

■ ZUSAMMENFASSUNG UND IMPLIKATIONEN FÜR DIE ENERGIE- & UMWELTPOLITIK

Der Bericht *Energy Technology Perspectives* ist eine Antwort auf die Anfragen der G8-Vertreter anlässlich des Gipfels in Gleneagles im Juli 2005 und der Energieminister der IEA-Mitgliedstaaten, die vier Monate zuvor zusammengetreten waren. Beide Gruppen baten die International Energy Agency, alternative Szenarien und Strategien zu entwickeln, die auf eine saubere, intelligente und wettbewerbsfähige Energiezukunft abzielen.

Wirtschaftliche Stabilität und Entwicklung sind undenkbar ohne eine sichere, verlässliche und erschwingliche Energieversorgung. Der drohende Klimawandel, die zunehmenden Zweifel an der Sicherheit der Energieversorgung und der wachsende Energiebedarf der Schwellenländer stellen eine große Herausforderung für Entscheidungsträger im Energiebereich dar. Die Lösung heißt Innovation, Einsatz neuer kosteneffizienter Technologien und verstärkter Einsatz bestehender energieeffizienter Technologien. *Energy Technology Perspectives* präsentiert den heutigen Stand und die Aussichten der wichtigsten Energietechnologien und analysiert, was sie bis 2050 bewirken können. Die Studie zeigt auch auf, welche Hemmnisse für den Einsatz dieser Technologien bestehen und wie sie überwunden werden können.

Die Aussichten bis 2050 und die Rolle der Energietechnik

.....

Die Welt befindet sich nicht auf dem Pfad in Richtung einer nachhaltigen Energiezukunft. Die hohen Ölpreise werfen Fragen bezüglich des langfristigen Gleichgewichts zwischen Angebot und Nachfrage auf. Die CO₂-Emissionen sind in den letzten zehn Jahren um mehr als 20 % gestiegen. Hält der gegenwärtige Trend an und entwickelt sich die Zukunft gemäss dem Referenzszenario des *World Energy Outlook 2005* steigen die CO₂-Emissionen und der Mineralölbedarf in den nächsten 25 Jahren sehr rasch. Das Szenario berücksichtigt bereits die Optimierung der Energieeffizienz und den Fortschritt der Technik, die auf der Grundlage der gegenwärtigen Energiepolitik zu erwarten sind. Die Aussichten nach 2030 deuten darauf, dass diese Tendenzen wahrscheinlich immer beunruhigender werden. Im sogenannten Baseline Szenario, dem Referenzszenario, das für den vorliegenden Bericht ausgearbeitet wurde, werden die CO₂-Emissionen bis 2050 auf knapp das zweieinhalbfache steigen. Der wachsende Energiebedarf im Verkehr wird die Ölversorgung unter Druck setzen. Die Kohlenstoffintensität der Weltwirtschaft wird durch die höhere

Abhängigkeit von Kohle für die Stromerzeugung – insbesondere in sich schnell entwickelnden Volkswirtschaften mit eigenen Kohlenlagerstätten – und die verstärkte Nutzung von Kohle zur Herstellung von flüssigen Treibstoffen für den Verkehr rasch steigen.

Diese besorgniserregenden Aussichten können geändert werden. Die Beschleunigten-Technologie- oder ACT-Szenarien, auf denen das vorliegende Buch beruht, deuten darauf, dass die Welt durch den Einsatz bereits bestehender oder sich in Entwicklung befindlicher Technologien auf einen nachhaltigeren Energiekurs gebracht werden könnte. Sie zeigen, wie verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen bis 2050 wieder auf den heutigen Stand gesenkt werden können und der schnell wachsende Ölbedarf gebremst werden kann. Ferner demonstrieren sie, dass Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz den Strombedarf um ein Drittel unter den Referenzstand drücken können. Die eingesparten flüssigen Brennstoffe würden mehr als der Hälfte des heutigen Ölverbrauchs entsprechen und das Wachstum des Ölbedarfs, das im Referenzszenario vorgesehen ist, um 56 % senken.

Die wesentlichen Änderungen in den ACT-Szenarien beruhen auf:

- Bedeutender Steigerung der Energieeffizienz im Verkehr, in der Industrie und im Gebäudebereich.
- Verlagerung der Stromerzeugung von Kohle zu Kernenergie, erneuerbaren Energien, Erdgas und Kohle mit CO₂-Abscheidung und Speicherung.
- Erhöhtem Einsatz von Bio-Kraftstoffen im Straßenverkehr.

