



International
Energy Agency
Secure
Sustainable
Together

World Energy Outlook 2016

ZUSAMMENFASSUNG

German translation

INTERNATIONALE ENERGIE-AGENTUR

Die Internationale Energie-Agentur (IEA) wurde im November 1974 als autonome Institution gegründet. Ihr Hauptauftrag war – und ist – zweigeteilt: die Energieversorgungssicherheit ihrer Mitgliedsländer durch gemeinsame Maßnahmen zur Bewältigung von physischen Störungen der Ölversorgung zu fördern und maßgebliche Forschungsarbeiten und Analysen dazu zu liefern, wie eine verlässliche, erschwingliche und saubere Energieversorgung in ihren 28 Mitgliedsländern und darüber hinaus sichergestellt werden kann. Die IEA führt ein umfassendes Programm zur Energiekooperation zwischen ihren Mitgliedsländern durch, die alle verpflichtet sind, Ölreserven im Umfang ihrer Nettoölimporte von 90 Tagen zu halten. Die grundlegenden Ziele der IEA lauten wie folgt:

- Sicherung des Zugangs der Mitgliedsländer zu einer verlässlichen und umfassenden Versorgung mit allen Energieformen, insbesondere durch Aufrechterhaltung effektiver Krisenkapazitäten zur Bewältigung von Störungen der Ölversorgung.
- Förderung nachhaltiger energiepolitischer Maßnahmen, die Wirtschaftswachstum und Umweltschutz in einem globalen Kontext antreiben – vor allem in Bezug auf die Reduzierung der zum Klimawandel beitragenden Treibhausgasemissionen.
- Verbesserung der Transparenz der internationalen Märkte durch Erfassung und Analyse von Energiedaten.
- Unterstützung der weltweiten Zusammenarbeit im Bereich der Energietechnologie zur Sicherung der künftigen Energieversorgung und Verringerung ihrer Auswirkungen auf die Umwelt, u.a. durch eine Steigerung der Energieeffizienz sowie die Entwicklung und Markteinführung von CO₂-armen Technologien.
 - Ausarbeitung von Lösungen für globale Energieherausforderungen durch Zusammenarbeit und Dialog mit Nichtmitgliedsländern, Wirtschaft, internationalen Organisationen und sonstigen Akteuren.

Die IEA-Mitgliedsländer sind:

Australien
Belgien
Dänemark
Deutschland
Estland
Finnland
Frankreich
Griechenland
Irland
Italien
Japan
Kanada
Republik Korea
Luxemburg
Neuseeland
Niederlande
Norwegen
Österreich
Polen
Portugal
Schweden
Schweiz
Slowakische Republik
Spanien
Tschechische Republik
Türkei
Ungarn
Vereinigtes Königreich
Vereinigte Staaten
Die Europäische Kommission
beteiligt sich ebenfalls
an der Arbeit der IEA.



**International
Energy Agency**
Secure
Sustainable
Together

© OCDE/IEA, 2016

International Energy Agency (IEA)

9 rue de la Fédération
75739 Paris Cedex 15, France

Diese Publikation unterliegt bestimmten
Einschränkungen in Bezug auf ihre
Verwendung und Verbreitung. Die entsprechenden
Bedingungen können online eingesehen werden unter:
www.iea.org/t&c/

Das im November 2016 in Kraft getretene Klimaschutzabkommen von Paris ist in seinem Kern ein Energieabkommen. Ein transformativer Wandel im Energiesektor, der Quelle von mindestens zwei Dritteln der Treibhausgasemissionen, ist eine wesentliche Voraussetzung für das Erreichen der Ziele des Abkommens. Die im Energiesektor bereits in Gang gekommenen Veränderungen zeigen das Versprechen und das Potenzial einer kohlenstoffarmen Energiewirtschaft und verleihen tiefgreifenden Klimaschutzmaßnahmen Glaubwürdigkeit. Im Jahr 2015 kam das Wachstum energiebezogener CO₂-Emissionen vollständig zum Stillstand. Der Hauptgrund dafür war eine Verringerung der Energieintensität der Weltwirtschaft um 1,8 %, ein Trend, der durch verbesserte Energieeffizienz, sowie durch den weltweiten Einsatz saubererer Energiequellen, hauptsächlich erneuerbare Energien, unterstützt wurde. Ein wachsender Anteil der jährlichen Energieinvestitionen von rund 1,8 Billionen USD entfällt auf saubere Energien; zu einem Zeitpunkt an dem die Investitionen in die Öl- und Gasförderung stark zurückgegangen sind. Der Wert der Subventionen für den Verbrauch fossiler Brennstoffe ging 2015 von fast 500 Milliarden USD im Vorjahr auf 325 Milliarden USD zurück. Das ist auf die niedrigeren Preise fossiler Brennstoffe zurückzuführen, aber auch auf einen Reformprozess für die Subventionen, der in mehreren Ländern an Dynamik gewonnen hat.

