zu begrenzen. Dabei treten eine Vielzahl von Herausforderungen auf, wie z.B. mangelnder politischer Wille, Investitionsempässe, Verzögerungen beim Infrastrukturausbau und soziale Ungleichgewichte.

Im Rahmen der Diskussionen haben sich die folgenden 12 Punkte als bestimmende Themen herauskristallisiert. Die Diskussionen waren dabei durch einen sehr sachlichen und lösungsorientierten Tonfall geprägt. Das Interesse, andere Standpunkte nachzuvollziehen und voneinander zu lernen, war ausgesprochen hoch:

Eine multipolare Welt wird wahrscheinlicher. Die bereits genannten geopolitischen Spannungen werden auch in Zukunft an der Energiewelt nicht spurlos vorbeigehen. Das führt zu einer stärkeren Betonung von Versorgungssicherheit und auch von Bezahlbarkeit. Neue Blockbildungen sind nicht auszuschließen, ein selbstbewusst werdender globaler Süden empfindet das westliche Modell nicht mehr automatisch als attraktives Ziel. Damit können sich neue Handelsrouten ergeben sowohl für Primärenergieträger als auch für Ausrüstung und Maschinen aus dem Bereich der Energieinfrastruktur.

Die spezifischen Gegebenheiten in den einzelnen Weltregionen führen zu unterschiedlichen Wegen zur Klimaneutralität. Es besteht breites Einvernehmen, dass die Treibhausgasemissionen weltweit verringert werden sollen. Allerdings unterscheiden sich die gewählten Wege. Das gilt zum einen für die Vermeidungsziele, aber noch sehr viel stärker für die in Betracht kommenden Technologien, die regulatorische Umsetzung und die Verteilung der Kosten: Klimaschutz-

ziele müssen eben stets an die Gegebenheiten vor Ort angepasst werden – die einfache Übernahme einer Blaupause aus einer anderen Region ist nur in wenigen Ausnahmefällen möglich. Insbesondere bei den technischen Lösungen sollte man immer von einem breiten Mix („Blumenstrauß“) an Ansätzen ausgehen, um das Risiko von Technologieversagen zu verringern.

Umsetzung ist oberste Priorität. Eine Diskussion, ob Ziele erreichbar sind, oder zu wenig ambitioniert und daher verschärft werden sollten, wurde im Allgemeinen als nicht zielführend betrachtet. Es wurde betont, dass wesentliche Technologien bereits vorhanden sind und es daher auf die Umsetzung und Implementierung ankommt. Im Ausstellungsbereich des World Energy Congress wurden konsequenterweise auch viele Beispiele für realisierte Projekte gezeigt, mit offshore-Wind, CCS und Kernkraft. Optimierungspotential, das während der Umsetzung erkennbar wird, kann dann gleich genutzt werden, um das weitere Vorgehen besser zu gestalten. Umgekehrt gilt allerdings auch: eine sehr starke Skalierung einer noch nicht ausgereiften Technologie kann zu einem unerwünschten lock-in-Effekt führen.

Zielpfade müssen robust sein. Die Krisen in den letzten Jahren haben sehr deutlich vor Augen geführt, dass eine Planung über mehrere Jahrzehnte kaum machbar ist bzw. immer wieder angepasst werden muss, um neue Entwicklungen zu beachten und damit auf stets vorkommende Zielabweichungen zu reagieren. Durch Szenarioanalysen und die Bewertung von Sensitivitäten erhält man zumindest eine bessere Idee, was no-regret-Investitionen sein können und bei welchen Themen mit einer Anpassung zu rechnen ist.

Technologieoffenheit ist der Schlüssel zur Zielerreichung. Breiter Konsens bestand darüber, dass die Nutzung aller Technologien geboten ist. Weil der Klimawandel ein drängendes Problem ist, wird eine Verengung auf ausgewählte Technologien als nicht erfolgversprechend bewertet. Die Transformation zu einem Energiesystem auf einer breiteren Technologiebasis wird zu einem robusteren Portfolio führen, das weniger anfällig ist, falls eine Technologie die Erwartungen nicht

erfüllen kann. Gerade vor dem Hintergrund der zunehmenden Sorgen in Bezug auf Versorgungssicherheit wurde dieser Punkt immer wieder adressiert.

Innovationen spielen als Enabler stets eine Schlüsselrolle. Auf dem Weg zu einem neuen Energiesystem ist kontinuierlich mit neuen Herausforderungen zu rechnen, so dass Entwicklung und Einsatz von Innovationen unabdingbar sind. Die zentrale Aufgabe des Staates wird in einer verstärkten Förderung der Grundlagenforschung gesehen. Als die Zukunft besonders prägende Themen wurden auf dem World Energy Congress Künstliche Intelligenz (KI) und Wasserstoff genannt. KI kann dabei sowohl in etablierten Wertschöpfungsketten für eine bessere Optimierung sorgen (z.B. Vorhersagen von Preis, Wetter, Netzzuständen; predictive maintenance) als auch zu einer stärkeren Integration von Verbrauchern in das Energiesystem führen (z.B. Nutzung kurzfristiger Flexibilität; demand response; Speicheroptimierung). Wasserstoff wird als bedeutsam für die tiefe Dekarbonisierung gesehen. Dabei steht, so die Einschätzung, vor allem die Nutzung als Rohstoff bei industriellen Prozessen (z.B. Stahl, Düngemittel, Chemie, Zement) im Vordergrund. Die energetische Verwendung als Treibstoff im Frachtverkehr oder zur saisonalen Speicherung wurde erst als nächster Schritt eingeschätzt. Der beträchtliche Strombedarf bei elektrolytischer Herstellung führt zur Etablierung eines globalen Wasserstoffhandels. Vor allem dichtbesiedelte und stark industrialisierte Regionen, z.B. Japan und Südkorea, werden auf Basis bereits bestehender Einfuhrstrategien importieren.