Trotzdem entfällt sogar in den ACT-Szenarien 2050 der größte Teil des weltweiten Energieverbrauchs auf fossile Brennstoffe. Der Öl-, Kohle- (außer in einem Szenario) und Erdgasbedarf ist 2050 höher als heute. Daher ist es nötig, auch weiterhin in konventionelle Energieträger zu investieren.

In den fünf ACT-Szenarien wird angenommen, dass der Energiebedarf schnell wächst, vor allem in den Schwellenländern. Die Szenarien nehmen nicht an, dass das Wachstum des Energiebedarfs in den Industrie- oder Schwellenländern gebremst wird. Sie zeigen, wie dem Bedarf durch zahlreiche energie- und umweltpolitische Maßnahmen wie größeren Anstrengungen in Forschung, Entwicklung und Demonstration (FE&D) sowie wirtschaftliche Anreize zur Förderung der Nutzung von Technologien mit niedrigem Kohlendioxidausstoß intelligent entsprochen werden kann. Die fünf ACT-Szenarien stützen sich auf dieselben Politiken. Sie unterscheiden sich nur durch die Annahmen, wie rasch der Wirkungsgrad der Energieträger optimiert werden kann, wie schnell die Kosten der wichtigsten Technologien wie CO₂-Abscheidung und Speicherung, erneuerbare Energien und Kernenergie reduziert und wann sie auf breiter Basis eingesetzt werden können. Das sechste Szenario, das so genannte TECH Plus Szenario, basiert auf optimistischeren Annahmen bezüglich des technischen Fortschritts in der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Kernenergie sowie in Bezug auf die Nutzung von Biokraftstoffen und Brennstoffzellen im Straßenverkehr.

In den ACT Szenarien sind die Kosten einer nachhaltigeren Energieversorgung in der Zukunft nicht unverhältnismäßig. Sie erfordern allerdings bedeutende Anstrengungen und Investitionen der öffentlichen Hand und des Privatsektors. Vollständig kommerzialisiert, dürfte keine der Technologien Mehrkosten von mehr als USD 25 pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen verursachen, auch nicht in den Schwellenländern. Dieser Betrag liegt unter dem durchschnittlichen Preis der europäischen Emissionsberechtigungen in den ersten vier Monaten 2006. Ein Preis von USD 25 pro Tonne CO₂ würde den einer kWh Strom aus Kohle um etwa USD 0,02 und den Benzinpreis um ca. USD 0,07 je Liter verteuern. Sobald alle Technologien voll in den Markt eingeführt sind, kostet die Vermeidung einer Tonne CO₂-Emissionen im Schnitt weniger als USD 25. Dies würde allerdings in den nächsten zwei Jahrzehnten deutlich höhere Aufwendungen in den FE&D- und Einführungsprogrammen, die mit der Vermarktung der Technologien verbunden sind, bedeuten. Der Erdölimportpreis wird niedriger sein, da die schwächere Nachfrage das Angebot teurerer Ressourcen weniger stark in Anspruch nimmt. Die Kostensenkung wird allerdings nicht bis zu den Verbrauchern durchdringen, da der Rückgang durch die höheren Kosten zur Förderung kohlestoffarmer Technologien wettgemacht wird.

Prognosen über fünfzig Jahre sind immer mit Ungewissheiten behaftet. Die ACT-Szenarien veranschaulichen eine Reihe von möglichen Ergebnissen, die auf mehr oder minder optimistischen Annahmen bezüglich Kostensenkungen in der Stromerzeugung durch erneuerbare Energien, Kernkraft sowie CO₂-Abscheidung und Speicherung beruhen. Trotz dieser Ungewissheiten scheinen zwei zentrale Schlussfolgerungen ziemlich sicher zu sein: Erstens verfügen wir über Technologien, die in den kommenden zehn bis fünfzig Jahren spürbar etwas bewirken können. Zweitens reicht keine der Technologien alleine aus. Setzen wir auf ein Portfolio an Technologien, können Risiko und Kosten erheblich gesenkt werden, sollten einige Technologien nicht die erwarteten Ergebnisse erzielen.

Im Folgenden werden die Technologien zusammengefasst, die in den ACT-Szenarien identifiziert wurden und zusammen ein viel versprechendes Technologie-Portfolio für eine nachhaltige Energieversorgung in der Zukunft bilden.

