

Kurzbericht

Konzeptstudie Referenzkraftwerk Nordrhein-Westfalen (RKW NRW)

19. November 2003

Förderhinweis:

Die Studie wurde mit Mitteln des Landes NRW und der Europäischen Union (Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung – EFRE) gefördert.

Berichtsstatus:

Dieser Kurzbericht repräsentiert den Stand des Vorhabens am 14. November 2003. Er fasst die langfristigen Planungsüberlegungen der Anlagenbetreiber, die Entwicklungsarbeiten der Anlagenhersteller und die Analysen der wissenschaftlichen Institute zusammen.

Dabei liegen dem Bericht die Teilberichte der folgenden Projektbeteiligten zugrunde:

- Kapitel 3: Lehrstuhl für Energiewirtschaft der Universität Duisburg-Essen
- Kapitel 4: Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie
- Kapitel 5: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
- Kapitel 6: Babcock Borsig Power Systems und Siemens AG

Der öffentliche Abschlussbericht zum Vorhaben Referenzkraftwerk NRW erscheint am 15. Dezember 2003. Er kann über VGB PowerTech e.V. bezogen werden.

Alle Rechte vorbehalten. Teile dieser Kurzfassung dürfen nur mit Hinweis auf die Quelle „Konzeptstudie Referenzkraftwerk NRW“ reproduziert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

VGB PowerTech e.V.
Klinkestrasse 27–31, D-45 136 Essen

Tel.: +49(0)201-8128-347
Fax: +49(0)201-8128-364
e-Mail: hans-joachim.meier@vgb.org

1 Wesentliche Ergebnisse

Versorgungssicherheit, die kostengünstige Bereitstellung von Strom und die Schonung der zur Verfügung stehenden Ressourcen stellen heute mehr denn je die zentralen Herausforderungen für Anlagenbau und Elektrizitätswirtschaft dar. Mit dem Ziel, ein zukunftsfähiges Steinkohlekraftwerkskonzept zu entwickeln, das diesen Herausforderungen Rechnung trägt, wurde die vorliegende Studie „Referenzkraftwerk NRW“ (RKW NRW) erarbeitet. Wesentliches Ziel der Konzeptstudie ist es, die Realisierbarkeit eines hoch modernen Kraftwerks mit deutlich reduzierten Emissionen unter Berücksichtigung der heutigen am liberalisierten Energiemarkt vorherrschenden ökonomischen Bedingungen zu untersuchen, sowie Chancen für den Industriestandort Nordrhein-Westfalen aufzuzeigen.

In die Anlagenkonzeption sind eine Vielzahl innovativer Vorschläge eingeflossen. Diese Innovationen wurden nach den Kriterien Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit mit heute am Markt verfügbaren Materialien und Technologien ausgewählt.

Im Einzelnen kam die Studie nach 12-monatiger Untersuchung zu folgenden Ergebnissen: Das Kraftwerkskonzept basiert auf einer 600-MW-Anlage mit optimierter Anlagentechnik und besitzt einen Wirkungsgrad von 46 %. Mit bestimmten technischen Maßnahmen könnte auch ein Wirkungsgrad von über 48 % erreicht werden, was allerdings andere Standortvoraussetzungen und auch andere wirtschaftliche Randbedingungen erfordert, als sie derzeit angenommen werden können.

Mit einem Wirkungsgrad von 46 % übertrifft das RKW NRW den Durchschnitt der derzeit in Deutschland betriebenen Steinkohlenkraftwerke um rund ein Viertel. Sein Einsatz kann somit einen erheblichen Beitrag zur Erreichung der CO₂-Minderungsziele leisten.

Mit einem direkten und indirekten Beschäftigungseffekt von 6200 Mitarbeitern und weiterem Personal, das für den Betrieb der Anlage erforderlich ist, kann das Referenzkraftwerk NRW einen wichtigen Beitrag zur Sicherung von Arbeitsplätzen im Energieland NRW leisten. Diesem Aspekt kommt vor dem Hintergrund der in den nächsten beiden Jahrzehnten in Deutschland zu ersetzenden Kraftwerksanlagen mit einer Gesamtleistung von rund 40 000 MW besondere Bedeutung zu.

Angesichts der Erwartung, dass der Steinkohle als Einsatzbrennstoff für die Stromerzeugung auch weltweit längerfristig erhebliche Bedeutung zukommt, ergeben sich mit einer erfolgreichen Umsetzung dieses Konzeptes in Deutschland beträchtliche Exportpotenziale.

Unter den im Einzelnen hinsichtlich der Kapital- und Betriebskosten getroffenen Annahmen erweist sich das RKW NRW sogar gegenüber einer modernen GuD-Anlage auf Erdgasbasis in der vorgesehenen Betriebsweise als wirtschaftlich überlegen.