Eine robuste Energieinfrastruktur und deren Digitalisierung ist unabdingbare Voraussetzung. Die Krisen der letzten Jahre führten zu einer stärkeren Betonung der Versorgungssicherheit – konsequenterweise ist die Energieinfrastruktur damit wieder im Fokus: Netzausbau, Speicher und Back-up-Kraftwerke werden im Zusammenhang mit dem Ausbau intermittierender erneuerbarer Erzeugung immer dringender benötigt. Zudem rückt der Ausbau saisonaler Speicherung verstärkt in den Fokus – naturgemäß in den Regionen mit starken jahreszeitlichen Schwankungen. Diese Aufgabe wird gegen-

wärtig vor allem von Gas übernommen; der Klimaschutz erfordert hier z.B. eine Nutzung von CCS oder Speicherung mittels synthetischer Brennstoffe auf Wasserstoffbasis. Eine stärkere Integration der Verbraucher mittels demand response wurde ebenso als wesentlicher Teil der Lösung gesehen, auch um Lastspitzen zu verringern, die z.B. bei Wärmepumpen auftreten können. Digitalisierung ermöglicht dann ein koordiniertes Zusammenspiel der Vielzahl von Komponenten eines sektorgekoppelten dezentralen Energiesystems.

Kosten für Infrastrukturausbau müssen verlässlich verteilt werden. Die Transformation eines Energiesystems erfordert massive Investitionen in den Ausbau und die Ertüchtigung der Infrastruktur. Hierbei sollte klar und verbindlich festgelegt werden, wer welchen Anteil an den Kosten im regulierten Geschäft trägt: die öffentliche Hand durch den Einsatz von Steuermitteln oder die Energieverbraucher über Entgelte. Es bestand Einvernehmen, dass sich der Stromverbrauch weltweit künftig stark erhöhen wird und der wachsende Bedarf vor allem durch erneuerbare Energien gedeckt werden wird. Von vielen Teilnehmern wurde betont, dass Kapazitätsmechanismen zum Erhalt der Versorgungssicherheit notwendig seien. Der Energy-only-Markt bietet bei verstärktem Ausbau der erneuerbaren Energien und damit einhergehenden rückläufigen Einsatzstunden der steuerbaren konventionellen Kraftwerke keine hinreichenden Erlöse zur Deckung der Kosten. Zudem habe sich in der Realität gezeigt, dass bei hohen Marktpreisen für Strom oder für andere Energieträger staatlicherseits Markteingriffe erfolgen, um Preisspitzen zu kappen. Damit besteht keine Gewähr, dass Unternehmen hinreichende Erlöse über zeitweise hohe Knappheitspreise erzielen können.

Ein zuverlässiger Zugang zu Kapitalmärkten beschleunigt die Transformation. Die „Null-Zins-Phase“ ist zu Ende. In den letzten zwei Jahren stiegen die Zinsen stark, da sich die Zentralbanken bemühten, die Inflation zu bekämpfen. Regierungen, Unternehmen und Haushalte sind mit deutlich höheren Marktzinsen und Anleiherenditen konfrontiert, die sogar noch weiter steigen

könnten. Der Anstieg der Kapitalkosten hat tiefgreifende Auswirkungen auf die Energie- und Rohstoffindustrie, insbesondere auf die Kosten und das Tempo des Übergangs zu kohlenstoffarmen Technologien. Da viele der hier genutzten Technologien stark CAPEX-lastig sind, hat das Zinsumfeld eine sehr signifikante Wirkung auf die Investitionen. Die Transformation des Energiesystems wird sehr stark von privatem Kapital getrieben; damit erleichtern und beschleunigen ein effizienter Kapitalmarkt und seine Verknüpfung mit den Energiemärkten die notwendigen Investitionen in Energieinfrastruktur. Insbesondere für die EU wäre eine Kapitalmarktunion dringend erforderlich.

Märkte führen zu robusten Lösungen. Die Energiekrisen in den letzten Jahren haben insbesondere in Europa zu starken Verwerfungen in den Strom- und Gasmärkten geführt. Die Möglichkeit des europaweiten Stromaustausches und des weltweiten Gas Handels haben hierbei eine sichere Versorgung gewährleistet: die Marktmechanismen haben sich als äußerst robust erwiesen. Der rasche Wandel der Technologien, eine dezentraler werdende Infrastruktur und die zunehmende Anzahl auch kleinerer Player in den Energiemärkten kann in einem soliden Marktdesign sehr gut umgesetzt werden, wohingegen staatliches Mikromanagement in den Diskussionen beim Kongress als ineffizient und damit wenig zukunftsfruchtig bewertet wurde.

Preiswettbewerb ist wesentlich für Nachhaltigkeit. Die künftigen Lösungen zur Energieversorgung müssen sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich nachhaltig sein. Ein stabiler und vorhersehbarer regulatorischer Rahmen trägt wesentlich dazu bei, volkswirtschaftliche Verluste durch „stranded assets“ zu vermeiden oder zumindest zu begrenzen. Bei reifen Technologien hilft die Suchfunktion des Marktes, einen geeigneten Energieversorgungsmix zu etablieren, über Fördersysteme können Technologien bis vor der Marktreife unterstützt werden. Durch diese Maßnahmen (unterstützt durch eine CO₂-Bepreisung) werden die künftigen Lösungen durch ihre Wettbewerbsfähigkeit die existenten Lösungen verdrängen.

Eine CO₂-Bepreisung ist unerlässlich. Breiter Konsens bestand auch in der Anwendung einer CO₂-Bepreisung, die sich z.B. durch Marktsignale eines knapper werdenden Marktes schrittweise verstärkt. Idealerweise sollte dies weltweit harmonisiert erfolgen. Der Klimaklub der G7 und weiterer Länder stellt einen ersten wichtigen Schritt dar, der durch eine Umsetzung im Rahmen der G20 vergrößert werden könnte. Diese Preissignale würden in einem technologieoffenen Rahmen die effizientesten Anreize zur Umsetzung von Klimaneutralität geben. Zudem wäre dies ein stabiler Rahmen, in dem Unternehmen die jeweils angestrebten Klimaziele verwirklichen könnten.