Energieeffizienz im Gebäudesektor, in Industrie und Verkehr

Die Effizienz in der Nutzung von Energie muss schneller verbessert werden. Zudem gilt es, die gegenwärtige Tendenz in den OECD-Mitgliedstaaten umzukehren und das Energiesparen wieder zu beschleunigen. Dieses Vorhaben ist umsetzbar, da im Gebäudebereich sowie in Industrie und Transport bedeutende Potenziale für effizientere Technologien bestehen. In den Nicht-Mitgliedstaaten ist das Potenzial sogar noch größer, weil schnell expandierende Volkswirtschaften viele Investitionsmöglichkeiten in energieeffiziente Technologien bieten.

In vielen Ländern könnten neue **Gebäude** 70 % energieeffizienter gestaltet werden als bereits bestehende. Einige der viel versprechenden neuen Technologien, die zu dieser Verwandlung beitragen können, werden noch nicht

vermarktet, die meisten werden allerdings schon angeboten. Es gibt heute Fenster, die dreimal besser isolieren als früher. Moderne gas- und ölgefeuerte Heizkessel erzielen einen Wirkungsgrad von 95 %. Effiziente Klimaanlage verbrauchen 30 bis 40 % weniger Energie als die Modelle vor zehn Jahren. Fernwärme, Wärmepumpen und Solarenergie sparen Energie. Verbesserte Beleuchtungstechnik sollte 30 bis 60 % einsparen. Kühlschränke, Boiler, Waschmaschinen und Geschirrspüler sind ebenfalls viel energieeffizienter geworden. Auf Elektrogeräte im Standby-Betrieb entfallen etwas 10 % des Stromverbrauchs der Haushalte in den IEA-Mitgliedstaaten, obwohl es Technologien gibt, die diese Energieverschwendung maßgeblich mindern könnten. Neue Technologien wie intelligente Strommessung, kleine Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK), Brennstoffzellen und Photovoltaik öffnen neue Wege für Energie-Dienstleistungen.

In der **Industrie** könnten der Energiebedarf und die CO₂-Emissionen durch effizientere Antriebe, Pumpen, Boiler und Heizsysteme, höhere Energierückgewinnung in Fertigungsverfahren, verstärktes Recycling von Altstoffen, die Einführung von neuen und fortschrittlicheren Verfahren und Werkstoffen sowie höhere Effizienz beim Materialeinsatz maßgeblich gesenkt werden. Die Hauptquellen industrieller CO₂-Emissionen sind die Eisen- und Stahlindustrie (26 %), die Produktion von Zement, Glas, Keramik (25 %), Chemikalien und petrochemischen Produkten (18 %). Zu den neuen zukunftsweisenden Industrietechnologien mit hohem Energiesparpotenzial und niedrigen CO₂-Emissionen gehören Membranen, die die Destillation in manchen petrochemischen Verfahren ersetzen können, die direkte Herstellung von Gussformen für Eisen und Stahl und der Einsatz von Bio-Brennstoffen in der petrochemischen Industrie als Ersatz für Erdöl und Erdgas.

Die Verbesserung der Energieeffizienz im **Verkehr** ist besonders wichtig, da dieser Sektor den Großteil der Mineralölprodukte verbraucht und den schnellsten Emissionsanstieg aufweist. Die Effizienz konventioneller Verbrennungsmotoren kann merklich gesteigert werden. Zu den viel versprechenden Technologien gehören Hybridfahrzeuge und fortschrittliche Dieselantriebe. Turbolader, Einspritzmotoren und elektronische Antriebssteuerung können zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs beitragen. Neue Werkstoffe und kompaktere Antriebe führen zu leichteren und kraftstoffsparenden Fahrzeugen. Bei der Innenausrüstung wie z.B. der Klimaanlage sind ebenfalls wesentliche Effizienzsteigerungen möglich. Sogar die regelmäßige Überprüfung des Luftdrucks in den Reifen kann einen signifikanten Unterschied machen.

Die Verbesserung des Wirkungsgrads bei der Nutzung der Energieträger ist wesentlich für eine nachhaltigere Energieversorgung in der Zukunft. In den ACT-Szenarien führt die verbesserte Energieeffizienz in Gebäuden, Industrie und Verkehr 2050 zu Einsparungen von 17 bis 33 % gegenüber dem Referenzszenario. Je nach Szenario entfallen zwischen 45 und 53 % der CO₂-Emissionsminderung gegenüber dem Referenzszenario auf höhere Energieeffizienz. In einem Szenario, in dem die gesamte Effizienzsteigerung bis 2050 gegenüber dem Referenzszenario nur 20 % ausmacht, steigt der Kohlendioxidausstoß weltweit um mehr als 20 % gegenüber den übrigen ACT-Szenarien.

