

Ein hoher Strombedarf ist ein wesentliches Merkmal entwickelter Volkswirtschaften. Nicht nur in der industriellen Produktion, bei der die zunehmende Verwendung von elektrischer Energie in erheblichem Umfang zur Erhöhung der Produktivität beiträgt und bestimmte Produktionen erst ermöglicht, sondern auch in der Erstellung von Dienstleistungen und im Konsumbereich ist der Einsatz von Strom unverzichtbar und erobert sich immer mehr Anwendungsgebiete. Aus diesem Grund stieg weltweit der Anteil der elektrischen Energie am gesamten Endenergieverbrauch zwischen 2000 und 2009 von 15,5 auf 17,3%; dabei ist zu berücksichtigen, dass etwa 83% der gesamten Bruttostromerzeugung in den Endenergieverbrauch eingeht. In den entwickelten OECD-Ländern nahm der Anteil des Stroms am Endverbrauch in diesen Jahren um knapp 2 Prozentpunkte auf 21,6% zu. In den weniger entwickelten Ländern liegt der Stromanteil deutlich darunter, wobei allerdings in einigen Schwellenländern ein beachtlicher Aufholprozess im Gang ist. So wurde in China der Anteil der elektrischen Energie am Endenergieverbrauch zwischen 2000 und 2009 von 11,7 auf 18,4% erhöht, und in Indien war eine Steigerung von 9,9 auf 13,4% zu beobachten. Nur geringe Änderungen beim Stromanteil ergaben sich in Lateinamerika – von 15,5 auf 16,9% –, in Afrika, wo der Anteil des Stroms am Endenergieverbrauch nur von 8 auf 8,9% gesteigert wurde, und in Asien (ohne China) mit einer Erhöhung von 10,8 auf 13,4%.

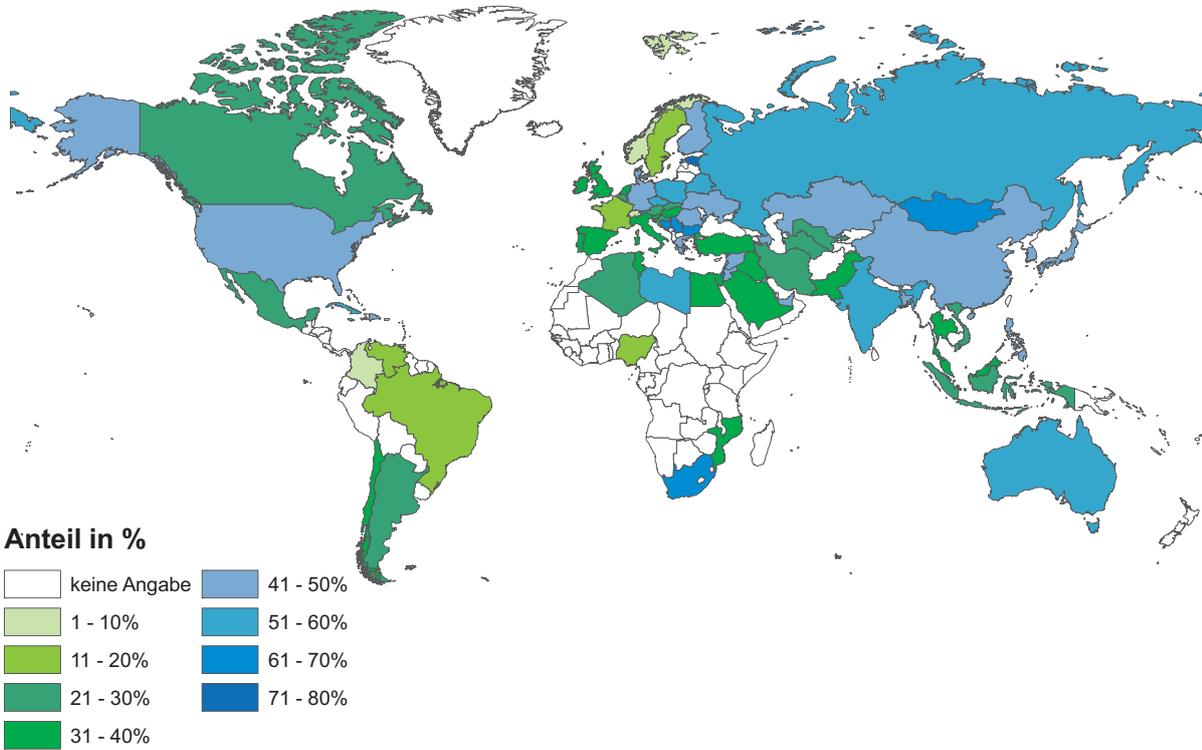
Da die Verfügbarkeit von elektrischer Energie eine wesentliche Bedingung ist, die wirtschaftliche Entwicklung voranzutreiben und den Anschluss an die entwickelten Länder zu gewinnen, gibt es weltweit umfangreiche Planungen zum Ausbau der Stromversorgung. Gegenwärtig haben mehr als 1,3 Mrd. Menschen, vor allem in Afrika südlich der Sahara und in großen Teilen Asiens, keinen Zugang zu elektrischem Strom (vgl. International Energy Agency 2011, 469 ff.). Die überragende Bedeutung der elektrischen Energie zeigt sich auch an dem Stellenwert, den die Investitionen zum Ausbau der Stromversorgung innerhalb der gesamten Investitionen für die Energieversorgung einnehmen. Einer aktuellen Schätzung zufolge werden weltweit nahezu 45% der gesamten Investitionen in die Energieversorgung zwischen 2011 und 2035 auf den Elektrizitätssektor entfallen (vgl. International Energy Agency 2011, 98). Die großen Vorteile der elektrischen Energie müssen aber auch teuer erkauft werden. Neben dem hohen Kapitalaufwand zur Erstellung der Infrastruktur geraten die mit der Stromerzeugung verbundenen Kohlendioxidemissionen zunehmend in den Fokus. Denn derzeit werden weltweit noch etwa zwei Drittel der elektrischen Energie aus fossilen Energieträgern erzeugt, wobei die Kohle den mit Abstand größten Anteil hat. Da der Strom dabei in Wärmekraftwerken, physikalisch bedingt, unter vergleichsweise hohen Verlusten produziert wird, beträgt der Brennstoffeinsatz zumeist ein Mehrfaches der erzeugten elektrischen Energie. Daher summieren sich die dabei eingesetzten Brennstoffe auf rund ein Viertel des globalen Primärener-