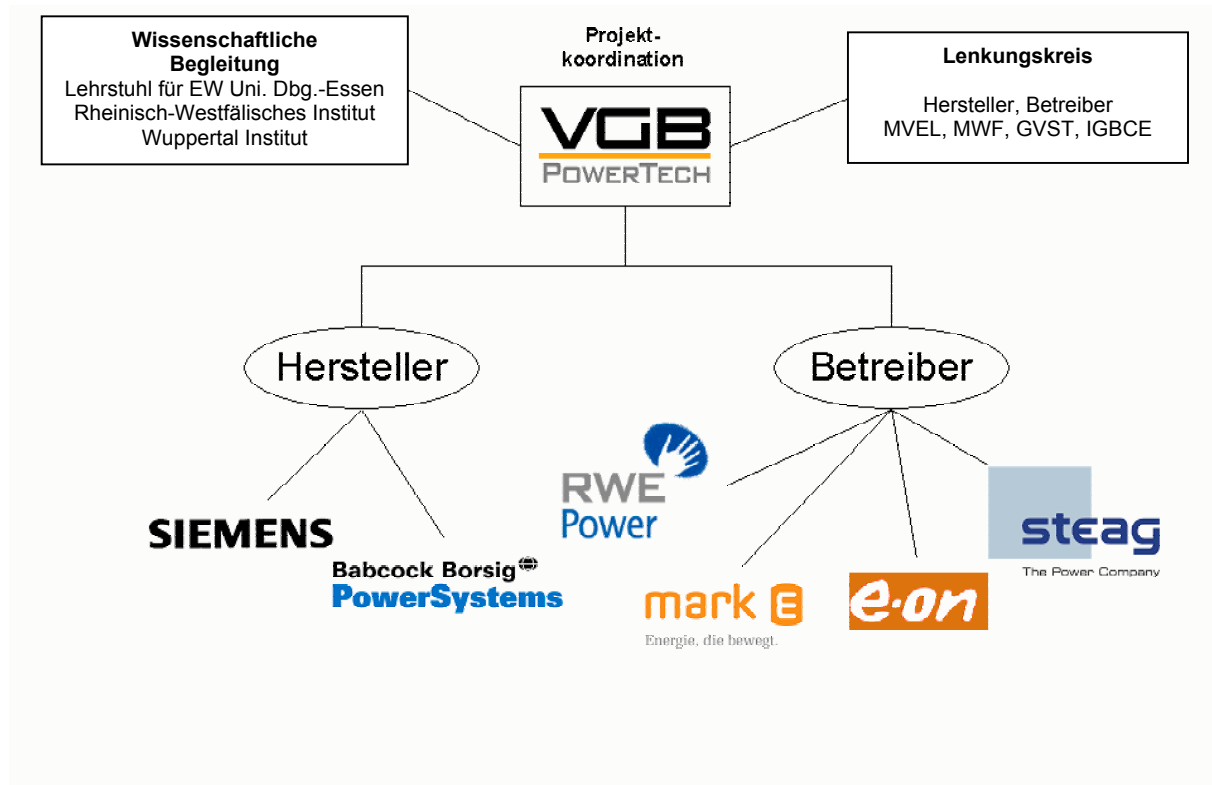
Für eine kurzfristige Realisierung des RKW NRW sind allerdings die energiewirtschaftlichen Voraussetzungen noch nicht gegeben, weil das derzeitige Erlösniveau auf dem Markt für Kraftwerksneubauten generell noch nicht ausreicht. Hinzu kommt die Ungewissheit darüber, in welchem Maße Kraftwerke in Zukunft mit Kosten für Klimaschutzmaßnahmen belastet werden. Eine Investitionsentscheidung setzt daher entsprechend verlässliche, langfristig orientierte energie- und umweltpolitische Randbedingungen voraus.

2 Projektdurchführung und Rahmenbedingungen

Die umfangreiche Studie wurde erstellt durch die Anlagenbauer Babcock Borsig Power Systems und Siemens AG. Die Randbedingungen für die Auslegung des RKW NRW sind von den Kraftwerksbetreibern E.ON Kraftwerke, Mark-E, RWE Power und STEAG eingebracht worden.

Darüber hinaus haben der „Lehrstuhl für Energiewirtschaft der Universität Duisburg–Essen“, das „Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie“ und das „Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung“ die ökonomischen, ökologischen und strukturpolitischen Aspekte untersucht.

Die Projektkoordination zwischen Herstellern, Betreibern und Instituten organisierte VGB PowerTech e.V., der europäische Fachverband für Stromerzeugung mit Sitz in Essen.



3 Marktentwicklung und Wirtschaftlichkeit

3.1 Überlegene Anlagentechnik für Steinkohlenkraftwerke

Das Referenzkraftwerk NRW (RKW NRW) stellt eine aussichtsreiche und bereits heute realisierbare Kraftwerkstechnik dar. Bei einem aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimalen Wirkungsgrad von rund 46 % für einen Binnenstandort liegt der Wirkungsgrad um rd. ein Viertel höher als der Durchschnitt derzeit in Deutschland betriebener Steinkohlenkraftwerke.

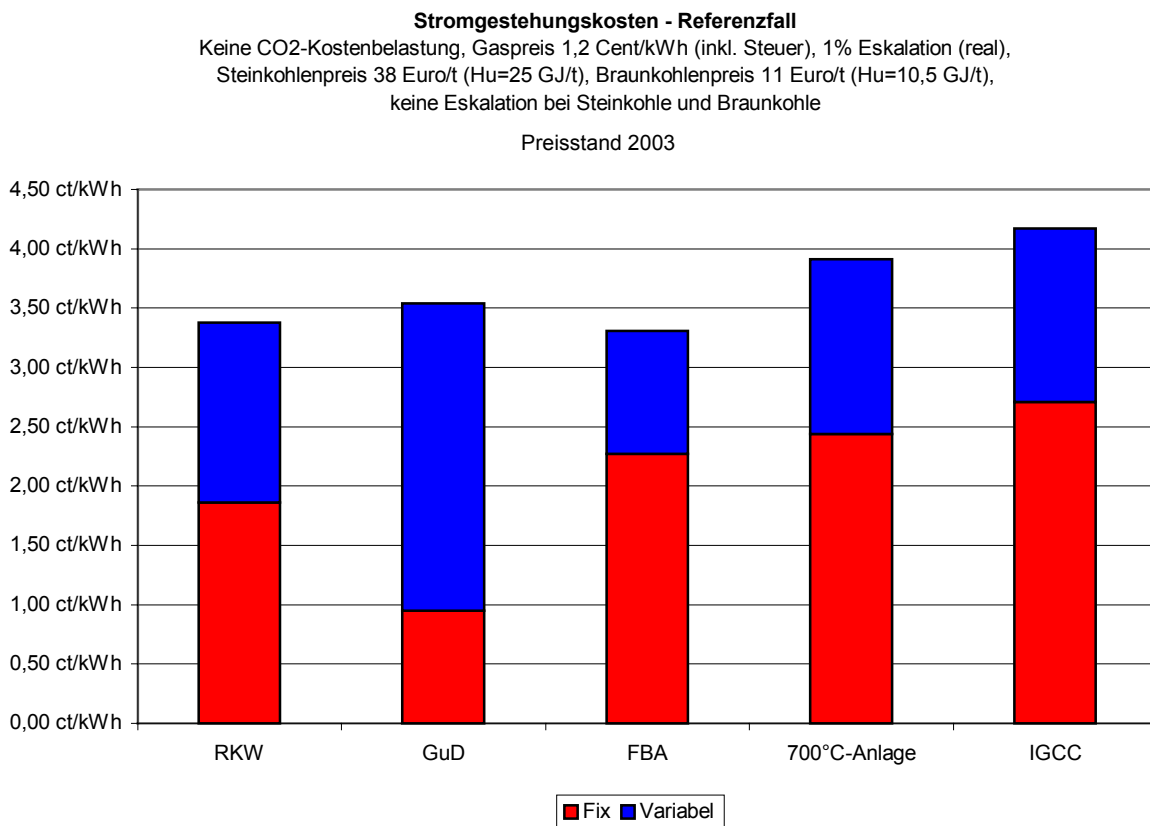
Im Vergleich zum Durchschnitt weltweit betriebener Kraftwerke (Durchschnittswirkungsgrad etwa 30 %) liegt der Wirkungsgrad um rund 50 % höher. Damit kann das RKW NRW einen entscheidenden Beitrag zu einer zugleich wirtschaftlich attraktiven wie klimaschonenden Deckung des Stromverbrauchs leisten.