Saubere Kohle und CO₂-Abscheidung und Speicherung

Die CO₂-Abscheidung und Speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS) kann die CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung, der Industrie und der Produktion synthetischer Kraftstoffe maßgeblich reduzieren. CCS könnte die CO₂-Emissionen aus dem Einsatz von Kohle und Erdgas in diesen Bereichen auf beinahe Null mindern. Die Kosten von CCS sind hoch, könnten jedoch schon 2030 unter USD 25 pro Tonne CO₂ liegen. Wenn das abgeschiedene Kohlendioxid für die verbesserte Nutzung von Erdölreserven (Enhanced Oil Recovery oder EOR) eingesetzt wird, sollten die Kosten weiter sinken und in manchen Fällen sogar negativ sein. Allerdings ist das langfristige Gesamtpotenzial für die Verwendung von CO₂ bei EOR relativ niedrig im Vergleich zu den Gesamtemissionen aus der Stromerzeugung.

Die einzelnen Elemente, die für CSS unentbehrlich sind, stehen grundsätzlich zur Verfügung. Jetzt benötigen wir dringend eine integrierte Demonstrationsanlage. Besonders Kohlekraftwerke müssen sehr effizient sein, um die höheren Kosten für den CCS-Einsatz wettzumachen. Effizientere Technologien für die Kohleverbrennung sind bereits verfügbar oder in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium. Dazu gehören überkritische kohlenstaubbefeuerte Dampfkraftwerke und integrierte Kohlevergasungsanlagen (IGCC).

In den ACT-Szenarien trägt CCS bis 2050 zwischen 20 % und 28 % zur Minderung des Kohlendioxidausstoßes gegenüber dem Referenzszenario bei. Saubere Kohletechnologien mit CO₂-Abscheidung und Speicherung sind besonders für wachsende Volkswirtschaften mit bedeutenden Kohlelagerstätten wie China und Indien geeignet. Wenn Kohle zur billigen Stromerzeugung eingesetzt werden soll und gleichzeitig die Entstehung von Treibhausgasen gemindert werden muss, ist CCS unerlässlich. Das zeigt ein Szenario, in dem CCS *nicht* berücksichtigt wird. In diesem Szenario ist der weltweite Kohlebedarf beinahe 30 % niedriger als in den Szenarien mit CCS. Außerdem liegen die CO₂-Emissionen 10 bis 14 % höher.

Stromerzeugung aus Erdgas

Der Anteil des Erdgases an der Stromerzeugung bleibt in allen ACT-Szenarien relativ hoch und beträgt 2050 zwischen 23 und 28 % an der Gesamtproduktion. Dies entspricht einem Anstieg von über 100 % gegenüber 2003. Die Welt verfügt über ausreichenden Gasreserven zur Deckung der Nachfrage, allerdings hängt die Verfügbarkeit und der Preis dieses Energieträgers von zahlreichen Faktoren ab. Bei der Erdgasverbrennung entsteht nur halb so viel CO₂/kWh wie bei Kohle. Der hohe Wirkungsgrad erdgasbefuener Kraftwerke gehört zu den bedeutenden Durchbrüchen der modernen Kraftwerkstechnik. Die neuesten erdgasbefeuerten Gas- und Dampfturbinen erzielen einen Wirkungsgrad von ca. 60 %. Wenn diese Technik weiter verbreitet wäre, würde der CO₂-Ausstoß signifikant sinken. Noch höhere Effizienz dürfte nur durch neue temperaturbeständigere Werkstoffe erzielt werden.

Stromerzeugung aus Kernenergie

Bei der Stromerzeugung aus Kernkraft entstehen keine Treibhausgase. Die Technologie hat sich über mehrere „Generationen“ entwickelt. Die „Generation

III“ wurde in den 1990ern entwickelt und umfasst einige Fortschritte bei Sicherheit und Wirtschaftlichkeit, einschließlich der passiven Sicherheit. Elf Länder, zu denen auch die OECD-Mitgliedstaaten mit den meisten Kernkraftwerken (KKW) gehören, entwerfen zusammen die vierte KKW-Generation. Drei Probleme hindern den Ausbau des Kernkraftanteils an der Stromerzeugung: die hohen Investitionen, die fehlende öffentliche Akzeptanz wegen der angenommenen Bedrohung durch radioaktive Abfälle sowie Unfälle in Atomkraftwerken und die mögliche Verbreitung von Kernwaffen. Die Entwicklung der Reaktoren der vierten Generation sollte diese Probleme lösen.