Der von erneuerbaren Energien angeführte Wandel im Stromsektor lenkte den Fokus auf eine neue Debatte zum Strommarktdesign und der Sicherheit der Stromversorgung, während die traditionellen Besorgnisse über die Energiesicherheit nicht verschwunden sind. Nimmt man Probleme mit der Energiearmut, der Bezahlbarkeit und der energiebedingten Luftverschmutzung sowie die Schwierigkeiten mit der öffentlichen Akzeptanz verschiedener Arten von Energieprojekten hinzu, gibt es viele Zielkonflikte, positive Nebeneffekte und konkurrierende Prioritäten im Energiesektor, die entwirrt werden müssen. Dies ist die Aufgabe, die der *World Energy Outlook* („Welt-Energieausblick“, *WEO*) in verschiedenen Szenarien und Fallstudien angeht. 2016 bietet sich zudem die Chance, die erste umfassende Untersuchung der neuen Ära vorzulegen, die durch das Pariser Abkommen eingeleitet wurde. Alle in Paris abgegebenen Klimaversprechen von etwa 190 Ländern wurden detailliert analysiert und in unser Hauptszenario integriert. Die stringenteren Dekarbonisierungsoptionen, die im *WEO-2016* unter die Lupe genommen wurden, umfassen nicht nur das 450-Szenario (das einer 50%igen Chance entspricht, die globale Erwärmung auf 2 °C zu begrenzen), sondern auch eine erste Untersuchung von Möglichkeiten die globale Erwärmung noch weiter zu begrenzen.

Der weltweite Energiebedarf wächst weiter, aber viele Millionen werden zurück gelassen

In unserem Hauptszenario steigt die globale Energienachfrage bis 2040 um 30%, dies impliziert eine Zunahme des Verbrauchs aller modernen Energieträger. Die globalen

Gesamtzahlen verschleiern jedoch eine Vielzahl unterschiedlicher Trends und signifikanter Verschiebungen unter den Energieträgern. Darüber hinaus haben mehrere hundert Millionen Menschen auch 2040 noch keinen Zugang zu grundlegenden Energiedienstleistungen. Weltweit verzeichnen erneuerbare Energien – ein Schwerpunktthema im *WEO-2016* – bei weitem das stärkste Wachstum. Unter den fossilen Brennstoffen schneidet Erdgas mit einem Anstieg des Verbrauchs um 50% am besten ab. Das Wachstum der Ölnachfrage verlangsamt sich im Untersuchungszeitraum, übersteigt bis 2040 aber 103 Millionen Barrel pro Tag. Der Kohleverbrauch wird stark durch Umweltbedenken belastet und nach der rasanten Zunahme der letzten Jahre kommt das Wachstum im Wesentlichen zum Stillstand. Die Zunahme der Kernenergieerzeugung wird hauptsächlich durch China vorangetrieben. Infolge der Abwärtstendenz der Energienachfrage in den OECD-Ländern verlagert sich der globale Energieverbrauch weiter auf die von Industrialisierung und Urbanisierung geprägten Gegenden Indiens, Südostasiens und Chinas sowie Teilen Afrikas, Lateinamerikas und des Nahen Ostens. China und Indien verzeichnen die stärkste Expansion der Solar-Photovoltaik (PV) während die Entwicklungsländer in Asien ab Mitte der 2030er Jahre mehr Öl verbrauchen werden als die OECD-Länder zusammen. Trotz der verstärkten Bemühungen in vielen Ländern werden große Teile der Weltbevölkerung aber weiterhin ohne Zugang zur modernen Energieversorgung bleiben. Über eine halbe Milliarde Menschen, die sich zunehmend auf ländliche Gebiete Subsahara-Afrikas konzentrieren, werden auch 2040 noch keinen Zugang zu Strom haben (ein Rückgang gegenüber derzeit 1,2 Milliarden). Etwa 1,8 Milliarden werden weiterhin auf feste Biomasse als Kochbrennstoff angewiesen sein (ein Drittel weniger als die 2,7 Milliarden von heute). Das bedeutet, dass sie sich weiterhin in verrauchten Innenräumen aufhalten, die derzeit zu 3,5 Millionen vorzeitigen Todesfällen pro Jahr führen.

Eine neue Kapitalverteilung

In unserem Hauptszenario sind Investitionen von insgesamt 44 Billionen USD in die globale Energieversorgung nötig. 60% gehen in die Förderung und Bereitstellung von Öl, Gas und Kohle sowie in Kraftwerke, die diese Energieträger nutzen, und knapp 20% in erneuerbare Energien. Zur Verbesserung der Energieeffizienz sind weitere 23 Billionen USD erforderlich. Im Vergleich zum Zeitraum von 2000 bis 2015, als nahezu 70% der gesamten Versorgungsinvestitionen für fossile Brennstoffe verwendet wurden, stellt dies eine signifikante Kapitalumverteilung dar, insbesondere angesichts des zu erwartenden anhaltenden Rückgangs der Kosten für Schlüsseltechnologien der erneuerbare Energiesparte. Der wichtigste Impuls für Investitionen in die Öl- und Gasförderung ist der Rückgang der Fördermengen aus bestehenden Feldern. Bei Erdöl entspricht dies alle zwei Jahre dem Verlust der gegenwärtigen Fördermenge des Iraks aus der globalen Bilanz. Im Stromsektor wird sich die Beziehung zwischen der tatsächlichen Stromerzeugung und den Erzeugungskapazitäten ändern. Ein großer Teil der künftigen Investitionen geht in Kapazitäten auf Basis erneuerbarer Energien, die in der Regel mit relativ niedriger Kapazitätsauslastung betrieben werden. Infolgedessen wird jede zusätzliche Nachfrageeinheit die Bereitstellung von 40% mehr Kapazität als im Zeitraum von 1990 bis

2010 erforderlich machen. Ein zunehmend größerer Anteil der Ausgaben für kapitalintensive Technologien wird jedoch in den meisten Fällen durch minimale Betriebskosten ausgeglichen, zum Beispiel fallen keine Brennstoffkosten für Windkraft und Solarstrom an.