Naturngemäß werden bei einer globalen Konferenz die Details weniger intensiv diskutiert. Dennoch war es erstaunlich festzustellen, wie stark doch diese zwölf Punkte in den Diskussionen immer wieder eine große Rolle gespielt haben. Deutlich spürbar war auch das Interesse, dass diese Ansätze zu einem resilienten und krisenfesten Energiesystem führen würden: die Krisen der letzten Jahre waren weltweit spürbar.

Die Diskussion in Rotterdam wurde – ebenso wie schon bei den letzten Kongressen – in hohem Maße durch die „Future Energy Leaders“ bereichert: 100 junge Menschen, die im Energiebereich häufig in führenden Positionen tätig sind, wobei über 65 Länder repräsentiert werden und knapp die Hälfte Frauen sind. Dank dieses Programms ist gewährleistet, dass stets frische und außergewöhnliche Ideen in die Diskussionen beim Weltenergieforum eingebracht werden.

Aus europäischer Sicht erwähnenswert war noch ein privater Roundtable von Eurelectric mit der Energiekommissarin Kadri Simson. Die Studie „Grids for Speed“ wird offiziell am 22. Mai 2024 beim Power Summit in Athen vorgestellt, erste Ergebnisse wurden aber bereits präsentiert.

Perspektiven der weltweiten Energieversorgung bis 2050

Seit 1985 hat sich der weltweite Primärenergieverbrauch verdoppelt. Der größte Beitrag zur Deckung des gewachsenen Bedarfs wurde

durch fossile Energien geleistet. Der Anteil von Kohle, Öl und Gas am globalen Primärenergieverbrauch hat sich in den letzten knapp vierzig Jahren nur leicht verringert. Im Jahr 1985 hatten fossile Energien knapp 88 % zur Deckung des Energieverbrauchs beigetragen. 2023 lag deren gemeinsamer Anteil immer noch bei rund 80 %. Die weltweite Stromerzeugung hat sich in dem genannten Zeitraum verdreifacht. Dieser Zuwachs basierte überwiegend auf einem deutlich vergrößerten Einsatz von Kohle und Erdgas. Der Anteil fossiler Energien an der Stromerzeugung ist kaum verringert worden – von 64 % im Jahr 1985 auf gut 60 % im Jahr 2023.

Die Zukunft der globalen Energieversorgung sieht deutlich anders aus. Dies zeigen die Prognosen und Szenarien, die in den vergangenen Monaten von internationalen Institutionen vorgelegt wurden. Es vollzieht sich ein beschleunigter Wandel von einem durch fossile Energien geprägten Zeitalter zu einer Welt, in der die erneuerbaren Energien dominieren. Der globale Stromverbrauch wird sich bis zum Jahr 2050 verdoppeln bis verdreifachen. Anders als in der Vergangenheit, ist aber allenfalls noch mit einem verhaltenen Anstieg des weltweiten Primärenergieverbrauchs zu rechnen.

Diese Perspektiven sind durch Analysen belegt, die namhafte Institutionen im Jahr 2023 und 2024 zur Zukunft der weltweiten Energieversorgung durchgeführt haben.

Dazu gehören von Regierungen getragene internationale Organisationen, Industrieunternehmen, Beratungsunternehmen und wissenschaftliche Forschungseinrichtungen. Aus dem Kreis der von Regierungen getragenen Organisationen sind dies die International Energy Agency (IEA), die International Renewable Energy Agency (IRENA) und die U.S. Energy Information Administration (EIA). Von den Konzernen haben BP, die norwegische Equinor, ExxonMobil und die internationale Klassifizierungs- und Zertifizierungsgesellschaft DNV im Jahr 2023 Prognosen bzw. Szenarien mit Zeithorizont 2050 veröffentlicht. Darüber hinaus sind die Unternehmensberater McKinsey, Wood Mackenzie und Enerdata sowie The Institute of Energy Economics, Japan (IEEJ), zu nennen. Bei der jüngsten Studie handelt es sich um die World Energy Scenarios 2024: Rocks and Rivers, die der World Energy Council im April 2024 veröffentlicht hat.

Kategorisierung von Prognosen und Szenarien

Die genannten Institutionen haben unterschiedliche Ansätze gewählt, um die Perspektiven der künftigen Energieversorgung aufzuzeigen. So handelt es sich bei den Studien von DNV und ExxonMobil um Prognosen, während die anderen Institutionen Szenarien modelliert haben. Von sechs der zehn Institutionen, die sich auf Szenarien gestützt haben, wurden sowohl exploratorische Szenarien als auch jeweils ein normatives Szenario gerechnet. Die U.S. EIA

hat sich dagegen auf ein Reference Szenario beschränkt, das um Sensitivitätsrechnungen ergänzt ist. Das Institute of Energy Economics, Japan, sowie auch der World Energy Council haben sich auf jeweils zwei exploratorische Szenarien gestützt. IRENA hat sich auf ein normatives Szenario konzentriert, das ausweist, welche Entwicklung eintreten müsste, damit das 1,5-Grad-Ziel des Pariser Klimaabkommens erreicht wird.

Die grundsätzlich bestehenden Unterschiede zwischen Prognosen und Szenarien können wie folgt skizziert werden:

In Prognosen wird die künftige Entwicklung auf Basis von als wahrscheinlich angenommenen Parametern, unter anderem zur Entwicklung der Demografie, zur Wirtschaftsleistung, zu technologischen Innovationen, zu den Weltmarktpreisen für Energie und zu der erwarteten politischen Rahmensetzung, dargelegt. Entsprechende Annahmen gehen als Input-Parameter in die Modellierung ein und führen zu quantitativen Ergebnissen. Institutionen, die Prognosen erstellen, streben an, die aus heutiger Sicht für wahrscheinlich gehaltene Entwicklung abzubilden.