Wenn diese Probleme gelöst sind, kann der vermehrte Einsatz von KKW die CO₂-Emissionen beträchtlich senken. In den ACT-Szenarien entfallen 2050 weltweit zwischen 16 und 19 % der Stromerzeugung auf Kernkraft. Die verstärkte Kernkraftnutzung trägt 2050 mit 6 bis 10 % zur Minderung des Kohlendioxidausstoßes gegenüber dem Referenzszenario bei. In einem Szenario mit pessimistischeren Aussichten für Kernenergie sinkt ihr Anteil an der Stromerzeugung 2050 auf 6,7 % wie im Referenzszenario. Im optimistischeren TECH Plus Szenario werden 22,2 % des Stroms in KKW erzeugt.

Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie

2050 trägt der Einsatz erneuerbare Energien wie Wasser- und Windkraft, Sonnenenergie und Biomasse bei der Stromerzeugung in den ACT-Szenarien mit 9 bis 16 % zur Minderung des Kohlendioxidausstoßes bei. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Energiemix steigt bis 2050 von 18 auf 34 %. In einem Szenario mit weniger optimistischen Annahmen bezüglich der Kostensenkung der entsprechenden Technologien beläuft sich der Anteil der erneuerbaren Energien im Jahr 2050 auf 23 %. Im TECH Plus Szenario mit optimistischeren Aussichten für erneuerbare Energien und Kernkraft liegt der Anteil der erneuerbaren Energien 2050 bei über 35 %.

Wasserkraft wird bereits seit langer Zeit eingesetzt und ist in vielen Regionen die billigste Energiequelle. Das Ausbaupotenzial ist beträchtlich, insbesondere für kleine Wasserkraftwerke. In allen ACT-Szenarien bleibt Wasserkraft die wichtigste Quelle erneuerbarer Energie.

Die Kosten für **Onshore- und Offshore-Windenergieanlagen** sind in den letzten Jahren durch die massive Nutzung der Technologie, den Einsatz größerer Rotorblätter und leistungsfähigere Steuersystemen drastisch gesunken. Die Kosten hängen auch vom Standort ab. Die besten Onshore-Anlagen, die Strom zu etwa USD 0,04/kWh erzeugen, sind bereits wettbewerbsfähig. Offshore-Anlagen sind teurer, vor allem im tiefen Wasser, sollten allerdings ab 2030 auch ein akzeptables Preisniveau erreichen. In Regionen, in den ein hoher Anteil der Stromerzeugung auf Windkraft entfällt, müssen die Anlagen durch leistungsfähige Netze sowie ergänzende Erzeugungskapazitäten oder Not- und Speichersysteme unterstützt werden als in der Stromerzeugung. In den ACT-Szenarien ist eine rasche Zunahme der Windenergie vorgesehen. In den meisten Szenarien steht Wind gleich hinter Wasserkraft als wichtigster erneuerbarer Energieträger.

Die Verbrennung von **Biomasse** für die Stromproduktion ist bereits eine bewährte Technologie, die auch kommerziell interessant ist, wenn Brennstoff guter Qualität in ausreichenden Mengen vorhanden ist. Die Befeuerung von Kohlenkraftwerken mit einem kleinen Anteil von Biomasse erfordert nur geringe Umstellungen, kann sehr wirtschaftlich sein und zur Minderung des Kohlendioxidausstoßes führen.

Die Kosten für die Nutzung von **geothermischen** Systemen mit hohem Temperaturangebot zur Stromerzeugung sind seit den 1970ern beträchtlich gesunken. Das geothermische Potenzial ist schier unerschöpflich, allerdings kann Erdwärme nur in bestimmten Regionen der Welt für die Stromproduktion genutzt werden. Die Nutzung von Systemen mit niedrigem Temperaturangebot für den direkten Einsatz als Fernwärme und für Wärmepumpen ist gängiger. FE&D kann die Kosten weiter reduzieren und den Einsatzbereich von Erdwärme erweitern.

Die **Photovoltaik (PV)** spielt eine immer bedeutendere Rolle in Nischenanwendungen. Die Kosten sind durch den steigenden Einsatz und ständige Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen gesunken. Auch solarthermische Kraftwerke (die so genannten Concentrating Solar Power Plants bzw. CSP) sind viel versprechend. In allen ACT-Szenarien entfallen 2050 allerdings auf beide Techniken nur knapp 2 % der Stromerzeugung.