Klimaversprechen und Klimaziele

Die Länder sind allgemein auf dem besten Weg, viele der Ziele ihrer Versprechungen im Pariser Abkommen zu erreichen und in einigen Fällen sogar zu übertreffen. Das reicht aus, um den projizierten Anstieg der weltweit durch die Energieerzeugung verursachten CO₂-Emissionen zu verlangsamen, ist aber bei weitem nicht genug, um die globale Erwärmung auf weniger als 2 °C zu begrenzen. Der Wandel Chinas zu einem auf Inlandsnachfrage und Dienstleistungen gestützten Wachstumsmodell spielt eine wichtige Rolle für den Verlauf der globalen Trends. Der Infrastrukturaufbau in China in den letzten Jahrzehnten stützte sich stark auf energieintensive industrielle Sektoren, insbesondere Stahl und Zement. Die Energienachfrage dieser Sektoren hat jedoch ihren Höhepunkt überschritten, und durch den projizierten Rückgang bis 2040 verringert sich auch der Kohleverbrauch in der chinesischen Industrie. Fast das gesamte Wachstum der chinesischen Stromerzeugung stammt aus anderen Quellen als Kohle, deren Anteil am Erzeugungsmix infolgedessen von derzeit fast drei Vierteln auf weniger als 45% im Jahr 2040 zurückgeht. Die energiebedingten CO₂-Emissionen Chinas stagnieren nur etwas über dem derzeitigen Niveau. In Indien verringert sich der Anteil von Kohle am Erzeugungsmix im Zeitraum bis 2040 von 75% auf 55%, eine bedeutende Veränderung in einem Land, in dem sich die Stromnachfrage mehr als verdreifacht (im Vergleich zu einer Zunahme um „lediglich“ 85% in China). Unter den wichtigsten Industriestaaten befinden sich die USA, die Europäische Union und Japan offenbar weitgehend auf einem guten Weg, ihre Klimaversprechen zu erreichen; mit weiteren Verbesserungen der Energieeffizienz nachzulegen ist jedoch nötig. Mit einem anhaltenden Fokus auf eine vollständige und zeitgerechte Umsetzung reichen die Versprechen aus, um den Anstieg der weltweiten CO₂-Emissionen auf einen jährlichen Durchschnitt von 160 Millionen Tonnen zu begrenzen. Dies ist eine markante Reduzierung im Vergleich zur durchschnittlichen Zunahme um 650 Millionen Tonnen pro Jahr seit 2000. Ein anhaltendes Wachstum der energiebedingten CO₂-Emissionen, auf 36 Gigatonnen im Jahr 2040, bedeutet aber selbstverständlich, dass das Ziel des Pariser Abkommens, den Scheitelpunkt der Emissionen so bald wie möglich zu überschreiten, mit diesen Versprechungen nicht erfüllt wird.

Effizienz ist der Motor des Wandels

Für das 450-Szenario ist ein zügigeres Tempo der Dekarbonisierung und Effizienzverbesserungen erforderlich. Dies unterstreicht die Bedeutung des im Pariser Abkommen festgelegten fünfjährigen Überprüfungsmechanismus für die Länder, um den Ehrgeiz bei der Umsetzung ihrer Klimaversprechen zu verstärken. Die Frontlinien für zusätzliche Emissionsreduzierungen im 450-Szenario liegen im Stromsektor: beschleunigte Nutzung erneuerbarer Energien, Kernenergie (wo dies politisch akzeptabel ist) sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung, entschlossenes Vorantreiben einer stärkeren

Elektrifizierung und verbesserte Effizienz in allen Endverbrauchssektoren sowie robuste und konzertierte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen von Regierungen und Unternehmen im Bereich sauberer Energien. Im Hinblick auf die Effizienz heben wir im *WEO-2016* das Potenzial für weitere Verbesserungen der Leistungsfähigkeit von elektrischen Antriebssystemen hervor, auf die mehr als die Hälfte des heutigen Stromverbrauchs in einer ganzen Reihe von Endenergieverbräuchen entfallen (z. B. Ventilatoren, Kompressoren, Pumpen, Fahrzeuge, Kühlanlagen). Alleine im industriellen Sektor reduzieren zusätzliche kumulative Investitionen von rund 300 Milliarden USD im 450-Szenario den globalen Strombedarf in 2040 um etwa 5% und vermeiden 450 Milliarden USD an Investitionen in die Stromerzeugung. Um diese Energieeinsparungen zu realisieren, ist ein systemweiter Ansatz erforderlich, der nicht nur eine strenge Regulierung von Motoren und motorgetriebenen Geräten umfasst, sondern auch einen verbreiteteren Einsatz von regelbaren Antrieben und die Umsetzung weiterer Maßnahmen der Betreiber zur Verbesserung der Effizienz des Systems als Ganzes, wie eine vorausschauende Wartung.