Das RKW NRW erweist sich sämtlichen derzeit intensiver verfolgten Kraftwerksoptionen auf Steinkohlenbasis wirtschaftlich überlegen, solange keine erheblichen Belastungen durch CO₂-Emissionsberechtigungen entstehen.¹ Vergleichbare wirtschaftliche Lösungen im fossilbefeuerten Großkraftwerksbereich stellen lediglich fortgeschrittene Braunkohlenanlagen (FBA) und Erdgaskraftwerke auf GuD-Basis dar.

Im Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen diesen Kraftwerks-Alternativen schneidet nur die FBA vor allem aufgrund ihrer außerordentlich niedrigen – auch über die gesamte Betriebszeit als real konstant anzusetzenden – Brennstoffkosten auf der Lagerstätte noch etwas günstiger ab, als das RKW NRW. Dieser Anlagentyp ist aber zunächst einmal nur den Unternehmen mit entsprechendem Zugang zur Braunkohle vorbehalten. Es besitzt gleichwohl für diese Unternehmen außerordentlich große Relevanz im Hinblick auf die sichere und langfristig kostengünstige Deckung des Grundlastbedarfs.

3.2 Ergebnisse für den Referenzfall

Es ergeben sich für die betrachteten Erzeugungsalternativen folgende Stromgestehungskosten (Basis der Annahmen sowie der Methodik wird im Schlussbericht dargestellt):



RKW:	Referenzkraftwerk NRW
GuD:	Mit Erdgas befeuertes Gas- und Dampfturbinenkraftwerk
FBA:	Fortgeschrittene Braunkohleanlage
700°C-Anlage:	Dampfkraftwerk mit einem Frischdampfzustand von 700 °C
IGCC:	Kombination aus einer Kohlevergasungsanlage mit einer GuD-Anlage

Insgesamt ergibt sich auf Basis der im Einzelnen getroffenen Annahmen ein Stromerzeugungskostenniveau² für neu hinzu zu bauende Grundlastanlagen, die nach 17 Jahren in den Mittellastbetrieb überführt werden, in einer relevanten Größenordnung zwischen 3,3 und 3,6 ct/kWh. Es wird deutlich, dass das RKW NRW im Referenzfall den übrigen Steinkohletechnologien wirtschaftlich klar überlegen ist.

¹ Mit dem Ziel, die CO₂-Emissionen zu reduzieren, ist am 25. 10. 2003 eine Europäische Richtlinie in Kraft getreten, nach der für die Emissionen von CO₂ so genannte CO₂-Emissionsberechtigungen (Zertifikate) erworben werden müssen.

² Über die Gesamtzeit ermittelt und auf den Inbetriebnahmezeitpunkt diskontiert.

Das RKW NRW erweist sich ebenfalls als vorteilhaft gegenüber einer erdgasbefeuerten GuD-Anlage. Lediglich die braunkohlebefeuerte FBA ist geringfügig kostengünstiger, wobei hierfür allerdings über die gesamte Lebensdauer Grundlastbetrieb unterstellt wurde, was die Erzeugungskosten in einer solchen Anlage etwa um 0,1 ct/kWh senkt.

Das RKW NRW ist bei der vorgesehenen Betriebsweise kostengünstiger, als die GuD-Anlage auf Erdgasbasis, trotz des bei diesem Anlagentyp noch einmal deutlich höheren Wirkungsgrades und der wesentlich niedrigeren Investitionskosten. Hierfür zeichnet im Wesentlichen verantwortlich, dass von einem Steinkohlenpreis von 38 €/t (Heizwert Auslegungskohle= 25 GJ/t, Bezugspreis pro t/SKE = 45 €) ausgegangen werden kann. Aufgrund der sehr großen weltweit breit gestreuten Ressourcenbasis, der niedrigen Marktzugangsbarrieren und der von intensivem Wettbewerb gekennzeichneten Marktstruktur werden sich, über die gesamte Betriebszeit gesehen, die Steinkohlenpreise inflationsbereinigt allenfalls marginal erhöhen.

Dieses Ergebnis erweist sich als vergleichsweise robust, denn der Erdgaspreis dürfte real um nicht mehr als 0,5 %/a ansteigen, um unter diesen Bedingungen den Kostenvorsprung der Steinkohle einzuholen. Das ist aufgrund der weltweit steigenden Nachfrage nach dem Energieträger Erdgas, seiner unbestreitbaren und sich in entsprechenden Preisforderungen dokumentierenden Umweltvorteile unwahrscheinlich. Nur dann, wenn wider Erwarten der Steinkohlepreis real um 1 %/a ansteigen sollte (und der Gaspreis gleichzeitig um nicht mehr als diese Rate), würde sich die GuD-Anlage dem Steinkohle-Referenzkraftwerk gegenüber als wirtschaftlich überlegen erweisen.