Bio-Kraftstoffe und Brennstoffzellen im Verkehr

Die Suche nach kohlendioxidfreien Kraftstoffen für den Verkehr erweist sich viel schwieriger als in der Stromerzeugung. Ethanol aus Pflanzen ist ein Kraftstoff mit guten Verbrennungseigenschaften. Früher wurde Ethanol meistens Benzin (10 % Ethanol und 90 % Benzin) beigemischt, heute werden in Brasilien allerdings erfolgreich viel höhere Ethanolanteile eingesetzt, die nur geringfügige Änderungen am Antrieb erfordern. Ethanol aus Zuckerrohr wird in Brasilien in großen Mengen hergestellt und ist bei den gegenwärtigen Ölpreisen billiger als Benzin. Heute wird Ethanol vorwiegend aus Stärke oder Zucker gewonnen, was die möglichen Grundstoffe einschränkt. Bald sollen jedoch neue Technologien ermöglichen, Ethanol aus anderen Rohstoffen wie Zellulose aus schnell wachsenden Baumarten zu gewinnen. Diese Forschungsarbeiten sind gegenwärtig richtungweisend.

Die Nutzung von Wasserstoff aus Quellen mit wenig oder keinem Kohlendioxid in Brennstoffzellen könnte den Verkehr in der Zukunft von Kohlendioxid befreien. Die Umstellung auf Wasserstoff erfordert allerdings umfangreiche Investitionen in die Infrastrukturen. Die neuesten Fortschritte in der Brennstoffzellen-Technik sind beeindruckend, doch bleiben diese Technologien sehr teuer.

In allen ACT-Szenarien trägt die stärkere Nutzung von Bio-Kraftstoffen mit rund 6 % zur Minderung des Kohlendioxidausstoßes bei. Wasserstoff leistet einen sehr bescheidenen Beitrag. Im TECH Plus Szenario wächst der Wasserstoffverbrauch bis 2050 allerdings auf mehr als 300 Mtoe/Jahr und spart ca. 800 Mt CO₂ ein, während die Effizienz der Brennstoffzellen den Kohlendioxidausstoß um weitere 700 Mt mindern. Im TECH Plus Szenario

decken Wasserstoff und Bio-Kraftstoffe 35 % des Gesamt-Endenergiebedarfs des Verkehrs im Jahr 2050, während in den ACT-Szenarien nur 13 % und im Referenzszenario gar nur 3 % vorgesehen sind. Dadurch sinkt der primäre Ölbedarf 2050 wieder auf den heutigen Stand.

Nach 2050

.....

Die Reduzierung des Kohlendioxidausstoßes im Jahr 2050 auf den heutigen Stand, wie es in den ACT-Szenarien angenommen wird, könnte dazu beitragen, die CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre eines Tages zu stabilisieren. Dazu müsste aber der Kohlendioxidausstoß auch in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts weiter sinken. Die ACT-Szenarien zeigen, wie die CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung bis 2050 stark gesenkt werden können. Die signifikante Minderung des Kohlendioxidausstoßes im Verkehr ist schwieriger und müsste in den folgenden Jahrzehnten erzielt werden.

Die optimistischeren Annahmen des TECH Plus Szenarios führen bis 2050 zu einer 16-prozentigen Reduzierung der CO₂-Emissionen gegenüber dem heutigen Stand. Ein solches Ergebnis könnte umgesetzt werden, doch scheint es riskant, sich auf dieses Szenario zu verlassen, das auf sehr raschem technologischem Fortschritt aufbaut. Das TECH Plus Szenario könnte eher mit größerer Klarheit andeuten, wie sich die Tendenzen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts entwickeln.

Umsetzung der ACT-Szenarien: Implikationen für die Energie- und Umweltpolitik

.....

Die in den ACT-Szenarien dargestellten Ergebnisse können nur auf der Grundlage umfassender, gut koordinierter internationaler Anstrengungen erzielt werden und erfordern sowohl die Unterstützung der öffentlichen Hand als auch des Privatsektors. Dazu kommt noch die enge Zusammenarbeit zwischen den Industrie- und Schwellenländern sowie zwischen den Regierungen und der Industrie. Es handelt sich um eine dringende Aufgabe, die erledigt werden muss, bevor eine neue Generation ineffizienter Energie-Infrastrukturen mit hohem Kohlendioxidausstoß gebaut wird. Diese Aufgabe wird Jahrzehnte dauern und hohe Investitionen erfordern. Der Nutzen ist allerdings signifikant, nicht nur für die Umwelt. Niedrigerer Energieverbrauch, niedrigere Luftverschmutzung und niedrigerer Kohlendioxidausstoß könnten zur Lösung der Probleme bezüglich Energieversorgung und Umweltschutz beitragen, die sonst das Wirtschaftswachstum hemmen würden.