Elektrofahrzeuge startklar

Strom hat einen immer größeren Anteil am Wachstum des Endenergieverbrauchs: Gegenüber nur etwas über einem Viertel in den letzten 25 Jahren entfallen in unserem Hauptszenario bis 2040 fast 40% des zusätzlichen Verbrauchs auf Strom und im 450-Szenario sogar zwei Drittel. Über 85% der Zunahme des Stromverbrauchs betreffen Nicht-OECD-Länder in beiden Szenarien. Strom ist aber auch einer der wenigen Energieträger, der in den OECD-Ländern einen Zuwachs verzeichnet. Der Stromverbrauch im Straßenverkehr ist zwar nur ein kleiner Faktor im gesamten Strombedarf. Seine projizierte Zunahme ist jedoch bezeichnend für den breiteren Trend, da Elektroautos für die Verbraucher immer attraktiver werden, mehr Modelle am Markt erscheinen und der Kostenunterschied zu herkömmlichen Fahrzeugen weiter schrumpft. 2015 erreichte der weltweite Bestand an Elektroautos 1,3 Millionen, womit er sich gegenüber dem Niveau von 2014 fast verdoppelte. In unserem Hauptszenario steigt diese Zahl bis 2025 auf über 30 Millionen. Im Jahr 2040 übersteigt der Bestand 150 Millionen, womit sich die Ölnachfrage in 2040 um rund 1,3 Millionen Barrel/Tag verringert. Obwohl die Batteriepreise weiter zurückgehen, ist eine politische Unterstützung – die im Augenblick keineswegs universal vorhanden ist – immer noch wichtig, um mehr Verbraucher dazu zu bewegen, statt eines herkömmlichen Fahrzeugs ein Elektroauto zu wählen. Wenn diese Politikmaßnahmen, die unter anderem strengere Vorschriften für Treibstoffeffizienz und Emissionen sowie finanzielle Anreize umfassen, nachdrücklicher und auf breiter Linie ergriffen werden, wie im 450-Szenario, würde dies bis 2040 zu etwa 715 Millionen Elektroautos auf den Straßen führen und den Ölbedarf um mehr als 6 Millionen Barrel/Tag reduzieren.

Durchbruch erneuerbarer Energien

Der Stromsektor ist der Schwerpunkt vieler Versprechen von Paris: In unserem Hauptszenario beruhen knapp 60% der gesamten neuen Stromerzeugungskapazitäten bis 2040 auf erneuerbaren Energien und der Großteil der Erzeugung aus erneuerbaren Energien ist im Jahr 2040 ohne Subventionen konkurrenzfähig. Der beschleunigte Einsatz

führt zu niedrigeren Kosten: Die Durchschnittskosten für Photovoltaik dürften bis 2040 um weitere 40-70% zurückgehen und bei Windkraftanlagen an Land um weitere 10-25%. Die Subventionen pro neuer Photovoltaik-Einheit in China gehen bis 2025 um drei Viertel zurück, und Solarprojekte in Indien sind deutlich vor 2030 ohne jegliche Unterstützung konkurrenzfähig. Derzeit belaufen sich die Subventionen für erneuerbare Energien auf rund 150 Milliarden USD. Rund 80% davon fließen in den Stromsektor, 18% in den Transport und rund 1% in die Wärmeerzeugung. Infolge der rückläufigen Kosten und einem erwarteten Anstieg der Strompreise für Endverbraucher befinden sich die weltweiten Subventionen für erneuerbare Energien in den 2030er Jahren im Abwärtstrend, nachdem sie bei 240 Milliarden USD den Höhepunkt überschritten haben. Auch bei der Wärmeversorgung, der größten Komponente der globalen Energiedienstleistungsnachfrage, gewinnen erneuerbare Energien an Boden und decken bis 2040 fast die Hälfte des Wachstums ab. Dies betrifft hauptsächlich Bioenergie für die industrielle Heizung in asiatischen Schwellenländern sowie solarthermische Systeme für die Warmwasserbereitung, die in vielen Ländern wie China, Südafrika, Israel und der Türkei bereits etablierte Praxis sind.

Im 450-Szenario stammen fast 60% der Stromerzeugung im Jahr 2040 aus erneuerbaren Energien, fast die Hälfte davon aus Windkraft und Photovoltaik. In diesem Szenario ist der Stromsektor weitgehend dekarbonisiert: Die durchschnittliche Emissionsintensität der Stromerzeugung sinkt bis 2040 auf 80 Gramm CO₂ pro kWh, gegenüber 335 g CO₂/kWh in unserem Hauptszenario und 515 g CO₂/kWh heute. In den vier größten Strommärkten (China, USA, Europäische Union und Indien), werden variable erneuerbare Energien zur wichtigsten Quelle der Stromerzeugung, bereits etwa ab dem Jahr 2030 in Europa und ungefähr ab 2035 in den anderen drei Ländern. Eine Steigerung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien um 40% gegenüber unserem Hauptszenario ist nur mit einem Anstieg der gesamten Subventionen um 15% und geringen zusätzlichen Kosten für die Verbraucher verbunden: Die Stromrechnungen der Haushalte bleiben im 450-Szenario praktisch unverändert gegenüber unserem Hauptszenario, unter anderem dank einem effizienteren Energieeinsatz.

Der politische Fokus verlagert sich auf die Integration

Kostensenkungen für erneuerbare Energien reichen alleine nicht aus, um eine effiziente Dekarbonisierung der Stromversorgung sicherzustellen. Um ausreichende Anreize für Investitionen sicherzustellen und einen hohen Anteil an variablem Wind- und Solarstrom zu integrieren, sind strukturelle Veränderungen des Designs und des Betriebs des Stromsystems erforderlich. Durch den schnellen Ausbau von Technologien mit niedrigen Grenzkosten, wie bei den meisten erneuerbaren Energien der Fall, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit längerer Phasen mit sehr niedrigen Großhandelsstrompreisen. Um sicherzustellen, dass die Stromerzeuger ihre Kosten verdienen können und das Stromsystem mit der nötigen Flexibilität arbeiten kann, ist eine sorgsame Überprüfung der Marktregeln und -strukturen erforderlich. Durch eine Stärkung des Stromnetzes, Anreize für einen Ausbau systemfreundlicher Wind- und Solaranlagen und die Bereitstellung kurzfristig regelbarer Kraftwerke lässt sich Wind- und Solarstrom in das System aufnehmen

