

Cottbus – världens första brunkolseldade PFBC-kraftverk

Världens första brunkolseldade PFBC-kraftverk håller på att byggas i tyska Cottbus. Kraftverket ska utrustas med en standardiserad PFBC-modul (P200) och två gaseldade spetslastpannor. Anläggningen ska drivas enligt kraftvärmekopplingsprincipen och ge maximalt 220 MW termisk effekt och 74 MW elektrisk. PFBC-anläggningen ska ersätta ett äldre kraftvärmeverk och i första hand mata ånga och hetvatten till Cottbus båda fjärrvärmenät. Som bränsle används fluidbäddbrunkol från Lausitz-gruvorna.

Cottbus är en stad med 130 000 invånare, sydost om Berlin, nära polska gränsen. Det gamla kraftvärmeverket är utrustat med fyra konventionella brunkolspannor som maximalt levererar 230 MW termisk effekt och 48 MW elektrisk. Den termiska effekten levereras i form av ånga till det ena av de båda kommunala fjärrvärmenäten. Det andra matas med hetvatten från kraftverket Jänschwalde, 9 km från Cottbus. Båda anläggningarna drivs med lokalt brutet råbrunkol. Eftersom den återstående tillåtna drifttiden för det gamla kraftvärmeverket i Cottbus bara uppgår till 30 000 drifttimmar måste det ersättas senast år 2001.

PFBC-kraftvärmeverket – bästa alternativet

Olika undersökningar har visat att PFBC-tekniken (Pressurized Fluidized Bed Combustion, dvs trycksatt fluidbäddsförbränning) är den optimala lösningen för de lokala förhållandena vid den erforderliga anläggningsstorleken.

Efter offentligt anbudsförfarande fick

ABB Kraftwerke AG i Mannheim i april 1996 uppdraget att uppföra ett nyckelfärdigt PFBC-kraftvärmeverk.

ABB har utvecklat två standardiserade moduler för PFBC-kraftverk; P200 och P800 [1, 2, 3]. P200-modulen används för att bygga kraftverk med 70–100 MW elektrisk uteffekt (en P200-modul) eller kraftverk med 140–200 MW elektrisk uteffekt med hjälp av två P200-moduler och en eller två ångturbiner. P800-modulen ger en elektrisk uteffekt på 350 till 375 MW.

Kraftvärmeverket Cottbus **1** får utöver P200-modulen två gaseldade spetslastpannor. Kraftverket är dimensionerat för en elektrisk uteffekt på 74 MW och en termisk på 220 MW.

Pär Almhem

ABB Carbon AB

Wolfgang Schemenau

ABB Kraftwerke AG

Den av ABB utvecklade PFBC-tekniken har fördelen av fyra kommersiellt och tekniskt beprövade referensanläggningar i effektklassen 80 MWe (P200), placerade i olika delar av världen. En P800-modul med den elektriska uteffekten 360 MW är för närvarande under byggnad.

För kraftvärmeverket Cottbus har PFBC-tekniken, med hög verkningsgrad och låg miljöbelastning, bedömts vara det bästa alternativet, eftersom det är frågan om en mogen teknik som erbjuder optimalt utnyttjande av lokalt bränsle. Detta har även stor betydelse för arbets-tillfällen inom regionen.

Den avancerade tekniken att omvandla brunkol till elektrisk ström förstärker samtidigt staden Cottbus position som utvecklingscentrum inom tekniken för brunkolshantering.

Projektet

PFBC-kraftvärmeverket Cottbus **2** utrustas med en P200-modul i kombination med en högtrycksångturbין samt en mellan- och lågtrycksångturbין. Modulen består av en gasturbין, speciellt utvecklad för P200-anläggningar **3**, här kopplad till en trycksatt fluidbäddspanna för ånggenerering. Ångan utnyttjas först för att generera ström i ångturbיןaggregaten och leds därefter vidare in i fjärrvärmenätet. Förutom P200-modulen är anläggningen utrustad med två gaseldade ångpannor. De täcker spetsbehovet under perioder med hög förbrukning och fungerar även som reservaggregat (*tabell 1*).