Wirtschaftlichkeit stellt sich jedoch nur ein, wenn Belastungen durch CO₂-Minderungsmaßnahmen nicht berücksichtigt werden. Bereits bei einer CO₂-Belastung von mehr als 5 €/t CO₂, erweist sich das Steinkohlereferenzkraftwerk dem GUD-Kraftwerk auf Erdgasbasis als wirtschaftlich eindeutig unterlegen. Das gilt selbst dann, wenn der Gaspreis real mit bis zu 1,2 %/a ansteigt und der Steinkohlenpreis unverändert bleibt.

Hieraus resultieren für potentielle Betreiber eines RKW NRW betriebswirtschaftliche Risiken, die in einem immer stärker wettbewerblich geprägten Umfeld nicht mehr geschultert werden können. Kohlekraftwerke selbst modernsten Zuschnitts mit hohen klima- und ressourcenschonenden Wirkungsgraden werden nur gebaut werden können, wenn dafür geeignete politische Rahmenbedingungen entwickelt werden.

Ob eine solche Anlage tatsächlich als Ergebnis rein unternehmerischer Entscheidungen bereits im Jahre 2008 ans Netz gehen kann, hängt in entscheidendem Maße von der bis dahin zu erwartenden Entwicklung der auf dem Großhandelsmarkt erzielbaren Erlöse ab, die derzeit nicht ausreichen, um eine Investitionsentscheidung – betriebswirtschaftlich gesehen – zu rechtfertigen.

4 Bedeutung effizienter Kohlekraftwerke für den Klimaschutz

4.1 Effiziente Kohlekraftwerke – weltweiter Handlungsbedarf

World Energy Council (WEC) und die Internationale Energie Agentur (IEA) rechnen unter Trendbedingungen (Kontinuität der derzeitigen Energiepolitik) bis zum Jahr 2020 damit, dass der globale CO₂-Ausstoß deutlich ansteigen wird. Nach Angaben des WEC von heute rund 24,5 Mrd. t (WEC- Bericht, Jahr 2000) auf 36,6 Mrd. t (WEC- Bericht, Jahr 2001). Das entspricht einer Erhöhung um fast 50 % in nur 20 Jahren. Dabei würde der auf die Stromerzeugung zurückzuführende CO₂-Ausstoß von 5,6 Mrd. t um 3,5 Mrd. t auf 9,1 Mrd. t ansteigen, was einer Steigerung von 63 % entsprechen würde. Wesentlichen Anteil daran hätte die Stromerzeugung aus Kohle, die sich im Jahr 2020 gegenüber heute etwa verdoppeln würde.

Bei dieser Prognose wurde von einer Verbesserung des mittleren Wirkungsgrades des Kraftwerksbestandes im betrachteten Zeitraum von heute rd. 30% (im Jahr 2000) auf nur 34% (im Jahr 2020) ausgegangen.

Dieser Prognoseansatz lässt somit noch erheblichen Spielraum für weitere CO₂-Minderungen. Durch Kraftwerksanlagen mit höherem Wirkungsgrad - z.B. vom Typ Referenzkraftwerk NRW mit rd. 46% - könnte dieser Spielraum genutzt werden.

Würde die Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken im Jahr 2020 alleine durch Anlagen mit einem Wirkungsgrad von mindestens 46% erfolgen, so könnten die für das Jahr 2020 prognostizierten CO₂-Emissionen von 9,1 Mrd. t (mittlerer Wirkungsgrad 34%) um weitere 2,3 Mrd. t auf 6,8 Mrd. t (mittlerer Wirkungsgrad 46%) reduziert werden. Die prognostizierte Erhöhung des auf die Kohleverstromung zurückzuführenden CO₂-Ausstoßes im Zeitraum von 2000 bis 2020 würde damit von 63% auf 21% sinken.

4.2 Effiziente Kohlekraftwerke – nationale Perspektive

Die Perspektiven für die Kohlenutzung zur Stromerzeugung in Deutschland unterscheiden sich je nach Randbedingungen signifikant. Im Rahmen von Business-as-Usual-Betrachtungen wird eher von tendenziell steigenden Beiträgen ausgegangen. Unter Klimaschutzgesichtspunkten hingegen erfolgt verstärkt die Nutzung erdgasbefeuerteter GuD-Kraftwerke. Im Fall sehr engagierter Zielsetzungen wird mittel- bis langfristig sogar der vollständige Verzicht auf die Kohleverstromung für notwendig gehalten.

Unter Referenzbedingungen (Business as Usual) wird der Kohleverstromung in den nächsten Jahrzehnten nach Analysen der Enquête-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ (Enquête 2002) ein steigender Stromerzeugungsbeitrag von bis zu 220 Mrd. kWh (im Jahr 2020) zugewiesen (vgl. 131,5 Mrd. kWh im Jahre 2000). Das erfolgte nicht zuletzt, um den vereinbarungsgemäß rückläufigen Beitrag der Kernkraftwerke auszugleichen und dem Aspekt der Versorgungssicherheit Rechnung zu tragen.

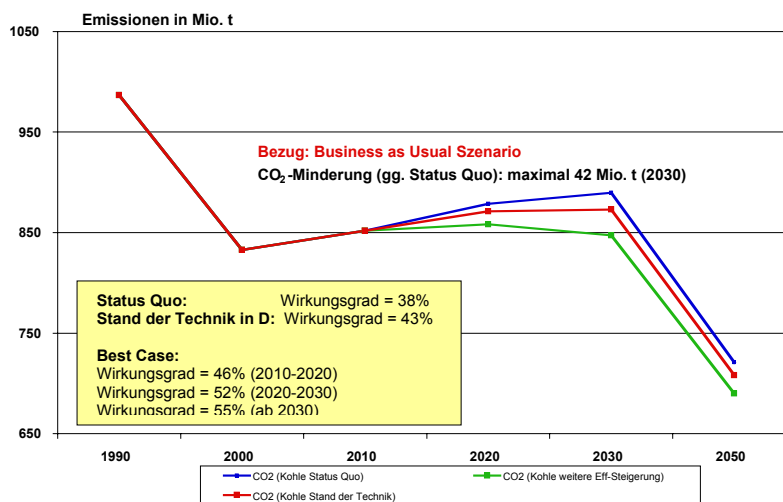
Auch dann, wenn ein Teil des zu erwartenden Anstiegs durch Maßnahmen im Bereich der Stromeinsparung oder andere Maßnahmen (wie z. B. Ausbau der dezentralen Stromerzeugung in Brennstoffzellen, Mikrogasturbinen, erneuerbare Energien) kompensiert werden kann, ist die Notwendigkeit, Anstrengungen zur Erhöhung der Brennstoffausnutzung zu unternehmen, unter Referenzbedingungen evident.