bis diese einen Anteil von etwa einem Viertel am Strommix erreichen. Nach diesem Punkt werden Nachfragesteuerung (Demand Response) und Energiespeicherung unerlässlich, um zu vermeiden, dass Windkraft- und Solaranlagen in Zeiten hoher Erzeugung abgeschaltet werden müssen. Sofern diese zusätzlichen Maßnahmen ausbleiben, könnte es bis zum Ende des in unserem *Outlook* betrachteten Zeitraums im 450-Szenario in Europa in bis zu einem Drittel der Zeit zu Abschaltungen kommen und in den USA und Indien in bis zu etwa 20%. Damit blieben etwa 30% der Investitionen in neue Windkraft- und Solaranlagen ungenutzt. Die rechtzeitige Bereitstellung kosteneffizienter Nachfragesteuerungsmaßnahmen und Speichervorrichtungen, im Rahmen eines Pakets von Systemintegrationsinstrumenten, würde die Abschaltung der jährlichen Wind- und Solarstromproduktion auf unter 2,5% begrenzen und den Weg zu einer tiefgreifenden Dekarbonisierung des Stromsektors ebnen.

Der Weg hin zu 2 °C ist steinig: zu 1,5 °C führt er durch Neuland

Die Herausforderung, ein 450-Szenario zu erreichen, ist enorm und erfordert eine massive Umverteilung des in den Energiesektor fließenden Investitionskapitals. Im 450-Szenario verlagert sich die Aufteilung der kumulativen Investitionen von 40 Billionen USD in die Energieversorgung (etwa 4 Billionen USD weniger als in unserem Hauptszenario) weg von fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien und anderen CO₂-armen Investitionen in Kernenergie und CO₂-Abscheidung und -Speicherung. Bis 2040 geht der Anteil der auf fossile Brennstoffe entfällt auf ein Drittel zurück. Darüber hinaus sind 35 Billionen USD für die Verbesserung der Energieeffizienz nötig (zusätzliche 12 Billionen USD im Vergleich zu unserem Hauptszenario). Im 450-Szenario schlägt der Energiesektor einen Kurs ein, auf dem vor dem Ende dieses Jahrhunderts einen Punkt erreicht wird, an dem alle noch verbleibenden Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe entweder abgeschieden und gespeichert oder aber durch Technologien ausgeglichen werden, die Kohlendioxid aus der Atmosphäre entfernen. Je ehrgeiziger das Ziel für die Begrenzung der globalen Erwärmung ist, umso früher muss dieser Punkt der Netto-Nullemissionen erreicht werden. Für eine vernünftige Chance, innerhalb des Temperaturziels von 1,5 °C zu bleiben, ist ein enormer Wandel nötig. Hierzu müssten irgendwann zwischen 2040 und 2060 Netto-Nullemissionen erreicht werden (selbst wenn in großem Maßstab Negativemissionstechnologien eingesetzt werden könnten). Daher sind schon innerhalb kürzester Zeit drastische Reduktionen der CO₂-Emissionen im Energiesektor erforderlich, für die alle bekannten technologischen, gesellschaftlichen und regulatorischen Dekarbonisierungsoptionen genutzt werden müssen.

Fossile Brennstoffe und die Risiken einer Umstellung auf eine kohlenstoffarme Energiewirtschaft

Im Augenblick lautet das kollektive Signal der Regierungen durch ihre Klimaversprechen (das in unserem Hauptszenario folglich berücksichtigt ist), dass fossile Brennstoffe, insbesondere Erdgas und Öl, noch viele Jahrzehnte lang der Grundpfeiler des globalen Energiesystems bleiben werden. Die brennstofffördernde Industrie kann es sich jedoch nicht leisten, die Risiken zu ignorieren, die sich aus einem schnelleren Wandel ergeben würden. Während der Verbrauch aller fossiler Brennstoffe in unserem Hauptszenario

weiter zunimmt, kehrt die globale Ölnachfrage im 450-Szenario bis 2040 auf die Niveaus von Ende der 1990er Jahre zurück, unter 75 Millionen Barrel/Tag. Der Kohleverbrauch verringert sich auf einen Stand, der zuletzt Mitte der 1980er Jahre beobachtet wurden, mit weniger als 3000 Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten pro Jahr. Lediglich Gas verzeichnet einen Anstieg im Vergleich zum heutigen Verbrauchsniveau. Eine kompromisslos auf die Dekarbonisierung des Energiesystems ausgerichtete Politik hat wichtige Folgen für die künftigen Erträge auf fossile Brennstoffe gestützter Unternehmen und Exportländer. Die Risikoexposition variiert jedoch je nach Brennstoffart und Position in der Wertschöpfungskette. So konzentriert sich das Vermögensverlustrisiko im Kohlesektor auf Kohlekraftwerke (für welche die CO₂-Abscheidung und -Speicherung zu einer wichtigen Vermögensschutzstrategie wird). Das größte Risiko im Kohleabbau, der wesentlich weniger kapitalintensiv ist, betrifft hingegen die Beschäftigung. Exportländer können Schritte ergreifen, um die Risikoanfälligkeit zu reduzieren, indem sie ihre Abhängigkeit von Einnahmen aus fossilen Brennstoffen reduzieren, wie es Saudi-Arabien zum Beispiel mit seinem umfassenden Reformprogramm „Vision 2030“ tut. Im Falle von Erdöl sehen wir keinen Grund, im 450-Szenario von umfangreichen verlorenen Vermögenswerten im Upstreambereich auszugehen, sofern die Regierungen ihre Absichten klar signalisieren und eine konsistente Politik in Richtung dieses Ziels verfolgen. Investitionen in die Entwicklung neuer Projekte im Upstreambereich sind eine wichtige Komponente eines kostenminimalen Wandels, da der Förderrückgang in bestehenden Ölfeldern wesentlich größer ist als der erwartete Nachfragerückgang. Das Risiko würde jedoch drastisch zunehmen, wenn es zu plötzlichen politischen Richtungsänderungen, Zyklen mit abruptem politischem Hin und Her oder anderen Umständen käme, die dazu führten, dass Unternehmen für eine Nachfrageentwicklung investierten, die dann nicht eintritt.