Dem gegenüber handelt es sich bei Szenarien um plausible und nachvollziehbare alternative Blicke in die Zukunft, die verstehen helfen, wie verschiedene Faktoren zusammenspielen und so die Zukunft formen kön-

	Prognosen	Szenarien	
		ergebnisoffene (exploratorische)	Normative Szenarien
		mehr qualitativ ausgerichtet	stärker quantitativ orientiert
WORLD ENERGY COUNCIL WEC (2024) World Energy Council Scenarios		- Rivers - Rocks	
IEA (2023) World Energy Outlook 2023			- Stated Policies Scenario (STEPS) - Announced Pledges Scenario (APS)
EIA (2023) International Energy Outlook 2023			- Reference Scenario (incl. sensitivities)
Equinor (2023) Energy Perspectives 2023		- Walls	- Bridges
BP (2023) Energy Outlook 2023 edition		- New Momentum - Accelerated	- Net Zero
ExxonMobil (2023) Outlook for Energy	- Forecast		- IPCC Average Lower 2 °C - Net Zero Scenario
Wood Mackenzie (2023) Energy Transition Outlook		- Base Case - Country Pledges	- Pathway to Net Zero Emissions
DNV (2023) Energy Transition Outlook 2023	- A single forecast of the energy future		- 1.5 °C Pathway
McKinsey (2023) Global Energy Perspective 2023	- Further Acceleration	- Fading Momentum - Current Trajectory - Achieved Commitments	- 1.5 °C Scenario (1.5-S)
IRENA (2023) World Energy Transitions Outlook 2023			- EnerBase - EnerBlue
Enerdata (2023) EnerFuture 2023			- Reference Sc. - Advanced Technologies Sc.
IEEJ (2023) IEEJ Outlook 2024			

Abb. 1 Kategorisierung von Projektionen verschiedener Organisationen zur weltweiten Energieversorgung

- > Zwei Szenarien wurden entwickelt - **Rivers** und **Rocks**.
- > Diese zwei Szenarien sind als „Erkundungspfade“ zur Gestaltung der „**Großen Transformation**“ zu verstehen.
- > Jedes dieser Szenarien beschreibt die Entwicklung eines möglichen **künftigen Energiesystems** auf globaler und auf regionaler Ebene.
- > Dieser vom World Energy Council verfolgte **exploratorische Ansatz** unterscheidet sich von einem normativen Ansatz, in dem dokumentiert wird, was geschehen muss, um ein vorgegebenes künftiges Ziel zu erreichen.

WEC-Szenarien sind explorativ und nicht normativ.

Es gibt kein glaubwürdiges Szenario der internationalen Zusammenarbeit für eine Energie-Transformation mehr - zumindest keines, das in Einklang mit den Zielen des Pariser Klima-Übereinkommens steht.

Abb. 2 Szenarien des World Energy Council

nen. Dabei kann zwischen exploratorischen und normativen Szenarien unterschieden werden:

- In exploratorischen Szenarien wird ein Entwicklungspfad aufgezeigt, der von der Gegenwart ausgeht und – abhängig von den getroffenen Eingabeparametern – mögliche Pfade für die Zukunft charakterisiert. Bei exploratorischen Szenarien kann zusätzlich danach kategorisiert werden, ob sie eher auf eine qualitative Ausrichtung angelegt sind oder ob die Quantifizierung im Vordergrund steht. Auch wenn der Fokus auf ein Narrativ gerichtet ist, kann dies modellgestützt quantitativ unterlegt sein.
- Im Unterschied zu diesem „bottom-up“-Ansatz ist in normativen Szenarien der Startpunkt ein Zielzustand in der Zukunft. Es wird – ausgehend von dem definierten Zielzustand – „top-down“ ermittelt, welcher Entwicklungspfad zum Erreichen des vorgegebenen Zielzustandes führen kann. Der in den meisten der untersuchten Szenarien gewählte Zielzustand besteht in der Einhaltung des Ziels, den Temperaturanstieg auf 1,5°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

Bei beiden Szenario-Typen handelt es sich ausdrücklich nicht um Vorhersagen. Eintrittswahrscheinlichkeiten sind weder exploratorischen noch normativen Szenarien zugeordnet. Beide Szenario-Typen können dazu dienen, die Basis für eine erfolgreiche Strategie und Politik in einer von Unsicherheit geprägten Welt zu liefern. Sie sind damit auch geeignet, Lücken zu identifizieren, die gegenüber einem angestrebten Zielzustand bestehen und damit Handlungsnotwendigkeiten aufzuzeigen. Dies gilt sowohl für unternehmerische als auch für politische Strategien.

Bei einem Vergleich von Ergebnissen verschiedener Studien zu den Perspektiven der Energieversorgung ist entsprechend von ausschlaggebender Bedeutung, welcher Ansatz gewählt und welche Eingangsparameter zugrunde gelegt wurden. Die Prognosen und Szenarien, die in jüngster Zeit von den genannten 12 Institutionen vorgelegt wurden, sind den einzelnen Kategorien zugeordnet

(Abb. 1) und in einem gesondert veröffentlichten Artikel charakterisiert (Schiffer, H.W.: *Forecasts and scenarios for global energy supply up to 2050 – synopsis of the approaches and results of studies published in 2023*, in: *vgbe energy journal* 11/2023 and *atw* 1/2024).

Ergebnisse der exploratorischen Szenarien des World Energy Council

Der World Energy Council hat zwei exploratorische Szenarien gewählt, die auf unterschiedlichen Grundannahmen basieren (Abb. 2).