Das RKW NRW kann hierzu als Bestandteil einer kontinuierlichen Weiterentwicklung der Kohlekraftwerkstechnik einen wesentlichen Beitrag leisten.

Geht man hinsichtlich der Steinkohleverstromung von sukzessive steigenden Wirkungsgraden aus, zeigen Modellrechnungen im Rahmen der skizzierten Business-as-Usual-Entwicklung, dass hierdurch im Jahre 2020 ein Minderungsbeitrag von bis zu 22 Mill. t CO₂/a im Vergleich zum Status Quo (mittlerer Wirkungsgrad heute in Deutschland 38 %) ermöglicht würde.

Die realisierbare Minderung entspricht immerhin knapp 3 % der gesamten deutschen CO₂-Emissionen und mehr als 7 % der zuzurechnenden Emissionen der heutigen Stromerzeugung.

Mittelfristig kann durch moderne Kohlekraftwerke (d. h. bis 2030) ein realisierbarer Minderungsbeitrag von bis zu 42 Mill. t CO₂, der dann bis zum Jahr 2050 wieder auf rund 32 Mill. t zurückgeht, erzielt werden. Vergleicht man die realisierbare Minderungswirkung nicht mit dem derzeitigen Status Quo der installierten Steinkohlekraftwerke, sondern mit dem derzeitigen Stand der Technik (Wirkungsgradniveau von 43 %), ermittelt sich ein Minderungspotenzial von bis zu 25,5 Mill. t – eine auch dann noch respektable Größenordnung.



Möglicher CO₂-Minderungsbeitrag durch den Einsatz effizienter Steinkohlekraftwerke im Business-as-Usual-Szenario (der stark rückläufige Effekt in den Kurven nach dem Jahr 2030 ist vor allem auf den antizipierten deutlichen Bevölkerungsrückgang zurückzuführen).

Inwieweit Kohlekraftwerke zur Erneuerung des bestehenden Kraftwerksparks beitragen können, hängt entscheidend davon ab, welche Klimaschutzvorgaben insgesamt gemacht werden. Engagierte Minderungsziele, wie sie beispielsweise vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung für globale Umweltveränderungen diskutiert werden, würden das Einsatzpotenzial effizienter Kohlekraftwerke deutlich verringern. Sollte es aber gelingen, eine wirtschaftlich tragfähige und ökologisch verträgliche CO₂-Entsorgung zu realisieren oder objektbezogene Maßnahmen in Entwicklungs- und Schwellenländern in den Handel mit CO₂-Emissionsberechtigungen mit einzubeziehen, könnte das den Handlungsspielraum für Kohlekraftwerke auch unter Klimaschutzgesichtspunkten signifikant verbessern.

Angesichts der hierdurch bedingten Unsicherheiten ist es sinnvoll, sich schon bei der Entwicklung tragfähiger Konzepte nicht nur auf den heimischen Markt zu fokussieren, sondern die Entwicklungsanstrengungen auch an den globalen Bedürfnissen – und hier insbesondere an den spezifischen Anforderungen von Entwicklungs- und Schwellenländern zu spiegeln. Für diese Ländergruppen hat sich die Nachfrage nach effizienten Kohlekraftwerken in den vorliegenden Szenarioanalysen unabhängig von der generellen Entwicklung der Rahmenbedingungen als vergleichsweise robust herausgestellt. In dem Bemühen, die Treibhausgasemissionen zu begrenzen, könnten effiziente Kohlekraftwerke damit den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien und die verstärkte Ausschöpfung von Energieeinsparpotenzialen unterstützen.

5 Industriepolitische Aspekte

Die Zusammensetzung des Kraftwerksparks zu einem bestimmten Zeitpunkt hängt von einer Vielzahl ökonomischer, ökologischer, regionalwirtschaftlicher und energiepolitischer Einflussfaktoren ab. Weil die Lebensdauer der Anlagen, je nach verwendetem Brennstoff und Einsatzbereich, 35 Jahre und mehr erreichen kann, spiegeln sich in der gegenwärtigen

Struktur auch Einflussfaktoren wider, die zum Teil weit in die Vergangenheit zurückreichen. So ist die Entscheidung für den Bau von Steinkohlekraftwerken bei mehr als der Hälfte der gegenwärtigen Anlagen vor 20 Jahren und mehr gefallen, zu einer Zeit also, als für die Steinkohleverstromung noch der so genannte Jahrhundertvertrag galt, der für die Elektrizitätswirtschaft eine Verpflichtung zur Abnahme von heimischer Steinkohle zum Inhalt hatte. Hinzu kommt, dass Nordrhein-Westfalen nennenswerte Vorkommen an Stein- und Braunkohle besitzt und mit diesen heimischen Energieträgern eine von Weltmarkteinflüssen abgekoppelte sichere Energieversorgung unterstützen kann.

Infolge dieser Rahmenbedingungen dominiert in Nordrhein-Westfalen der Einsatz von Stein- und Braunkohle zur Stromerzeugung. Bezogen auf die installierte Gesamtleistung der öffentlichen Kraftwerke in Höhe von 26,7 GW entfallen auf Stein- und Braunkohlekraftwerke rund 20,6 GW. Diese Brennstoffe stellen damit mehr als 75 % der gesamten Leistung in NRW. Der Anteil an der gesamten Erzeugung liegt mit knapp 85 % noch deutlich höher, weil Braunkohlekraftwerke infolge ihrer relativ niedrigen Brennstoffkosten im Dauerbetrieb gefahren werden und deshalb einen größeren Beitrag zur Deckung des Gesamtbedarfs leisten als es der anteiligen Kraftwerkskapazität entspricht. Diese Strukturen haben sich in den letzten 30 Jahren nicht grundlegend geändert. Auch im Jahre 1970 bestanden mehr als 75 % der gesamten Kapazität aus Kraftwerken, die mit Stein- oder Braunkohle betrieben wurden. Vor diesem Hintergrund stellt die Kohleverstromung einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor für NRW dar.