Die Umsetzung der ACT-Szenarien setzt ein Umdenken bei der Stromerzeugung voraus, beim Bau und der Nutzung von Wohn- und Bürobauten sowie von Fabriken und bei den Antriebstechniken im Verkehr. Letztendlich wird der Privatsektor die nötigen Umstellungen ausarbeiten. Doch kann der Markt allein nicht alle gewünschten Ergebnisse erzielen. Dem Gesetzgeber kommt

eine wichtige Rolle zu, indem er innovative F&E-Anstrengungen unterstützt und neue Technologien fördert. Regierungen, Industrie und Verbraucher müssen eng zusammenarbeiten.

Energie-Effizienz als höchste Priorität

Die Verbesserung der Energieeffizienz ist meistens der billigste, schnellste und umweltfreundlichste Weg zur Befriedigung des weltweiten Energiebedarfs. Je höher die Energieeffizienz, desto niedriger die Investitionen in die Energieversorgung. Viele Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz sind bereits wettbewerbsfähig und amortisieren sich durch die niedrigeren Energiekosten. Trotzdem müssen noch bedeutende Hemmnisse aus dem Weg geräumt werden. Die Verbraucher sind oft ungenügend informiert. Die wenigsten interessieren sich für Energieeffizienz, wenn sie einen Wagen, ein Haus oder ein Elektrogerät erwerben. Sogar die Entscheidungsträger in Unternehmen messen der Energieeffizienz kaum Bedeutung bei. Es gibt auch Gelegenheiten für höhere Energieeffizienz, die Verbraucher nie bemerken, weil die Hersteller von Kühlschränken, Fernsehern und Wagen die bestehenden Technologien nicht voll nutzen, um den Wirkungsgrad ihrer Produkte zu erhöhen. Dabei gibt es viele Möglichkeiten wie öffentliche Aufklärungskampagnen, nicht verbindliche Richtlinien, Kennzeichnung von Geräten und Zielsetzungen, beispielhaftes Vorgehen des öffentlichen Sektors beim Einkauf, verbindliche Regelwerke, Normen sowie steuerliche und sonstige finanzielle Anreize.

Der Gesetzgeber sollte der Industrie und den Verbrauchern helfen, fortschrittliche energiesparende Technologien zu fordern, die dieselbe oder eine bessere Leistung zu niedrigeren Kosten liefern.

Gezielte F&E-Programme sind wesentlich

Die rückläufigen Budgets für energiebezogene F&E-Maßnahmen müssen dringend wieder aufgestockt werden. Der Privatsektor braucht mehr F&E. Einige zukunftsgerichtete Unternehmen setzen sich verstärkt für Energieeffizienz ein, doch muss diese Einstellung auch von den übrigen Firmen übernommen werden. Bei Technologien, die bereits ausgereift sind, ist der Privatsektor am besten dazu in der Lage, die laufenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten den Erwartungen des Marktes anzupassen.

Von der öffentlichen Hand subventionierte F&E bleibt allerdings wesentlich, insbesondere für viel versprechende Technologien, die noch nicht ausgereift sind. Nichtsdestotrotz liegen die öffentlichen F&E-Haushalte heute in den IEA-Mitgliedstaaten unter dem Niveau, das sie in Reaktion auf die Ölkrisen in den 1970ern erreichten, und bleiben seit einem Jahrzehnt konstant oder werden gekürzt. Die Etats für F&E sowie Markteinführung müssen überarbeitet werden, wenn die Ergebnisse der ACT-Szenarien umgesetzt werden sollen. Zu den Bereichen mit dem höchsten Potenzial gehören Bio-Kraftstoffe, Wasserstoff und Brennstoffzellen, Energiespeicherung und erneuerbare Energien. Einige Bereiche der Grundlagenforschung wie Biotechnologie, Nanotechnologie und Werkstofftechnik könnten in der Zukunft einen bedeutenden Einfluss auf die Energiepolitik ausüben.