Beschreibung der Szenarien

In **Rocks** werden die globalen Hoffnungen und nationalen Versprechen, die mit dem Pariser Klimaabkommen verbunden sind, durch intensiven Druck in Bezug auf Energiesicherheit, industrielle Wettbewerbsfähigkeit und andere Aspekte des nationalen Eigeninteresses bedroht – ein „neuer Tribalismus“. In vielen Teilen der Welt wurden die Pläne für den Ausstieg aus der Nutzung fossiler Brennstoffe abgeschwächt oder verschoben, und die NDCs (Nationally Determined Contributions) werden kaum eingehalten. Energiesubventionen werden genutzt, um den immer stärker werdenden populistischen Forderungen in einer Welt gerecht zu werden, in der die Staats- und Regierungschefs eher die nationale Stärke als internationale Vereinbarungen oder Verantwortung betonen. Die Energiewende wird dort fortgesetzt, wo sie etabliert ist und sicherheitsrelevante Ziele unterstützt, aber die Vorstellung, dass die ganze Welt die UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung erreichen kann, scheint einer längst vergangenen, einfacheren Zeit anzugehören.

In **Rivers** verändern der digitale Fortschritt und die Marktdynamik das Energieangebot und die Nachfrage erheblich. Das Wachstum vollzieht sich in sporadischen, aber dramatischen Schüben und belohnt Unternehmen, die neue Technologien einführen und Anpassungen in den Lieferketten vorausschauend ausrichten. Verstärkte Kooperation und Öffnung der Märkte bringen Innovationen voran. Zudem entstehen – manchmal unerwartet – neue Formen der Zusammenarbeit auf vielen verschiedenen Ebenen: Nachhaltig-

keitsprojekte innerhalb gemeinsamer Wertschöpfungsketten, Austausch bewährter Praktiken zwischen Bürgergruppen, neue Effizienzgewinne durch technologische Innovationen sowie Klimaklubs und andere anreizbasierte Mechanismen. Eine größere digitale Transparenz ermöglicht es den vernetzten Energieakteuren, in ihrem Bereich strategische Entscheidungen zu treffen, anstatt auf politische Vorgaben von oben zu reagieren.

Während in den früheren Szenarien des World Energy Council der Zustand der Geopolitik als zentrale Unsicherheit betrachtet worden war, wird deren Rolle jetzt als vorherbestimmter Faktor definiert. Eine kooperative globalisierte Welt wird auf absehbare Zeit ausgeschlossen. Vielmehr wird von einer fragmentierten Welt ausgegangen. Die Priorität, die dem Klimaschutz gebührt, ist in beiden Szenarien als hoch angesetzt worden. Hauptunterschiede zwischen den zwei Szenarien bestehen darin, wie stark die Ausprägung sich vollzieht, welche Maßnahmen zu welchem Zeitpunkt ergriffen werden und welche Ergebnisse diese Maßnahmen haben könnten. Die in Rivers bis 2050 quantifizierten globalen CO₂-Emissionen korrespondieren mit einem Anstieg der globalen Temperaturen von 2 Grad Celsius. Im Szenario Rocks wäre mit einem Temperaturanstieg von etwa 2,5 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu rechnen.

Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Grundannahmen.

Die quantitativen Ergebnisse dieser beiden Szenarien, die mittels des POLES-Modells von Enerdata ermittelt wurden, zeigen gemeinsame Tendenzen, aber in unterschiedlichen Ausprägungen. Dies erklärt sich durch die jeweils getroffenen Annahmen. In beiden Szenarien wird von einem Anstieg der Weltbevölkerung von 8,1 Mrd. zu Jahresbeginn 2024 auf 9,6 Mrd. im Jahr 2050 ausgegangen. Der stärkste Bevölkerungszuwachs wird für Afrika angesetzt, und zwar um 1 Mrd. Menschen auf 2,4 Mrd. im Jahr 2050. Das in den beiden Szenarien unterstellte Wirtschaftswachstum differiert. Kurzfristig, bis 2030, wird mit einer Steigerung der globalen Wirtschaftsleistung zwischen 2 und 3 % pro Jahr gerechnet, wobei speziell in Rocks aufgrund

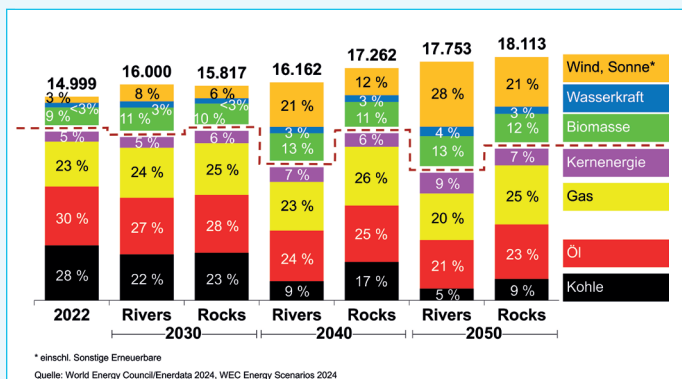


Abb. 3 Weltweiter Primärenergieverbrauch gemäß WEC Energy Szenarios 2024 (in Mtoe)

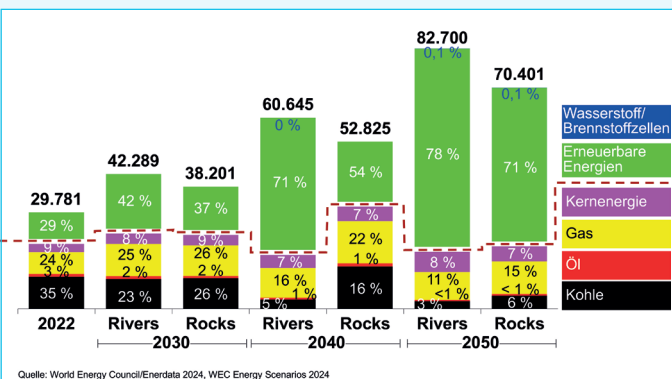


Abb. 4 Globale Stromerzeugung gemäß WEC Energy Szenarios 2024 (in TWh)

der angenommenen Verschlechterung der geopolitischen Situation die Wachstumskräfte niedriger ausfallen als in Rivers. Für die Zeit nach 2030 ist beiden Szenarien ein Wirtschaftswachstum von gut 3 % pro Jahr zugrunde gelegt.

