

ÖKOBILANZ UND EXTERNE KOSTEN ZUKÜNFTIGER FOSSILER STROMERZEUGUNGSTECHNOLOGIEN MIT CO₂-ABSCHIEDUNG UND SPEICHERUNG

Christian BAUER¹, Roberto DONES¹, Thomas HECK¹, Oliver MAYER-SPOHN²

Einleitung

Das Projekt NEEDS (New Energy Externalities Development for Sustainability) der Europäischen Kommission (2004 - 2008) hat das Ziel, Ökobilanzierung und Berechnung externer Kosten der Stromerzeugung sowie energieökonomische Modellierung zu verbessern und zu integrieren. Eine Multi-Kriterien-Analyse wird die Festlegung einer „Technology Roadmap“ der EU bis zum Jahr 2050 unterstützen [1]. Im Gesamtprojekt wird eine Vielzahl von Optionen zur Stromproduktion in Europa mit Hilfe von Ökobilanzen auf ihre Umweltauswirkungen hin analysiert. Der vorliegende Beitrag präsentiert Umweltinventare und kumulierte Gesamtergebnisse der Ökobilanzen bzw. externe Kosten ausgewählter, repräsentativer fossiler Kraftwerkstechnologien mit und ohne CO₂-Abscheidung und der zugehörigen Brennstoffketten, analysiert für verschiedene Szenarien bis zum Jahr 2050.

Methodologie

Die Technologieauswahl beinhaltet konventionelle superkritische Kohlekraftwerke und Kombikraftwerke mit integrierter Kohlevergasung (IGCC), jeweils mit Braun- und Steinkohle befeuert. Sämtliche Kraftwerke werden mit und ohne CO₂-Abscheidung, -Transport und -Speicherung modelliert (Carbon Capture and Storage – CCS) [2]. Die Analyse umfasst alle drei aus heutiger Sicht aussichtsreichen Verfahren zur CO₂-Abscheidung, nämlich nach der Verbrennung (post combustion), vor der Verbrennung (pre combustion) und die Verbrennung in Sauerstoffumgebung (oxyfuel combustion). Die Modellierung beinhaltet den CO₂-Transport per Pipeline über verschiedene Distanzen sowie dessen Injektion und Speicherung in salinen Aquiferen und erschöpften Gaslagerstätten unterschiedlicher Tiefe [3 - 8]. Diese Varianten sollten die Optionen zur fossilen Stromerzeugung mit CCS-Technologien abdecken, deren Realisierung in Europa in den kommenden Jahrzehnten mit hoher Wahrscheinlichkeit erwartet werden kann. Für die Bilanzierung werden jeweils die vollständigen Energieketten, d.h. die Förderung der Ressourcen, Transport von Brennstoffen und Materialien, Betrieb der Kraftwerke bis hin zur Entsorgung der Abfälle, analysiert. Die Bilanzierung der LCA-Hintergrunddaten erfolgt mit Hilfe der LCA-Datenbank ecoinvent [9].

Die Analyse deckt den Zeitraum zwischen heute und dem Jahr 2050 ab. Die Bilanzierung der zukünftigen Kraftwerke basiert auf einer als evolutionär angenommenen Weiterentwicklung der besten heute verfügbaren Technologien. Dazu werden jeweils für die Referenzjahre 2025 und 2050 drei verschiedene Szenarien definiert, die sich im Grad des angenommenen Optimismus im Hinblick auf die spezifischen technologischen Fortschritte unterscheiden (pessimistisch, realistisch-optimistisch und sehr optimistisch).

Resultate

Die Ergebnisse der Ökobilanzen der untersuchten Stromerzeugungsketten bilden die Bandbreite der zukünftigen Umweltauswirkungen fossiler Stromerzeugung ab und ermöglichen eine Beurteilung der Potenziale zur Reduktion der CO₂-Emissionen pro kWh ab Klemme der Kraftwerke (Abbildung 1, Steinkohle-Kette). Im Vergleich zu Steinkohlekraftwerken ohne CCS können die gesamten Treibhausgasemissionen pro kWh Strom mit CCS um 63-84% reduziert werden, abhängig von Technologie und

¹ Labor für Energiesystemanalysen, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI, Schweiz, Tel.: +41 (0)56 310 2391, Fax: +41 (0)56 310 4411, christian.bauer@psi.ch, <http://gabe.web.psi.ch/>

² Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, Hessbrühlstrasse 49a, 70565 Stuttgart, Deutschland, Tel.: +49 (0)711 685 87848, Fax: +49 (0)711 685 87873, Oliver.Mayer-Spohn@ier.uni-stuttgart.de

Szenario. Auch bei einer angenommenen CO₂-Abscheideeffizienz von 99.5% (oxyfuel combustion) im sehr optimistischen Szenario 2050 liegen die CO₂-Emissionen bei gut 100 g (CO₂-Äq.) pro kWh als Minimum der analysierten Stromerzeugungsketten.