gieverbrauchs. Im weltweiten Durchschnitt belief sich der Wirkungsgrad der fossilen Stromerzeugung 2009 auf etwa 37,7% (vgl. International Energy Agency 2011, 544 ff.); somit gehen gut 62% der eingesetzten Brennstoffenergie bei der Umwandlung verloren. Mit der Stromerzeugung ist deshalb ein vergleichsweise hoher Austrag von Treibhausgasen verbunden. Das gilt tendenziell für den Betrieb aller Wärmekraftmaschinen, also auch für Verbrennungsmotoren, während bei der Umwandlung von Brennstoffen in Wärme relativ geringe Verluste auftreten.

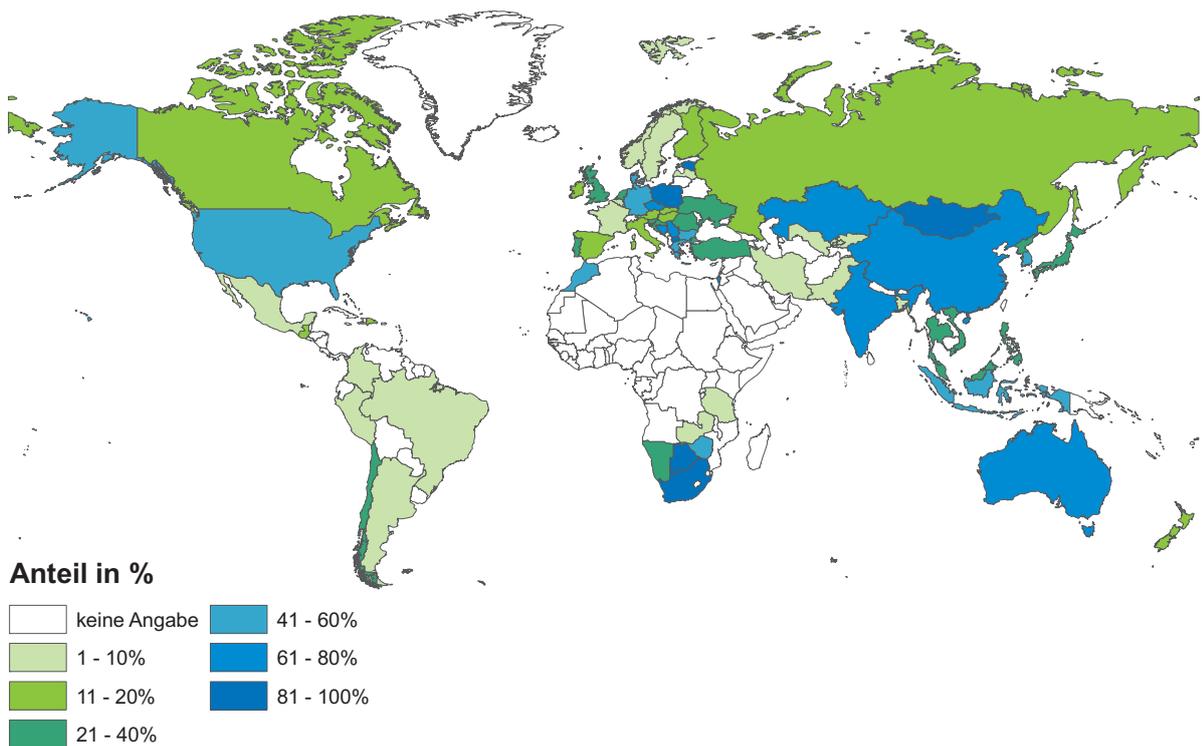
Welche Bedeutung die Erzeugung von elektrischer Energie für die weltweiten Kohlendioxidemissionen aus der Verfeuerung von Brennstoffen hat, ist aus der Abbildung 1 ersichtlich. In den hierfür herangezogenen Daten aus dem Jahr 2008 gibt es jedoch nur eine Zahl für die Emissionen aus der Strom- und der Wärmeerzeugung, also vor allem die Wärmebereitstellung für Dritte über Fernwärmenetze, zusammen (vgl. International Energy Agency 2010, 65 ff.). Da die Stromerzeugung daran aber einen Anteil von rund 87% haben dürfte, bestimmt sie weitgehend die Emissionen dieses Bereichs. Insgesamt hatte dieser Sektor 2008 einen Anteil von 40,8% an den weltweiten CO₂-Emissionen durch Brennstoffe; während dieser Anteilswert in den OECD-Ländern bei 39,5% lag, erreichte er in den Nicht-OECD-Ländern 44,5%. Dass dieser Wert nicht noch höher ausfällt, liegt an der CO₂-freien Erzeugung von Strom aus Kernenergie, Wasserkraft und sonstigen erneuerbaren Energien, die rund 30% zum weltweiten Aufkommen von elektrischer Energie beiträgt. Dabei bestehen zwischen verschiedenen Regionen und noch mehr zwischen einzelnen Ländern beträchtliche Unterschiede. Während in Asien (ohne China) knapp 46% der Kohlendioxidemissionen aus dem Kraftwerkssektor kommen, sind es in Lateinamerika wegen der hohen Stromerzeugung aus Wasserkraft lediglich rund 20%. Besonders hoch ist der Anteilswert in Ländern, deren Stromerzeugung zu einem wesentlichen Umfang auf Kohle beruht; in Australien, Tschechien und Polen kommen zwischen 50% und 60% der CO₂-Emissionen aus dem Kraftwerkssektor, in Südafrika liegt der Anteilswert sogar bei rund 63%.