Auf Ölmärkte könnte eine weitere Holperstrecke zukommen

Für die Ölmärkte könnte in der kurzen Frist ein Risiko aus der Gegenrichtung kommen – ein Mangel an neuen Projekten – wenn der Rückgang der Investitionen im Upstreambereich aus den Jahren 2015 und 2016 ein weiteres Jahr fortgesetzt würde. 2015 ging das Volumen der herkömmlichen Erdölressourcen, für die eine Entwicklungsentscheidung getroffen wurde, auf das niedrigste Niveau seit den 1950er Jahren zurück, und die für 2016 verfügbaren Daten lassen kein Anzeichen einer Erholung erkennen. Die bemerkenswerte Robustheit der Schieferölproduktion in den USA während des gegenwärtigen Abschwungs und ihre Fähigkeit, sich aufgrund des kurzen Investitionszyklus innerhalb von wenigen Monaten an Preisveränderungen anzupassen, zog große Aufmerksamkeit auf sich. Am Horizont sind jedoch Gefahren für die „Grundlast“ der Ölförderung erkennbar, die konventionellen Projekte, die nach einem anderen Rhythmus funktionieren, und Vorlaufzeiten von drei bis sechs Jahren von der Investitionsentscheidung bis zur ersten Ölförderung haben. Wenn in 2017 Investitionsentscheidungen das dritte Jahr in Folge niedrig bleiben, wird es unserer Meinung nach zunehmend unwahrscheinlich, dass die (in unserem Hauptszenario projizierte) Nachfrage durch das Angebot Anfang der 2020er Jahre abgedeckt werden kann, ohne einen neuen Konjunkturzyklus in der Branche auszulösen.

Langfristig konzentriert sich der Ölbedarf in unserem Hauptszenario auf die Bereiche Fracht, Luftfahrt und Petrochemie, in denen es kaum Alternativen gibt, während sich das Ölangebot – trotz der guten Aussichten für US-Schieferöl – zunehmend auf den Nahen Osten konzentriert. Es gibt kaum Substitute für Ölprodukte als Treibstoff für Lkws und Flugzeuge sowie als Grundstoff für die chemische Industrie. Auf diese drei Sektoren entfällt das gesamte Wachstum des weltweiten Ölverbrauchs. Die Gesamtnachfrage aus den OECD-Ländern geht bis 2040 um fast 12 Millionen Barrel/Tag zurück. Dieser Rückgang wird jedoch durch den Anstieg in anderen Regionen mehr als aufgehoben. In Indien, der größten Quelle des künftigen Nachfragewachstums, steigt der Ölverbrauch um 6 Millionen Barrel/Tag. Auf der Angebotsseite wurde die projizierte Schieferölförderung in den USA nach oben revidiert und wird länger höher bleiben als im *Outlook* des letzten Jahres beschrieben. Insgesamt geht die Produktion in den Nicht-OPEC-Ländern jedoch ab Anfang der 2020er Jahre zurück. Es wird davon ausgegangen dass die OPEC zu einer Politik der aktiven Marktsteuerung zurückkehren wird. Trotzdem steigt ihr Anteil an der globalen Förderung bis 2040 Richtung 50%. Die Welt hängt zunehmend von einer Steigerung der Förderung im Iran (die 2040 6 Millionen Barrel/Tag erreicht) und im Irak (7 Millionen Barrel/Tag im Jahr 2040) ab, um ein Marktgleichgewicht herzustellen. Der Fokus des Ölhandels verlagert sich klar nach Asien: Der Netto-Ölimport der USA geht bis 2040 auf nahezu null zurück.

Ein wirklich globaler Gasmarkt ist in Sichtweite

Eine jährliche Wachstumsrate der Erdgasnachfrage um 1,5 % bis 2040 ist robust im Vergleich zu anderen fossilen Brennstoffen. Doch die Märkte, Geschäftsmodelle und Preisfindungsmechanismen sind im Wandel begriffen. Ein flexiblerer Weltmarkt, der durch eine Verdopplung des Handels mit Flüssigerdgas verbunden wird, unterstützt die bedeutendere Rolle von Gas im globalen Energiemix. Der Gasverbrauch steigt fast überall. Die größte Ausnahme ist Japan, wo er zurückgeht, weil dort die Kernenergienutzung wieder aufgenommen wird. China (wo der Verbrauch um über 400 Milliarden Kubikmeter wächst) und der Nahe Osten sind die größten Quellen des Wachstums. Es ist jedoch fraglich, wie schnell ein Markt, der derzeit einen Überschuss an Gas aufweist, zum Gleichgewicht zurückfinden kann, insbesondere da derzeit Verflüssigungsanlagen für weitere 130 Milliarden Kubikmeter im Bau sind, hauptsächlich in den USA und in Australien. In unserem *Outlook* gehen wir von einer markanten Veränderung vom bisherigen System der starken, zeitlich festgelegten Beziehungen zwischen den Anbietern und einer definierten Gruppe von Abnehmern zu einem stärker vom Wettbewerb und flexiblen Arrangements geprägten Umfeld aus, in dem sich die Preisfindung stärker an den Fundamentaldaten des Gasmarktes orientiert. Angetrieben wird dieser Wandel von der zunehmenden Verfügbarkeit ungebundener Flüssigerdgas-Ladungen aus den USA sowie vom Markteintritt anderer neuer Exporteure in den 2020er Jahren, insbesondere aus Ostafrika, aber auch von der größeren Vielfalt des globalen Angebots durch die fortgesetzte, wenn auch ungleichmäßige Ausbreitung der Revolution des unkonventionellen Erdgases. Tanklagerschiffe mit Rückverflüssigungsanlagen helfen dabei, neue und kleinere Märkte für Flüssigerdgas zu erschließen, dessen Anteil am Gashandel von 42% im Jahr 2014 auf 53% 2040 wächst. Die Unsicherheit über die Auswirkungen dieses kommerziellen Wandels