Der Bau des Referenzkraftwerks ist mit einem Auftragsvolumen von knapp 480 Mill. € verbunden. Dieses Investitionsvolumen bewirkt über die Bauphase von drei Jahren einen direkten und indirekten Beschäftigungseffekt von 6.200 Mitarbeitern. Dabei werden rund 3.600 Vollzeitbeschäftigte beim Bau und zur Herstellung wesentlicher Anlagenkomponenten des Kraftwerks benötigt, die übrigen 2.600 Arbeitsplätze entfallen auf weitere Zulieferleistungen, die nicht an den Standort des Kraftwerks gebunden sind, von der Wahl des Standortes jedoch beeinflusst werden.

Über die indirekten Lieferverflechtungen in Nordrhein-Westfalen werden

- bis zu 700 Arbeitsplätze gesichert, wenn das Kraftwerk in Nordrhein-Westfalen errichtet wird,
- rund 200 Arbeitsplätze gesichert, wenn der Standort außerhalb Nordrhein-Westfalens angesiedelt ist.

Durch die notwendige Modernisierung des gesamten Kraftwerksparks in Deutschland könnte dieser Produktions- und Beschäftigungseffekt noch deutlich stärker ausfallen. Darüber hinaus könnte durch den Export der Technologie des RKW NRW ein zusätzlicher Produktions- und Beschäftigungseffekt in NRW erreicht werden.

Im Vergleich zur Bauphase sind die Produktions- und Beschäftigungseffekte der Betriebsphase wesentlich stärker auf den Standort des jeweiligen Kraftwerks konzentriert, weil das Betriebspersonal in der Regel aus der jeweiligen Region rekrutiert wird und die Aufträge zur Durchführung der laufenden Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten tendenziell an Unternehmen im Umfeld der jeweiligen Anlage vergeben werden.

Allerdings hat der Betrieb des Referenzkraftwerks im Vergleich zum Bau kaum zusätzliche Produktions- und Beschäftigungswirkungen. Neben dem unmittelbar im Kraftwerk tätigen Personal, das hier mit 70 Personen angesetzt wurde, werden durch die laufenden Arbeiten am Kraftwerksstandort bei Einsatz in der Grundlast 200 oder beim Einsatz in der Mittellast etwa 170 Arbeitskräfte direkt oder indirekt für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten beschäftigt.

Dieser relativ geringe Produktions- und Beschäftigungsimpuls in der Betriebsphase verringert sich noch weiter, wenn das Referenzkraftwerk eine Altanlage ersetzt, denn infolge der technischen Neuerungen, die mit dem Bau eines neuen Kraftwerks realisiert werden können, ist zu erwarten, dass Effizienzsteigerungen nicht nur hinsichtlich des Brennstoffeinsatzes, sondern auch bezüglich des Arbeitseinsatzes realisiert werden. Das bedeutet, dass Brutto-Wertschöpfung und Beschäftigung aufgrund des effizienteren Faktoreinsatzes im neuen Kraftwerk sinken würden.

6 Technische Ausführung und Wirkungsgrad

6.1 Ideensammlung und Bewertung

An den Anfang der Studie wurde eine Phase der Ideensammlung und Ideenbewertung gestellt. Insgesamt wurden dabei über 80 Ideen in den Bereichen Anlagenplanung, Prozesstechnik, Kessel, Maschinentechnik, Elektrotechnik, Leittechnik und Generator gesammelt und jede für sich bewertet. Die Entscheidung zur Berücksichtigung einer solchen Innovation im Referenzkraftwerk NRW wurde von Betreibern und Anlagenbauern gemeinsam getroffen. So wurde z.B. eine neue Niederdruckteilturbine mit einer Abströmfläche von 16 m^3 in die Untersuchungen einbezogen, für die aufgrund der hohen Fliehkraftbelastungen die Endschaufeln aus Titanlegierungen hergestellt werden. Auch bezüglich der Aufstellungskonzepte von Turbinen sind unterschiedlichste Möglichkeiten untersucht worden. Es wurde dabei eine Tiefaufstellung, d. h. eine Turbinentischhöhe auf etwa 8 m mit einer herkömmlichen Aufstellung auf rund 16 m verglichen, aber auch beispielsweise die Hochaufstellung des Turbosatzes auf 60 m betrachtet.

Gleichzeitig diente die Phase der Ideenbewertung dazu, Möglichkeiten der Wirkungsgradsteigerung bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit zu untersuchen. Für diese Untersuchungen sind auf Basis bestehender Marktbedingungen Bewertungsfaktoren unter anderem für Wirkungsgradverbesserung, Eigenbedarfssenkung und Verfügbarkeitssteigerung durch den „Lehrstuhl für Energiewirtschaft“ der Universität Duisburg – Essen ermittelt worden. Mittels dieser Bewertungsfaktoren, ergänzt durch die Erfahrungen der Betreiber und Anlagenhersteller, wurde eine Optimierung der Gesamtanlage vorgenommen.

