



3.9 Fossil-thermische Stromproduktion

Autoren

Peter Jansohn (Chair), PSI, Villigen; Stefan Hirschberg, PSI, Villigen; Marco Mazzotti, ETH Zürich; Andrew Neville, EOS, Lausanne; Christian Plüss, Erdgas Ostschweiz AG, Zürich

Fossile Energien sind global gesehen die weitaus wichtigsten Energiequellen zur Stromproduktion. In der Schweiz gibt es seit der Stilllegung des Kraftwerks Vouvry kein solches Grosskraftwerk mehr. Es existieren lediglich wenige Industrie-Kraftwerke für den Eigenbedarf. Ihr Beitrag zur Landeserzeugung liegt bei 3%. Welche Bedeutung die fossile Stromerzeugung in unserem Land künftig haben wird, entscheidet sich auf der politischen Ebene. Dabei müssen nicht nur Aspekte der Stromversorgung berücksichtigt werden, sondern auch die Treibhausgasemissionen.

3.9.1 Stand der Technologie heute

Die unter dem Kürzel GuD bekannten Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (Gaskombikraftwerke) verwenden als Brennstoff fossile Energieträger oder Biogas. Die Kombination einer Gas- und einer Dampfturbine ermöglicht einen relativ hohen elektrischen Wirkungsgrad von bis zu 60%. GuD-Kraftwerke können zur Deckung der Grundlast eingesetzt werden oder als zuschaltbare Stromquelle, um die fluktuierende Einspeisung erneuerbarer Energien zu kompensieren. Die grosse Menge an Abwärme von geringer Temperatur (rund 30°C) lässt sich kaum mehr nutzen. Reine Gasturbinenkraftwerke weisen einen deutlich geringeren elektrischen Wirkungsgrad auf (max. 40%) und werden deswegen nur zur Erzeugung von Spitzenstrom und Regelernergie verwendet. Wegen des unplanbaren Einsatzes scheiden sie für eine gleichzeitige Abwärmenutzung aus. Grosse Dampfkraftwerke erreichen elektrische Wirkungsgra-

de bis rund 45%. Als Brennstoff dient vornehmlich Braun- oder Steinkohle, erzeugt wird Bandenergie. Der gesamte Nutzungsgrad der eingesetzten Primärbrennstoffenergie lässt sich verbessern, wenn ein Teil der Wärme genutzt wird (Wärme-Kraft-Kopplung; vgl. Unterkapitel 3.10). Dabei sinkt allerdings der elektrische Wirkungsgrad.¹²

3.9.2 Ökologische und wirtschaftliche Aspekte

Bei den Gaskombikraftwerken konnten die Schadstoffemissionen parallel zur Steigerung des Wirkungsgrades über die letzten 30 Jahre um mindestens eine Grössenordnung reduziert werden. Wie gross die ausgestossenen Mengen an Stickstoffoxiden (NO_x) und Kohlenmonoxid (CO) sind, hängt stark vom Verbrennungsprozess ab. Wird der Brennstoff mit gestufter Luftzufuhr verbrannt, können die Emissionen stark reduziert werden. Auch in modernen

¹² 3 kWh Frischdampfkopplung zur Wärme-Nutzung reduziert die Stromerzeugung um etwa 1 kWh_{el}.

Kohlekraftwerken werden heute die Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden und Staub durch nachgeschaltete Prozessschritte stark reduziert.

Generell sind bei fossilen Brennstoffen (im Besonderen z.B. bei Ölschiefer und Ölsanden) die Umweltbelastungen der Brennstoffgewinnung/-versorgung von der Quelle/Mine bis zum Verbraucher einzurechnen. Wird so genanntes unkonventionelles Erdgas (z.B. Schiefergas) verwendet, dann muss die relativ hohe Freisetzung von Methan (3–8%) bei der Förderung miteinbezogen werden (UBA 2011). Eine grosse Belastung für die Umwelt bedeutet der Transport von grossen Kohlemengen. Kohlekraftwerke werden daher bevorzugt in der Nähe der Kohlevorkommen, an Küsten oder transportgünstigen Standorten gebaut. Der Hauptnachteil der fossilen Stromerzeugung sind die relativ hohen spezifischen CO₂-Emissionen, die heute aufgrund der Klimaänderung auch politisch von grosser Relevanz sind. Sie hängen vom Brennstoff, von der Prozessgestaltung sowie dem technologischen Reifegrad der Anlage ab. CO₂-Reduktionen können durch Effizienzsteigerungen und, wenn Kohle oder Erdöl verwendet wird, durch Ausweichen auf Brennstoffe mit niedrigeren Emissionen erreicht werden. Die bedeutendste Verbesserung in Bezug auf die CO₂-Emissionen könnte erreicht werden, wenn das CO₂ abgetrennt und gespeichert würde (vgl. Abschnitt 3.9.3).