könnte jedoch zum Aufschub von Entscheidungen über neue Förder- und Transportprojekte führen. Damit besteht das Risiko einer harten Landung für den Gasmarkt, sobald das gegenwärtige Überangebot absorbiert ist. Angesichts des starken Wettbewerbs durch andere Energieträger, insbesondere im Stromsektor, müssen exportorientierte Produzenten sich anstrengen um die Kosten in den Griff zu bekommen. Mitte der 2020er Jahre würden neue Gaskraftwerke in gasimportierenden Ländern Asiens nur dann eine günstigere Option für die Grundlaststromerzeugung darstellen, wenn der Kohlepreis bei 150 USD pro Tonne läge (das Doppelte des für 2025 erwarteten Preises). Durch den zunehmenden Einsatz und die sinkenden Kosten erneuerbarer Energien entsteht der Stromerzeugung aus Erdgas ebenfalls Konkurrenz.

Kohle: schwierige Lage

Da keine weltweite Belebung der Nachfrage nach Kohle in Sicht ist, hängt das Erreichen eines Marktgleichgewichts von Reduzierungen der Angebotskapazitäten ab, hauptsächlich in China und den USA. Die Aussichten für die Kohlenachfrage sind regional sehr unterschiedlich. Einige einkommensstärkere Volkswirtschaften, häufig mit einem stagnierenden oder abnehmenden Gesamtenergiebedarf, ersetzen Kohle zügig durch kohlenstoffärmere Alternativen. In der Europäischen Union und den USA (auf die heute zusammen etwa ein Sechstel des weltweiten Kohleverbrauchs entfallen) geht die Kohlenachfrage im Zeitraum bis 2040 um über 60% bzw. 40% zurück. Einkommensschwächere Volkswirtschaften, insbesondere Indien und Länder in Südostasien, müssen unterdessen mehrere Energiequellen mobilisieren, um den stark wachsenden Verbrauch zu decken. Deshalb können sie es sich im Augenblick nicht leisten, eine kostengünstige Energiequelle zu vernachlässigen, auch wenn sie gleichzeitig auch andere Energiequellen ausbauen. China ist dabei, von der letzteren Ländergruppe zur ersteren zu wechseln. Dies resultiert in einem Rückgang der chinesischen Kohlenachfrage um nahezu 15% über den im *Outlook* erfassten Zeitraum. China hat auch einen wichtigen Einfluss darauf, wie der Markt nach dem abrupten Ende des Kohlebooms der 2000er Jahre zu einem neuen Gleichgewicht findet. China hat eine Reihe staatlicher Maßnahmen ergriffen, um die Bergbaukapazitäten zu reduzieren. Dies hat bereits dazu beigetragen, den Kohlepreis 2016 nach oben zu treiben (nachdem er vier Jahre in Folge sank). Wenn sich die gesellschaftlichen Kosten dieses Wandels jedoch als zu hoch erweisen, könnte China das Tempo der Angebotsreduzierungen verringern, womit die Möglichkeit bestünde, dass das Land sogar zu einem Kohleexporteur wird, um die Überschussproduktion unterzubringen: Dadurch würde sich die Baisse am Weltmarkt in die Länge ziehen. Neben Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz von Kohlekraftwerken und zur Reduzierung von Schadstoffemissionen hängt die langfristige Zukunft der Kohle zunehmend von der kommerziellen Verfügbarkeit von Anlagen zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung ab, da nur CO₂-arme Kohlenutzung mit einer tiefgreifenden Dekarbonisierung vereinbar ist.

Energie und Wasser: das eine fließt nicht ohne das andere

Die wechselseitige Abhängigkeit zwischen Energie und Wasser dürfte sich in den kommenden Jahren intensivieren, da der Wasserbedarf des Energiesektors ebenso steigt

Zusammenfassung

wie der Energiebedarf des Wassersektors. Wasser ist für alle Phasen der Energieproduktion unerlässlich: Der Energiesektor ist für 10% der weltweiten Wasserentnahme verantwortlich, hauptsächlich für den Betrieb von Kraftwerken, aber auch für die Produktion von fossilen Brennstoffen und Biokraftstoffen. Dieser Bedarf wird im Zeitraum bis 2040 zunehmen, insbesondere für Verbrauchswasser (das entnommen, aber nicht zurückgeleitet wird). Im Stromsektor findet ein Umstieg auf fortschrittlichere Kühlungstechnologien statt, die zwar weniger Wasser entnehmen, allerdings mehr verbrauchen. Die wachsende Nachfrage nach Biokraftstoffen treibt den Wasserverbrauch in die Höhe und der verstärkte Einsatz von Kernenergie führt zu größeren Entnahme- und Verbrauchsmengen. Auf der anderen Seite der Energie-Wasser-Gleichung bietet die WEO-Analyse eine erste systematische globale Schätzung der für die Wasserversorgung von Verbrauchern verwendeten Energiemenge. Im Jahr 2014 dienten etwa 4% des globalen Stromverbrauchs der Gewinnung, Verteilung und Aufbereitung von Wasser und Abwasser, zusammen mit 50 Millionen Tonnen Öläquivalenten an thermischer Energie, hauptsächlich Dieselkraftstoff für Bewässerungspumpen und Gas in Meerwasserentsalzungsanlagen. Unsere Projektionen deuten auf eine Verdoppelung des Energieverbrauchs im Wassersektor im Zeitraum bis 2040 hin. Im Nahen Osten und in Nordafrika steigen die Meerwasserentsalzungskapazitäten stark an, während die Nachfrage nach Abwasseraufbereitung (und einem höheren Niveau der Aufbereitung) zunimmt, insbesondere in den Schwellenländern. Im Jahr 2040 entfallen 16% des Stromverbrauchs im Nahen Osten auf die Wasserversorgung.