Als wichtige nachfrageseitige Unterscheidungsmerkmale werden genannt: Die Verbesserung der Energieeffizienz stagniert in Rocks wegen eines Mangels an internationaler Zusammenarbeit. Demgegenüber verbessert sich die Energieeffizienz in Rivers stärker, und zwar aufgrund Verbreiterung der Technologieentwicklung und praktizierter Technologietransfers. Die Elektrifizierung des Verkehrs kommt in Rivers schneller voran als in Rocks. Der Ausbau der Infrastruktur nimmt in Rivers aufgrund besserer Anpassungen bei Finanzierung und Genehmigungen mehr Fahrt auf als in Rocks. Der Gebäudebereich steht in Rivers vor einer stärkeren Elektrifizierung als in Rocks, vor allem mittels Wärmepumpen.

In Rivers werden Wind- und Solarenergie dank verbesserten internationaler Zusammenarbeit massiv ausgebaut. In Rocks vollzieht sich diese Entwicklung langsamer und ist stärker auf kleinere regional begrenzte Objekte konzentriert. Der Verbrauch an Kohle vermindert sich, in Rocks aber in signifikantem Umfang erst nach 2040. Die Bedeutung von Erdgas nimmt zu. Wasserstoff wird vermehrt – etwa in der Stahlindustrie – genutzt. In Rivers kommt Wasserstoff auch zur Erzeugung von Energie zur Anwendung, wobei der internationale Handel mit Wasserstoff und deren Derivaten vorankommt. In Rocks stützt sich die Dekarbonisierung der Ener-

gieversorgung stärker auf die Technologie der Abscheidung und Speicherung von CO₂, während bei Rivers der Fokus mehr auf Wasserstoff und erneuerbaren Energien liegt. In beiden Szenarien bestehen bei der Transformation der Energieversorgung Unterschiede nach Weltregionen. In Europa und Nordamerika erfolgt die Dekarbonisierung vor allem durch eine Abkehr von fossilen Energien. Demgegenüber verharrt Asien einschließlich des Mittleren Ostens noch stärker bei der Nutzung von Kohle, Öl und Erdgas und kompensiert die dadurch bedingten Emissionen zumindest partiell durch CCS.

Quantitative Ergebnisse

Der Primärenergieverbrauch wächst in beiden Szenarien bis 2050 noch um rund ein Fünftel im Vergleich zum Stand des Jahres 2022. Die Unterschiede in der Entwicklung gemäß den beiden Szenarien bestehen darin, dass bis 2030 das in Rivers unterstellte größere wirtschaftliche Wachstum zu einem etwas höheren Primärenergieverbrauch führt als in Rocks, während nach 2040 der Primärenergieverbrauch in Rocks wegen der niedrigeren Effizienzgewinne etwas größer ausfällt als in Rivers (Abb. 3).

Auf die fossilen Energien entfallen auch 2050 noch auf Anteile von 57 % (Rocks) bzw. 46 % (Rivers) des Primärenergieverbrauchs. Kohle muss zwar deutliche Einbußen hinnehmen und kommt 2050 nur noch auf einen Beitrag von 9 % in Rocks und 5 % in Rivers gegenüber gegenwärtig 28 %. Die Ölnachfrage verharrt bis 2050 gemäß beiden Szenarien noch weitgehend auf dem heutigen Niveau. Und für Erdgas wird zumindest

in Rocks sogar mit einem leichten Anstieg der weltweiten Nachfrage gerechnet. Die stärksten Zuwächse verzeichnen allerdings die erneuerbaren Energien. Deren Anteil an der Deckung des globalen Primärenergieverbrauchs vergrößert sich von 14 % im Jahr 2022 bis 2050 auf 36 % in Rocks und 45 % in Rivers. Kernenergie kann ebenfalls Zuwächse verbuchen und erreicht 2050 einen Anteil von 7 % in Rocks und von 9 % in Rivers am Primärenergieverbrauch – gegenüber 5 % im Jahr 2022.

In beiden Szenarien wird von einer starken Elektrifizierung in der Energieversorgung ausgegangen. So nimmt der weltweite Stromverbrauch bis 2050 auf mehr als das Doppelte in Rocks und fast das Dreifache in Rivers im Vergleich zum Stand des Jahres 2022 zu (Abb. 4). Dieser Zuwachs wird ausschließlich durch erneuerbare Energien gedeckt. Entscheidend ist dabei der Ausbau von Wind- und Solarenergie (Abb. 5). In Rivers vergrößert sich die Stromerzeugung aus Sonne und Wind bis 2050 auf das 27-fache bzw. das 10-fache im Vergleich zu 2022. In Rocks ergeben sich für 2050 Stromerzeugungsmengen auf Basis von Sonne und Wind, die dem 20-fachen bzw. dem 8-fachen im Vergleich zu 2022 entsprechen. Insgesamt tragen die erneuerbaren Energien damit 2050 zu 71 % (Rocks) bzw. 78 % (Rivers) zur weltweiten Stromerzeugung bei. Der Anteil fossiler Energien an der globalen Stromerzeugung verringert sich auf 22 % in Rocks und 14 % in Rivers. Die Stromerzeugung aus Kernenergie steigt zwar in absoluten Größen an. Da die Zuwächse aber niedriger ausfallen als die Steigerungsraten der gesamten Stromnachfrage, sinkt