Eine moderne mit Erdgas betriebene GuD-Anlage verursacht heute inklusive Bau und Abbau Emissionen von ca. 420 g CO₂eq/kWh erzeugtem Strom; für 2030 wird eine Senkung auf 390 g CO₂eq/kWh erwartet. Die Emissionen während des Betriebs belaufen sich für effizienteste Gaskraftwerke auf 320 g CO₂eq/kWh.

In Kohlekraftwerken produzierter Strom verursacht CO₂-Emissionen in der Höhe von 800 bis 1200 g CO₂eq/kWh erzeugtem Strom und damit das zwei- bis dreifache moderner GuD-Anlagen. Die Nutzung der Kohle zur Stromproduktion führt damit mit Abstand zu den höchsten CO₂-Emissionen pro erzeugte kWh, sofern das CO₂ nicht abgeschieden und langfristig sicher gelagert wird.

Die Erstellungskosten für neue GuD-Anlagen ohne Abwärmenutzung liegen heute zwischen 900 und

1400 Fr./kWh_{el}. Die Stromkosten hängen zum einen stark von den Brennstoffpreisen ab, zum anderen aber auch von den CO₂-Kosten, je nachdem, wie die Kompensation der CO₂-Emissionen gesetzlich geregelt ist. Ohne Berücksichtigung der CO₂-Kompensation liegen die Stromkosten heute bei etwa 11 bis 12 Rp./kWh. Im Ausland produzieren Kohlekraftwerke Strom zu etwa 6 bis 7 Rp./kWh.

Werden Gaskraftwerke zur Regelung stark fluktuierender anderer Stromproduktionsanlagen (z.B. Windenergie) eingesetzt, dann erhöhen sich die spezifischen CO₂-Emissionen markant. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Gaskraftwerke, ähnlich wie Fahrzeugmotoren im Stadtverkehr, im intermittierenden (Teillast-)Betrieb ineffizienter sind (bei geringer Last sinkt der elektrische Wirkungsgrad auf 30–40%) (VDI 2010).

3.9.3 Potenzial bis 2050

Bei grossen GuD-Kraftwerken ab etwa 400 MW wird in den nächsten 10 Jahren eine Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades von heute 60 auf 65% als realistisch erachtet. Ob in der Schweiz weitere GuD-Kraftwerke realisiert werden können, hängt stark von den zukünftigen energiepolitischen Entscheidungen ab. Besonders wichtig werden die konkreten Entscheide zum Ausstieg aus der Kernkraft sein, aber auch die Regelung der CO₂-Kompensation. Die Kosten für die Kompensation werden durch die Entwicklung auf dem Gebiet des so genannten Carbon Capture and Storage (CCS), also der Abtrennung und Speicherung von CO₂, stark beeinflusst werden. CCS könnte sowohl in GuD- wie auch in Kohlekraftwerken zur Anwendung kommen. Für die Speicherung kommen zum einen ausgewählte geologische Schichten in Frage, beispielsweise erschöpfte Erdgas- und Erdölreservoirs. Zum anderen könnte auch die technisch beschleunigte Mineralisierung eine Option darstellen. Diese beruht auf dem natürlicherweise stattfindenden Prozess der chemischen Mineralisierung, der jedoch sehr langsam verläuft. In der Schweiz kommen für die Speicherung des CO₂ primär die Sedimentgesteine des Mittellandes in Frage. Die theoretische Speicherkapazität wird auf 2680 Mio. t CO₂ geschätzt (Diamond 2010), was etwa

dem 65-fachen der heutigen jährlichen Emissionen der Schweiz entspricht. Das realisierbare Potential dürfte wesentlich geringer sein. Bei GuD-Kraftwerken könnten die CO₂-Emissionen mit CCS um ca. 75 resp. 90 % reduziert werden, wobei sich der Wirkungsgrad der Anlage um 5 resp. 10 %-Punkte (ZEP 2011) verschlechtern würde. Zudem müsste das abgetrennte CO₂ in Rohrleitungen zu den potenziellen Speicherstätten transportiert werden.

Die CO₂-Abtrennung ist technologisch bereits machbar. Die aktuelle Forschung hat zum Ziel, den Energieaufwand für die Abtrennung und damit die Einbussen in der Gesamteffizienz zu senken. Auch die Speicherung in geologischen Schichten wurde bereits demonstriert. Um die Machbarkeit der CO₂-Speicherung im Untergrund der Schweiz zu bestätigen, wäre ein Pilotprojekt in kleinerem Massstab nötig. Wird CO₂ in geologischen Schichten gespeichert, besteht analog zur Geothermie das Risiko, dass beim Einpumpen Erdbeben erzeugt werden. Erdbeben gefährden überdies die sichere Lagerung des CO₂ über die nächsten Jahrhunderte.