Die umfassende Bewertung der Ergebnisse mit ausgewählten Life Cycle Impact Assessment (LCIA)-Methoden und externe Kosten zeigt unter anderem, dass die Reduktion der CO₂-Emissionen wegen des damit verbundenen hohen Energieaufwands und der damit einhergehenden Reduktion der Kraftwerksnettowirkungsgrade mit einem deutlich erhöhten Brennstoffbedarf und steigenden Emissionen der meisten Schadstoffe pro kWh verbunden ist. Je nach angewandter Bewertungsmethode, betrachteter Technologie und Szenario kann die fossile Stromerzeugung mit CCS bezüglich Umweltauswirkungen schlechter abschneiden als jene ohne CCS. Dies gilt auch für die Bewertung anhand der externen Kosten der Stromproduktion, die stark davon abhängt, welcher Schadensfaktor dem emittierten CO₂ zugerechnet wird.

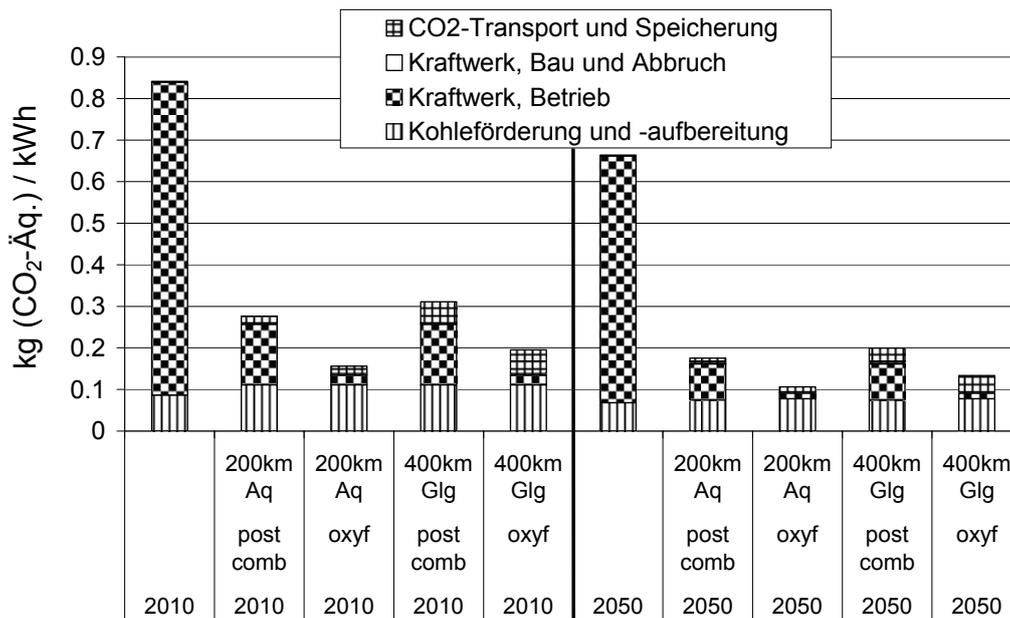


Abb. 1 Treibhausgasemissionen aus der Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken ohne und mit CCS, unterteilt in vier Abschnitte der gesamten Energiekette. Zur Illustration werden nur ausgewählte Fälle gezeigt: CO₂-Abscheidung nach der Verbrennung (post comb) und Verbrennung in Sauerstoffumgebung (oxyf) mit 200/400km CO₂-Transport und CO₂-Speicherung in einem Aquifer (Aq) und einer Gaslagerstätte (Glg). Abgebildet sind die Ergebnisse für 2010 und das sehr optimistische Szenario 2050.

Referenzen

- [1] NEEDS Project, European Commission, <http://www.needs-project.org>.
- [2] R. Dones, C. Bauer, T. Heck, O. Mayer-Spohn, M. Blesl, "Final technical paper on technical data, costs and life cycle inventories of advanced fossil fuels." European Commission, Veröffentlichung 2008.
- [3] C. Hendriks, "Carbon Capture and Storage." UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Programme, Draft August 23, 2007, http://unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanism/application/pdf/hendriks.pdf.
- [4] IPCC, "Carbon Dioxide Capture and Storage." Cambridge University Press, New York (2005).
- [5] E.S. Rubin, C. Chen, A.B. Rao, "Cost and performance of fossil fuel power plants with CO₂ capture and storage." In: Energy Policy 35 (2007) p. 4444-4454.
- [6] C. Wildbolz, "Life Cycle Assessment of Selected Technologies for CO₂ Transport and Sequestration." Diploma Thesis No. 2007MS05, Department Bau, Umwelt und Geomatik, Institute of Environmental Engineering (IfU), ETHZ, Zurich (2007).
- [7] G. Doka, "Critical Review of Life Cycle Assessment of Selected Technologies for CO₂ Transport and Sequestration." Diploma Thesis No. 2007MS05 by C. Wildbolz, Zurich (2007).
- [8] C. Hendriks, W. Graus, F. van Bergen, "Global Carbon Dioxide Storage Potential and Costs." ECOFYS and TNO, Netherlands (2004).
- [9] www.ecoinvent.org