Im Rahmen der Optimierung sind z. B. die folgenden Varianten betrachtet worden:

- Einbindung von Mühlenluftwärme in die HD-Vorwärmstrecke bzw. Möglichkeiten einer weitergehenden Rauchgasabwärmenutzung durch Wärmeverschiebesysteme.
- Einsatz eines externen Enthitzers zur Steigerung der Speisewasserendtemperatur.
- Senkung der Druckverluste in den Anzapfleitungen für die HD-Vorwärmer bzw. Senkung der Grädigkeiten innerhalb der Vorwärmstrecke.
- Berücksichtigung von zusätzlichen ND-Vorwärmern bzw. von Thermokompression im Bereich der ND-Vorwärmstrecke.
- Betrachtung verschiedener Varianten zur ZÜ-Temperaturregelung.
- Berücksichtigung von HD-Vorwärmer-Umleitstationen zur Spitzenlastbereitstellung.
- Variation des kalten Endes (ND-Turbinenabströmfläche, Kühlturmgröße) zur Optimierung von Leistung und Wirkungsgrad

Das technisch-wirtschaftlich optimierte Kraftwerkskonzept, das sich im Rahmen der Untersuchungen ergeben hat und welches nachfolgend als „Vorzugsvariante“ bezeichnet wird, ist durch folgende Daten charakterisiert:

— Brutto-Leistung:	600 MW
— Kesseltyp:	Turmkessel mit Senkrechtberohrung und Dampf-Luvo
— Wärmevershub:	Nutzung von Mühlenluftwärme
— Rauchgasableitung:	Ableitung über Kühlturm
— Turbinen-Typen:	H30-40 / M 30-63 / N30-2 x 16 m ²
— Frischdampfparameter:	285bar / 600 °C / 620 °C
— Kondensatordruck:	45 mbar
— Generator:	wasser-/wasserstoffgekühlt (THDF 110/60)
— Vorwärmstufen:	8 Vorwärmer + externer Enthitzer
— Speisewasserendtemperatur:	303,4 °C
— Speisepumpenkonzept:	3 x 50 % E-SPP, Regelkupplung mit Planetengetriebe

6.2 Kesselvarianten

Um für das Referenzkraftwerk die günstigste Kesselbauweise zu finden, wurden die drei verschiedene Kesselkonzepte Turmkessel, Zwei-Zugkessel sowie der innovative horizontal befeuerte Kessel ausgelegt und hinsichtlich ihrer Kosten und Betriebsicherheit verglichen. Das Ziel, die für den jeweiligen Kesseltyp spezifischen Vorteile herauszuarbeiten, führte zu unterschiedlichen Lösungsansätzen im Bereich Feuerung und Druckteil. In allen Varianten sind MPS-Mühlen und emissionsarme DS-Brenner eingesetzt worden.

Basierend auf dem durchgeführten Engineering wurden für die untersuchten Kesselvarianten verschiedene Kennwerte, die Massen und relevante Kosten detailliert ermittelt und gegenübergestellt.

Hierbei zeigt sich folgendes Ergebnis:

Der benötigte Platzbedarf und der umbaute Raum ergeben Vorteile für den Turmkessel:

Umbauter Raum:	
— Turmkessel	166 000 m ³
— Zwei-Zug-Kessel	197 000 m ³
— Liegender Kessel	209 000 m ³
Grundfläche:	
— Turmkessel	2975 m ²
— Zwei-Zug-Kessel	4164 m ²
— Liegender Kessel	4600 m ²

Die Stahlmassen sind beim Turmkessel geringer. Die notwendigen Fundamentmassen waren für alle Varianten nahezu gleich. Bauformbedingt kann der Turmkessel mit jeweils drei Kohlemühlen, Bunkern und Kohlezuteilern ausgeführt werden. Die Kesseldruckteilmassen für den Turmkessel sind die niedrigsten. Bei den externen Rohrleitungen ergaben sich Vor-

teile für den Horizontalkessel. Die wirtschaftliche Bewertung der Kesselvarianten führte zur Auswahl des Turmkessels als Vorzugsvariante.

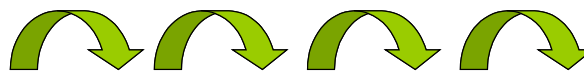
6.3 Wirkungsgradtreppe

Auf der Basis der durchgeführten technisch-wirtschaftlichen Optimierung erreicht das RKW NRW einen Gesamt-Nettowirkungsgrad von 45,9 %.

Unter den für das RKW NRW gewählten Markttrandbedingungen stellt die Vorzugsvariante das optimierte Anlagenkonzept dar. Erlauben die Markttrandbedingungen einen höheren Ansatz für die Bewertungsfaktoren, bedeutet das, dass weitere technische Maßnahmen zur Wirkungsgradsteigerung wirtschaftlich sind, die spezifisch höhere Investitionen erfordern.

Im Grenzfall dürfen die Investitionen gerade genau so groß sein wie der Bewertungsfaktor. Sind sie höher, reduziert sich die Wirtschaftlichkeit des Gesamtprojekts, sind sie niedriger, steigt diese entsprechend an. Unter der Annahme höherer Bewertungsfaktoren — verursacht z. B. durch die Annahme höherer Brennstoffpreise — ergeben sich die in der nachfolgenden Wirkungsgradtreppe zusammengefassten Steigerungsmöglichkeiten. Hierbei bildet die Vorzugsvariante mit all ihren Randbedingungen die Ausgangsbasis für Variante A und diese wiederum die Ausgangsbasis für Variante B usw.

Details sind in der folgenden Tabelle dargestellt:



Bezeichnung	Vorzugsvariante	Treppensprung A	Treppensprung B	Treppensprung C	Treppensprung D
Beschreibung	Basis	plus Umrichterantrieb SPP+9 VW+Opt. Vorwärmung	plus 320°C SPW	plus Kond.druck 40 mbar / ND4x10m²	plus RG-Abwärmenutzung mit NT-Wärmeverschub 35mbar
FD-Parameter	285bar/600°C/620°C	285bar/600°C/620°C	285bar/600°C/620°C	285bar/600°C/620°C	285bar/600°C/620°C
Spw-EndTemp.	303,4°C	dito	320°C	320°C	320°C
Vorwärmer	3HD/Spwbeh./4ND	3HD/Spwbeh./5ND	3HD/Spwbeh./5ND	3HD/Spwbeh./5ND	3HD/Spwbeh./5ND
ext. Enthitzer	ja	ja	ja	ja	ja
Kalorifer für Luftvorwärmung	ja	ja	ja	ja	ja
Nutzung Mühlenluftabwärme	ja, in HD-VW	ja, in HD-VW	ja, in HD-VW	ja, in HD-VW	ja, in HD-VW
ZÜ-Temp. gleitend	ja	ja	ja	ja	ja
Kond.-Druck	45mbar	45mbar	45mbar	40mbar	35mbar
ND-Teilurbine	N30-2x16m²	N30-2x16m²	N30-2x16m²	N30-4x10m²	N30-4x10m²
9. Vorwärmer	nein	ja	ja	ja	ja
Frequenz-Umrichter-Antrieb für Speisepumpe	nein	ja	ja	ja	ja
Spw-EndTemp. 320°C	nein	nein	ja	ja	ja
Kond.-Druck 40mbar	nein	nein	nein	ja	nein
Kond.-Druck 35mbar	nein	nein	nein	nein	ja
Kond.-Druck 25mbar	nein	nein	nein	nein	nein
RG-Abwärmenutzung mit NT-Wärmeverschub (Rekuluvo plus)	nein	nein	nein	nein	ja
Frequenz-Umrichter-Antrieb für Kondensatpumpen	nein	nein	nein	nein	nein