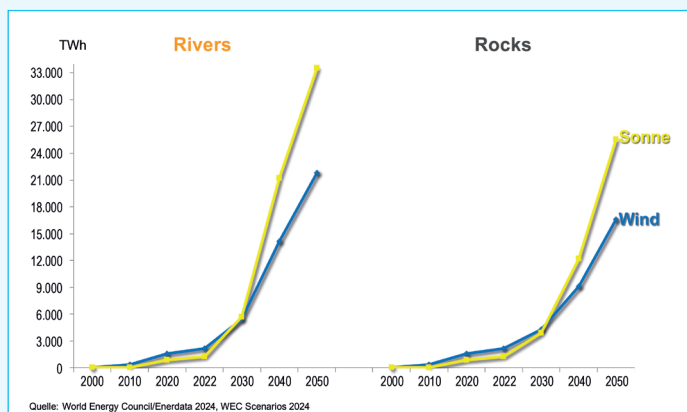
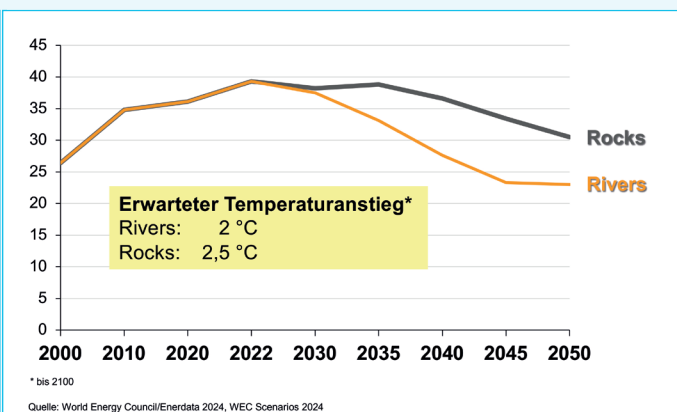


Abb. 5 Globale Stromerzeugung aus Windkraft und Solarenergie (in TWh)

Abb. 6 Globale CO₂-Emissionen gemäß den Szenarien des World Energy Council 2024 (in Mrd. t)

der Anteil der Kernenergie von heute 9 % auf 7 % (Rocks) bzw. 8 % (Rivers) im Jahr 2050.

Bei der Deckung des Endenergieverbrauchs kommt es zu einer Ablösung von Öl als wichtigster Energiequelle durch Elektrizität. Der Beitrag von Elektrizität zur Deckung des globalen Endenergieverbrauchs verdoppelt sich im Vergleich zu dem heutigen Anteil von rund 20 %. Bei Anwendungen, bei denen weiterhin molekulare Brenn- und Kraftstoffe benötigt werden, wird es zu einer zunehmenden Substitution fossiler Kraftstoffe durch Biokraftstoffe, Wasserstoffderivate und schließlich synthetische Kraftstoffe kommen. Insgesamt wird aber das Potenzial von Wasserstoff nur in begrenztem Umfang genutzt, auch wenn – zumindest im Szenario Rivers – dessen Nutzung bis 2050 im Vergleich zum Stand des Jahres

2022 sich vervierfacht. Der Anteil von Wasserstoff am Endenergieverbrauch erhöht sich von 1,5 % im Jahr 2022 in Rivers auf rund 5 % im Jahr 2050, bleibt aber in Rocks auch dann noch auf 2 % begrenzt.

In Rivers setzt eine Trendwende im Verlauf der energiebedingten CO₂-Emissionen bereits vor 2030 ein. Demgegenüber wird für Rocks noch mit einer Plateau-Phase bis in die 2030er Jahre gerechnet, bevor auch in diesem Szenario ein rückläufiger Verlauf eintritt. Im Ergebnis fallen die energiebedingten CO₂-Emissionen im Jahr 2050 im Vergleich zu 2022 in Rocks um 22 % und in Rivers um 41 % geringer aus. Diese Entwicklung würde mit einem globalen Temperaturanstieg von 2 Grad Celsius in Rivers und von 2,5 Grad Celsius in Rocks im Vergleich zum vorindustriellen Niveau einhergehen (Abb. 6).

Vergleich der Ergebnisse mit exploratorischen Szenarien anderer Institutionen

Die Trends, die in exploratorischen Szenarien anderer Institutionen, wie der IEA, von BP und Equinor, dem japanischen Forschungsinstitut IEEJ oder McKinsey für die bevorstehenden Jahrzehnte ausgewiesen werden, nehmen einen mit Rivers und Rocks vergleichbaren Verlauf, auch wenn sie sich in einzelnen Ausprägungen unterscheiden (Abb. 7 und 8). Gemeinsam ist allen in den Vergleich einbezogenen exploratorischen Szenarien, dass die fossile Welt schrittweise durch ein Zeitalter der erneuerbaren Energien abgelöst wird. Trotzdem ist die Transformation nicht stark genug, um den globalen Temperaturanstieg, wie „idealerweise“ im Pariser Klimaabkommen angestrebt, auf 1,5 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

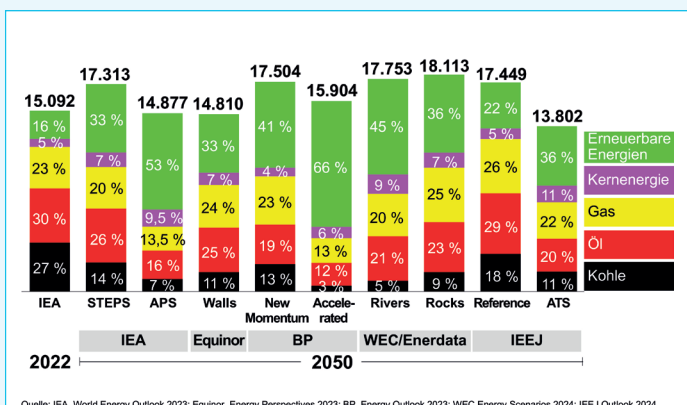


Abb. 7 Primärenergieverbrauch weltweit – Synopse der exploratorischen Szenarien von IEA, Equinor, BP, IEEJ und WEC/Enerdata bis 2050 (in Mtoe)