Der Übergang zwischen F&E und Einführung der Technologie ist wesentlich

Die Einführungsstufe kann mehr Ressourcen erfordern als die F&E-Stufe. Mehrere neue Technologien, die bereits vertrieben werden, müssen von der öffentlichen Hand unterstützt werden, wenn sie allgemein eingeführt werden sollen. Viele erneuerbare Energien befinden sich in dieser Lage. Das „Tal des Todes“, mit dem neue Technologien auf dem Weg zum Markt konfrontiert werden, muss überbrückt werden. Die Erfahrung zeigt, dass neue Technologien durch die breite Einführung billiger werden. Öffentliche Technologie-Einführungsprogramme können auch die F&E-Anstrengungen im Privatsektor unterstützen, indem sie die Entstehung von Märkten für die neuen Technologien fördern.

Besonders dringend ist die Vermarktung von kohlebefeuten Kraftwerken mit CO₂-Abscheidung und Speicherung. Dann kann Kohle bis 2050 eine wichtige Rolle im Energiemix spielen und so die Kosten der Umstellung auf eine nachhaltige Energieversorgung in der Zukunft senken. Zur Beschleunigung der CCS-Einführung werden bis 2015 mindestens zehn normal große kohlebefeute Kraftwerke mit CO₂-Abscheidung und Speicherung zu Demonstrationszwecken benötigt. Eine derartige Anlage kostet USD 500 Millionen bis USD 1 Milliarde. Solche Projekte können nur umgesetzt werden, wenn die öffentliche Hand die Entwicklung und Einführung von CCS unterstützt und eng mit dem Privatsektor zusammenarbeitet. Die Teilnahme von Schwellenländern wie China mit großen Kohlelagerstätten ist wesentlich. Ähnliche Initiativen sind nötig, um Kernkraftwerke der vierten Generation erfolgreich auf den Markt zu bringen.

Der Gesetzgeber muss ein stabiles Umfeld schaffen, das Energien mit niedrigem Kohlendioxidausstoß fördert

Sogar voll ausgereifte neue Technologien können teurer sein als die, die sie ersetzen sollen. So werden CCS-Technologien ohne langfristige Anreize zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes keinen signifikanten Einfluss haben. Die ACT-Szenarien umfassen die breite Einführung von Technologien mit Zusatzkosten von bis zu USD 25/t CO₂ im Jahr 2050. Das kann auf verschiedene Art erreicht werden wie zum Beispiel durch nationale und internationale Emissionshandels- und Begrenzungs-systeme oder nationale Gesetze oder Steueranreize. Anreize werden sowohl in Industrie- als auch in Schwellenländern benötigt. Die Anreize für energieintensive Wirtschaftszweige sollten international koordiniert werden um zu vermeiden, dass Fabriken nicht einfach in Länder mit mildereren Bestimmungen ausgelagert werden, da so der Kohlendioxidausstoß weltweit weiter steigen würde.

Nicht-wirtschaftliche Hemmnisse erfordern ebenfalls Beachtung

Zahlreiche andere Hemmnisse, die weder wirtschaftlich noch technisch sind, können ebenfalls die Einführung innovativer Technologien verzögern oder verhindern. Diese Hemmnisse umfassen Planungs- und Genehmigungs-

vorschriften, fehlende Information und Aufklärung, Gesundheits- und Sicherheitsbestimmungen sowie mangelnde bereichsübergreifende Koordination. Diese Hemmnisse müssen alle beseitigt werden, damit das Potenzial der viel versprechenden Technologien voll ausgeschöpft werden kann.

Industrie- und Schwellenländer müssen zusammenarbeiten

2050 wird der Großteil der Energie in den Schwellenländern verbraucht werden, die bereits jetzt einen raschen Anstieg des Energiebedarfs verzeichnen. Aus diesem Grund müssen die Schwellenländer in ihrer Politik die sichere Energieversorgung und die Reduzierung des Kohlendioxidausstoßes berücksichtigen. Die Weltenergiewirtschaft muss einem tief greifenden Wandel unterzogen werden, wenn den gerechtfertigten Erwartungen der Schwellenländer in Bezug auf Energiedienstleistungen, Energieversorgung und nachhaltiger Entwicklung entsprochen werden soll. Die Industriestaaten müssen den Schwellenländern helfen, den Technologie-Entwicklungsprozess zu überspringen und effiziente Anlagen und Verfahren im Rahmen von Technologie-Transfer, Weiterbildung und kollaborative FE&D-Anstrengungen einzuführen. Schnell expandierende Schwellenländer bieten die Gelegenheit, den Lernprozess zu beschleunigen und so letztendlich die Kosten neuer Anlagen mit hohem Wirkungsgrad zu senken.