Anmerkung:
Antriebsturbinen als Speisepumpenantriebe wurden nicht betrachtet, weil der Wirkungsgradvorteil gegenüber frequenzgeregelten Pumpen gering ist und durch die deutlich höheren Investitionskosten überkompensiert wird.

Tabelle: Vorzugsvariante und weiterführende Möglichkeiten der Wirkungsgradsteigerung

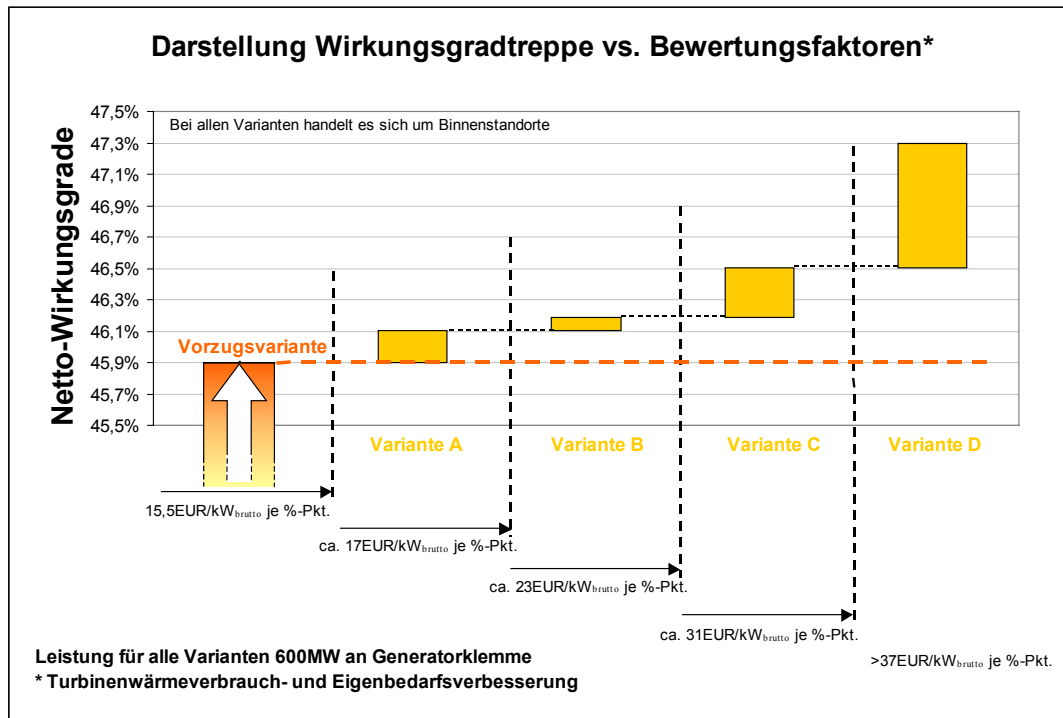


Bild: Wirkungsgradtreppe

Aus dem obigen Bild der Wirkungsgradtreppe ist erkennbar, dass mit dem Anstieg der Bewertungsfaktoren, ausgehend von 15,5 Euro/kW_{brutto} je Prozentpunkt Wirkungsgradverbesserung bis hin zu einem Wert größer als 37 Euro/kW_{brutto} je Prozentpunkt, ein Wirkungsgrad der Anlage von 45,9 bis 47,3 % erreicht werden kann.

Eine weitere Wirkungsgraderhöhung kann für die Vorzugsvariante und die Varianten A bis D durch Absenkung des Kondensatordruckes, durch Anhebung der Frischdampfparameter oder aber durch Veränderung des Gesamtkonzepts, wie z. B. der Berücksichtigung einer doppelten Zwischenüberhitzung, erreicht werden. Dabei ist folgendes zu berücksichtigen:

- Durch Absenkung des Kondensatordrucks bei entsprechenden Standortgegebenheiten kann der Wirkungsgrad z.B. der Vorzugsvariante von 46 auf 47 % gesteigert werden.
- Das Anheben der Frischdampfparameter auf 300bar/630 °C/630 °C stellt den derzeitigen Endpunkt der technischen Entwicklung dar. Für dessen betriebssichere Umsetzung in eine wirtschaftlich nutzbare Anlage ist noch erheblicher Forschungsaufwand zu betreiben.
- Die Auswirkungen bei Nutzung einer doppelten Zwischenüberhitzung wurden im Rahmen dieser Studie nicht untersucht, weil die erforderlichen Zusatzinvestitionen erheblich höher sein werden, als durch die zu erwartende Wirkungsgradverbesserung von rund 0,5 %-Punkten wirtschaftlich zu rechtfertigen wäre.

VGB PowerTech e.V. ist ein international tätiger Verband der Erzeuger von Strom und Wärme mit Mitgliedsunternehmen aus 29 Ländern. Gemeinsame Ziele der Mitglieder sind die Steigerung von Wettbewerbsfähigkeit, Sicherheit, Verfügbarkeit und Umweltschutz im Kraftwerksbereich, die Ausbildung des Betriebspersonals und die Weiterentwicklung der Kraftwerkstechnik.