Neben ökonomischen und ökologischen Überlegungen werden auch Akzeptanzfragen darüber entscheiden, ob CCS in der Schweiz zur Anwendung kommen wird. Eine rentable Anwendung ist nur möglich, wenn die Vermeidung einer Tonne CO₂ einen gewissen Marktwert erreicht.

Aktuell sind in der Schweiz verschiedene GuD-Projekte in Planung. Sie erfahren mehr oder weniger heftigen Widerstand von Seiten der Anwohner und Umweltorganisationen. Das am weitesten fortgeschrittene Projekt ist eine Anlage in Chavalon (VS) mit einer Leistung von 400 MW. Ein zweites GuD-Projekt mit der gleichen elektrischen Leistung ist in Cornaux (NE) geplant. Die Genehmigungsanträge sollen demnächst eingereicht werden. Zwei weitere Projekte sind in der Planung für die Standorte Utzenstorf (BE) und Perlen (LU), wo die benachbarten Papierfabriken einen hohen Prozess-Wärmebedarf haben. Beide Projekte sind derzeit sistiert. Die Risiken der Stromerzeugung in Gaskraftwer-

ken liegen in der Verfügbarkeit des Gases und der Zuleitungen. Gas ist aufgrund heutiger Kenntnisse noch für längere Zeit vorhanden, aber geografisch sehr unausgewogen verteilt. Russland ist der dominierende Erdgaslieferant Westeuropas mit den global weitaus grössten Reserven. Zwar wird die Schweiz auch mit niederländischem und norwegischem Gas beliefert, und auch die kaukasischen Staaten drängen auf den westlichen Erdgasmarkt; eine problematische Abhängigkeit von Russland ist aber dennoch nicht zu umgehen. Zudem hat es in der Schweiz keine Erdgasspeicher von Bedeutung. Die Versorgungssicherheit wird auch durch den Gastransport beeinflusst. Grundsätzlich genügt die Kapazität des nationalen Gastransportnetzes zur Belieferung künftiger schweizerischer Gaskraftwerke. Allerdings würde ein Ausfall der Transitgasleitung, welche das nationale Netz beliefert, die schweizerische Gasversorgung stark beeinträchtigen.

3.9.4 Technologiespezifische Bewertung und Folgerungen

Die GuD-Technologie ist eine weltweit genutzte, ausgereifte Technik mit hohem Wirkungsgrad und relativ flexibler Einsatzmöglichkeit zur Deckung von Grund- und Mittellast. GuD-Kraftwerke weisen verhältnismässig tiefe Investitionskosten auf und können im Vergleich zu anderen Grosskraftwerken schneller gebaut werden. Die Produktionskosten hängen allerdings stark von der Entwicklung der Brennstoffpreise ab.

Erdgas hat von allen fossilen Energieträgern den geringsten spezifischen CO₂-Ausstoss. In der Schweiz kommen deshalb für die fossile Stromerzeugung in Grossanlagen nur gasbefeuerte GuD-Kraftwerke infrage. Sollen solche Kraftwerke – ohne Abtrennung und Speicherung von CO₂ – in Zukunft einen massgeblichen Beitrag zur Schweizer Stromproduktion leisten, würde der schweizerische CO₂-Ausstoss um rund 20 % erhöht.¹³ Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen im gesetzlich vorgeschriebenen Rahmen würde dadurch praktisch verunmöglicht.

13 Modernste GuDs (320 g CO₂/kWh_{el}) würden somit für die Produktion von 25.2 TWh_{el} der KKW gut 8 Mt CO₂ ausstossen, was 20 % der gesamten Emissionen (39.6 Mt CO₂) im Jahr 2010 entspricht oder 2/3 der gesamten Gebäudeheizung.

Literatur

Diamond L. 2010: Studie zur Abschätzung des Potenzials für CO₂-Sequestrierung in der Schweiz. Schlussbericht BFE-Projekt 102922. www.proclim.ch/news?2386

UBA 2011: Einschätzung der Schiefergasförderung in Deutschland. Umweltbundesamt Deutschland. www.proclim.ch/news?2344

VDI 2010: Stationäre Gasturbinen – vielseitiger Einsatz in fortschrittlichen Anwendungen. VDI-Berichte 2095. www.proclim.ch/news?2387

ZEP 2011: The costs of CO₂ capture. European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants. www.proclim.ch/news?2388