Der Umgang mit der Wechselbeziehung zwischen Energie und Wasser ist ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Erfüllung einer Reihe von Entwicklungs- und Klimazielen. Zwischen den neuen Zielen nachhaltiger Entwicklung der Vereinten Nationen für sauberes Wasser und sanitäre Einrichtungen (SDG-Ziel 6) und bezahlbarer und sauberer Energie (SDG-Ziel 7) gibt es zahlreiche Bezüge. Wenn sie richtig angepackt werden, könnte dies dabei helfen, beides zu erreichen. Außerdem gibt es auch viele wirtschaftlich sinnvolle Möglichkeiten, Energie und Wasser zu sparen, die beide Systeme entlasten könnten, wenn sie auf integrierte Weise berücksichtigt werden. Klimaschutzmaßnahmen können in einigen Fällen die Belastung des Wassersystems verschärfen oder durch die Verfügbarkeit von Wasser behindert werden. Einige kohlenstoffarme Technologien, wie Windkraft und Photovoltaik, erfordern sehr wenig Wasser. Je stärker sich der Weg zur Dekarbonisierung jedoch auf Biokraftstoffe, solarthermische Kraftwerke, CO₂-Abscheidung oder Kernenergie stützt, umso höher ist der Wasserverbrauch. Infolgedessen ist der Wasserverbrauch 2040 im 450-Szenario trotz des geringeren Energiebedarfs etwas höher als in unserem Hauptszenario.

Online bookshop

www.iea.org/books

PDF versions at 20% discount

International Energy Agency

iea

Secure Sustainable Together

Email: books@iea.org

Energy
Technology
Perspectives
series

World
Energy
Outlook
series

Energy
Policies
of IEA
Countries
series

Energy
Statistics
series

Oil

Medium-
Term Market
Reports
series

Renewable
Energy

Energy
Efficiency
Market
Report

Coal

Gas

Energy
Policies
Beyond IEA
Countries
series

© IAEA/IEA, 2016

*Dieses Dokument wurde ursprünglich auf Englisch veröffentlicht.
Die IEA hat zwar im Rahmen des Möglichen sichergestellt, dass die deutsche Übersetzung dem englischen Original getreu ist, kleine Abweichungen sind jedoch nicht auszuschließen.*

This publication reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of individual IEA member countries. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the publication's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the publication.
Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

This document and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA/OECD possible corrigenda on:
www.oecd.org/about/publishing/corrigenda.htm

*IEA Publications
9, rue de la Fédération, 75739 Paris cedex 15*

*Typeset and printed by IEA, November 2016
Cover design: IEA.
Photo credits: © Graphic Obsession*

World Energy Outlook 2016

Das bahnbrechende **Klimaschutzabkommen** von Paris wird das globale Energiesystem auf Jahrzehnte hinaus verändern.

Der jüngste **World Energy Outlook** („WEO“) bietet auf Basis von **Energieprojektionen bis 2040** die umfassendste Analyse, wie dieser Wandel im Energiesektor aussehen könnte. Er betrachtet die wichtigsten Chancen und Herausforderungen für **erneuerbare Energien**, die die zentrale Säule für den Wandel zu einer kohlenstoffarmen Energiewirtschaft bilden, sowie die entscheidende Rolle der **Energieeffizienz**.

Der **WEO-2016** untersucht, wie die Welt nach Paris den Gedanken der **Energieversorgungssicherheit** neu definiert, insbesondere im Stromsektor, der Speerspitze im Kampf gegen den Klimawandel. Der Bericht erkundet, wie sich **Öl, Erdgas und Kohle** an die Marktbedingungen von heute anpassen und beurteilt die vor uns liegenden Risiken, von der Unterinvestition in neue, notwendige, Produktionskapazitäten bis hin zu verlorenen Vermögenswerten, sogenannten „Stranded Assets“.

Der **WEO-2016** nimmt die **Klimazusagen** einzelner Länder unter die Lupe und untersucht, wie nahe sich Nationen am Erreichen ihrer Ziele befinden bzw. weit entfernt sie davon sind. Er skizziert einen Kurs, der den globalen Temperaturanstieg auf weniger als 2°C begrenzen würde und zeigt mögliche Strategien auf, um sogar noch ehrgeizigere Ziele zu erreichen.

In diesem Jahr widmet der **WEO-2016** auch ein eigenes Kapitel dem kritischen Zusammenspiel von **Wasser und Energie**, wobei er darin die Belastungspunkte betont, die sich aus der zunehmend stärkeren Verflechtung dieser beiden Sektoren ergeben.

Für mehr Informationen besuchen
Sie bitte unsere Website:
www.worldenergyoutlook.org