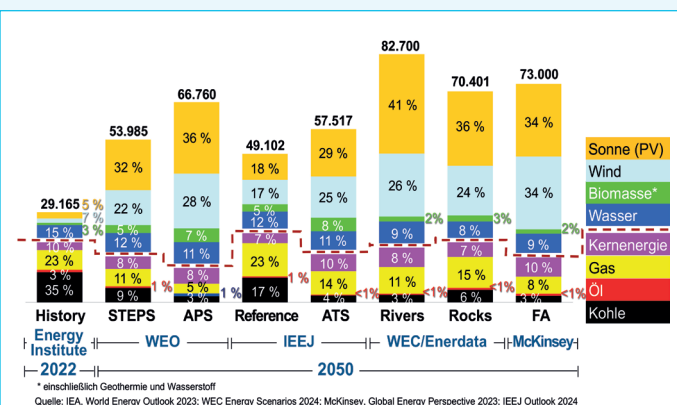


Abb. 8 Verschiedene exploratorische Szenarien einschließlich FA von McKinsey im Vergleich – Globale Stromerzeugung 2022 bis 2050 (in TWh)

Fazit

Die Zukunft der Energieversorgung sieht deutlich anders aus als die Vergangenheit. Dies zeigen die Prognosen und Szenarien, die in den vergangenen Monaten von internationalen Institutionen vorgelegt wurden. Es vollzieht sich ein Wandel von einem durch fossile Energien geprägten Zeitalter zu einer Welt, in der die erneuerbaren Energien dominieren. Entscheidende Schlüssel für das Erreichen der Klimaziele sind die beschleunigte Verbesserung der Energieeffizienz, der massive Ausbau erneuerbarer Energien, die breite Umsetzung der Technologie der Abscheidung und Nutzung bzw. Speicherung von CO₂ sowie das Setzen auf Wasserstoff, und zwar in denjenigen Sektoren, die für eine Elektrifizierung nur schwer zu erschließen sind. In einer Reihe von Staaten wird darüber hinaus der Kernenergie eine wichtige Rolle bei der Transformation der Energieversorgung beigemessen.

Wie schnell und wie stark sich dieser Wandel vollzieht, hängt von Faktoren ab, wie die energie- und klimapolitische Ausrichtung der Regierungen, die technologische Entwicklung und das Verbraucherverhalten. Die gegenwärtigen geopolitischen Verwerfungen und die weltweit erkennbaren politischen Rahmenseetzungen konterkarieren weitgehend die Beschlüsse im Rahmen des Pariser Klimaabkommens.

Die internationalen Klima-Verhandlungen sollten vor diesem Hintergrund neu ausgerichtet werden. Internationale Kooperation sollte wieder in den Fokus rücken. Die Abschaffung bestehender Verbraucherpreis-Subventionen für Energie und die internationale Verständigung auf eine Bepreisung von CO₂ sollten vorangetrieben werden. Positive Ansätze dazu bietet der Klimaklub, in dem sich Teilnehmerstaaten auf Übereinkommen zur Bepreisung von CO₂ und auf Ausgleichsabgaben für importierte Güter aus Staaten verständigen, die nicht Mitglieder des Klimaklubs sind.

Nächstes Highlight unter den Veranstaltungen des World Energy Council ist die Energy Week vom 20. bis 25. Oktober 2025 in Panama. Der 27. World Energy Congress wird vom 26. bis 29. Oktober 2026 in Riad, Saudi-Arabien, ausgerichtet werden.

In der Synopse berücksichtigte Studien

1. International Energy Agency (2023). World Energy Outlook 2023 (WEO 2023). Paris, October 2023
2. International Renewable Energy Agency (2023). World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway. Abu Dhabi, June 2023

3. U.S. Energy Information Administration (2023). International Energy Outlook 2023 (IEO 2023). Washington DC, October 2023
4. BP (2023). Energy Outlook: 2023 edition. London, July 2023
5. Equinor (2023). Energy Perspectives 2023. Oslo, June 2023
6. ExxonMobil (2023). Global Outlook: Our View to 2050. Irving (Texas), August 2023
7. DNV (2023). Energy Transition Outlook 2023 – A global and regional forecast to 2050 (ETO 2023). Oslo, October 2023
8. McKinsey & Company (2023). Global Energy Perspective 2023. New York, October 2023
9. Wood Mackenzie (2023). 2023 Energy Transition Outlook. London, November 2023
10. Enerdata (2023). EnerFuture 2023. Grenoble, August 2023
11. The Institute of Energy Economics, Japan (2023). IEEJ Outlook 2023. Tokyo, October 2023
12. World Energy Council (2024). World Energy Scenario Foundations 2024: Rocks and Rivers. London, April 2024

Prof. Dr. H.-W. Schiffer, Lehrbeauftragter an der RWTH Aachen University; Prof. Dr. S. Ulreich, Professor für Energiewirtschaft an der Hochschule Biberach
HWSchiffer@t-online.de
ulreich@hochschule-bc.de

www.janitza.de

THE **smarter** **E**
EUROPE

Unsere effizienten Systemlösungen finden Sie in Halle B5, Stand 474

<https://info.janitza.de/smarter-e-europe>

LASTFLUSSÜBERWACHUNG UND NETZQUALITÄT

DAS UMG 801 MEISTERT ALLE HERAUSFORDERUNGEN IM VERTEILNETZ

Egal ob in Neuanlagen oder als Retrofit – der modulare Netzanalysator überwacht nicht nur den Lastfluss, sondern auch die Spannungsqualität nach EN 50160.

Janitza®