Die weltweite Stromerzeugung wird gegenwärtig und wohl auch noch in naher Zukunft von der Kohle dominiert. Im Jahr 2009 wurden 40,5% der elektrischen Energie aus Kohle bereitgestellt, gefolgt von Gas mit 21,4%, Wasserkraft mit 16,2%, Kernenergie mit 13,5% und Öl mit 5,1%; die restliche Erzeugung in Höhe 3,3% entfiel auf die übrigen erneuerbaren Energieträger (vgl. International Energy Agency 2011, 546). Dabei gibt es, wie aus Abbildung 1 zu ersehen ist, nach Ländern eine beträchtliche Streuung des Kohleanteils an der Stromerzeugung. An der Spitze stehen Kohleländer wie Südafrika (94%), Polen (91%), China (79%), Australien (78%), Indien (69%) und Tschechien (62%). Aber auch Staaten wie die USA mit 49% und Deutschland mit 46% erzeugen einen großen Teil ihres Stroms aus Kohle. Damit und auch we-

Abb. 1
Anteil der Strom- und Wärmeerzeugung an den gesamten CO₂-Emissionen



Anteil des aus Kohle erzeugten Stroms an der gesamten Stromerzeugung



Quelle: IEA (2011); OECD (2011).

gen ihrer im Vergleich zu anderen Energieträgern höheren spezifischen CO₂-Emissionen trägt die Kohleverstromung maßgeblich zum Ausstoß der weltweiten Treibhausgasemissionen bei. Die Kohlekraftwerke hatten 2009 einen Anteil an den CO₂-Emissionen der gesamten Stromerzeugung von 72,8% und an den gesamten weltweiten Kohlendioxidemissionen aus Brennstoffen von 29,7%. Für die starke Stellung der Kohle in der Stromerzeugung gibt es aber triftige Gründe, insbesondere sind dafür die folgenden Gesichtspunkte entscheidend: Kohle ist in vielen Ländern kostengünstig zu fördern, es existiert ein weltweiter, leistungsfähiger Kohlenhandel, und es gibt im Vergleich zu Öl und Gas wesentlich größere Reserven. Dazu kommt, dass ihre Verbrennung in großen Feuerungsanlagen besonders effizient möglich ist.

Angesichts des in den kommenden Jahrzehnten zu erwartenden wachsenden Strombedarfs und des Ziels, die Kohlendioxidemissionen nicht weiter steigen zu lassen oder sie sogar zu reduzieren, bieten sich neben der Option, die Produktivität des Stromeinsatzes zu steigern und dadurch elektrische Energie einzusparen, grundsätzlich folgende Maßnahmen an:

- Erhöhung des Umwandlungswirkungsgrads fossil befeuerter Kraftwerke,
- Zubau von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien,
- Ausbau der Kernenergie.

Eine signifikante Steigerung der Effizienz fossil befeuerter Kraftwerke ist nur durch den Ersatz alter Anlagen zu erreichen. Der durchschnittliche Wirkungsgrad der weltweit bestehenden Kohlekraftwerke liegt derzeit – nach Schätzungen auf der Grundlage von Zahlen der Internationalen Energieagentur (vgl. International Energy Agency (2010a), Part III; International Energy Agency (2010b), International Energy Agency (2010c) – bei etwa 35,5%. Dabei gibt es eine Bandbreite, die von rund 25% bei den älteren Kraftwerken bis zu 46% bei modernen Anlagen reicht. Wenn nun alle Kraftwerke den höchsten Wirkungsgrad aufweisen würden, könnten der Kohleeinsatz und ebenso die CO₂-Emissionen um rund 23% gesenkt werden; mit einer weiteren Erhöhung der Effizienz, wie sie in den kommenden Jahren zu erwarten ist, wäre eine Verringerung um etwa 25% möglich. Da die Kohlekraftwerke allerdings im Allgemeinen rund 40 Jahre betrieben werden, wird sich eine Modernisierung des Anlagenparks über einen ziemlich langen Zeitraum erstrecken, die Wirkungen der Modernisierung stellen sich somit erst auf lange Sicht ein. Eine andere Möglichkeit besteht in dem Ersatz der Kohle- durch Gaskraftwerke. Allerdings erscheint diese Variante im Weltmaßstab angesichts der beschränkten Verfügbarkeit und der Preise für Gas von eher theoretischem Interesse, ein Austausch auf breiter Front dürfte kaum in Frage kommen. Da moderne Gas-Kombikraftwerke aber Wirkungsgrade von rund 60% erreichen, wür-

de sich gegenüber dem Durchschnitt der Kohlekraftwerke eine Brennstoffersparnis von gut 40% ergeben und wegen der geringeren spezifischen CO₂-Emissionen von Gas würde der Ausstoß des Treibhausgases um rund zwei Drittel zurückgehen. Insgesamt ist festzuhalten, dass die Erhöhung der Kraftwerkseffizienz zwar eine wichtige Maßnahme zur Verringerung der CO₂-Emissionen sein kann, das Potenzial dieses Instruments aber begrenzt und nur langfristig zu mobilisieren ist.

Eine andere Dimension eröffnen die Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und der Ausbau der Kernenergie, da sie einen Betrieb ohne CO₂-Emissionen ermöglichen. Ein Merkmal dieser Anlagen ist der zu ihrer Errichtung erforderliche hohe Kapitalaufwand. Während aber Kernkraftwerke in der Regel in großen Einheiten gebaut werden und somit vorwiegend für Industrie- und Schwellenländer mit einem hohen Strombedarf in Frage kommen, können vor allem Wind- und Solaranlagen auch in kleinen Einheiten zur Stromgewinnung herangezogen werden, um das bestehende Versorgungssystem zu ergänzen und teilweise zu ersetzen. Allerdings ist die Stromerzeugung mit Wind und Sonne starken Fluktuationen unterworfen, wodurch die Bereithaltung ausreichender Regel- und Reservekraftwerke notwendig wird. In vielen Regionen der Erde bestehen jedoch vergleichsweise gute Bedingungen für die Gewinnung von Wind- und Sonnenstrom; auch für die Nutzung der Wasserkraft gibt es weltweit noch beträchtliche Potenziale. Doch auch die umfangreiche Errichtung dieser Anlagen mit entsprechend hohen Leistungen erfordert Investitionen, die nur auf lange Sicht realisiert werden können. Durch Nutzung dieser Optionen erscheint es auf lange Sicht möglich, den mit hohen Kohlendioxidemissionen verbundenen Einsatz von Brennstoffen zur Stromerzeugung deutlich zu verringern und das Gewicht des Umwandlungssektors als CO₂-Emittent spürbar zu reduzieren.

Literatur

- International Energy Agency (2010), *CO₂ Emissions from Fuel Combustion, Highlights*, Paris.
 International Energy Agency (2010a), *Electricity Information*, Paris.
 International Energy Agency (2010b), *Energy Balances of OECD Countries*, Paris.
 International Energy Agency (2010c), *Energy Balances of Non-OECD Countries*, Paris.
 International Energy Agency (2011), *World Energy Outlook 2011*, Paris.