Anläggningen i Cottbus levereras nyckelfärdig inom ramen för ett generalentreprenörsavtal som omfattar gräv- och sprängarbeten, byggnadsarbeten, fjärrvärmeanslutning, lagring av kol och absorbent, transportsystemen samt alla elektriska system och styrsystem. Konsortiet leds av ABB Kraftwerke AG i Mannheim. Svenska ABB Carbon levererar PFBC-utrustningen med panna, gas-

turbin och hjälpsystem. De båda ångturbinerna, typ G32 och VEE63, tillverkas av ABB Turbinen Nürnberg GmbH. De arbetar med separata generatorer för maximal flexibilitet. El- och styrsystemen levereras från ABB Cottbus.

Samtidigt med byggnadskontraktet har ett långsiktigt serviceavtal slutits. ABB Kraftwerke Service GmbH i Mannheim ska under 15 år utföra förebyggande underhållsarbete och leverera alla nödvändiga reservdelar för översynerna under denna period. Serviceavtalet omfattar även tillhandahållande av drift- och underhållskonsulter samt tillgång till kompletterande tjänster från ABBs specialister.

Byggnadsarbetet inleddes hösten 1996. Anläggningen ska sättas i kommersiell drift sommaren 1999.

Estetisk utformning

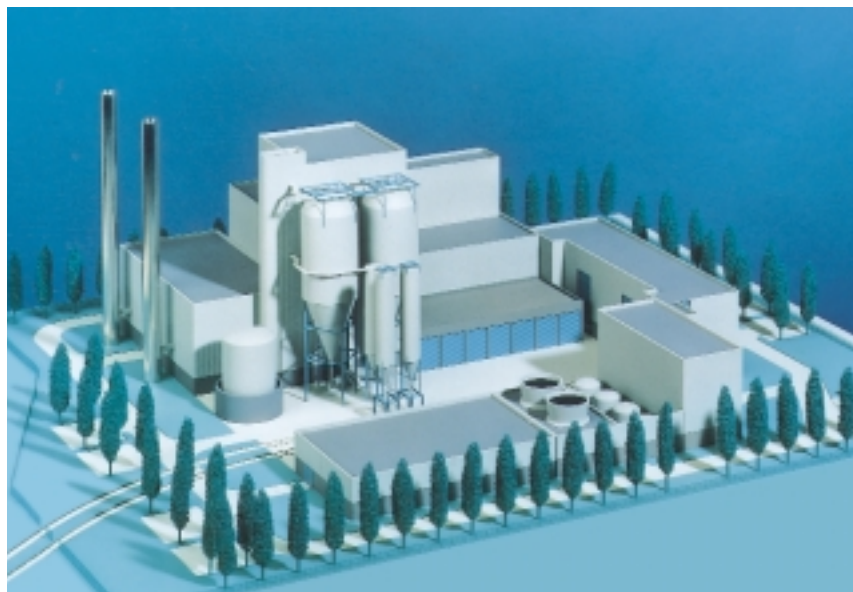
Redan under inledningen av planeringsfasen har arkitekter och stadsplanerare ägnat stor uppmärksamhet åt projektet.

Anläggningsplatsen ligger i ett industriellt och kommersiellt område, bara 2 km från floden Spree som genomflyter staden i riktning från söder mot norr. Området omges av bostadsbebyggelse.

Ur stadsplaneringssynpunkt måste anläggningen göras kompakt och estetiskt tilltalande. Detta innebär:

- att den befintliga anläggningsplatsen måste utnyttjas,
- att byggnaderna inte får bli så höga att utsikten från de intilliggande husen inskränks,
- att anläggningen måste få en diskret men tilltalande utformning,
- att alla emissioner (inklusive akustiska) måste ligga väl inom gällande gränsvärden.

Platsen för den nya anläggningen är i omedelbar anslutning till det befintliga kraftvärmeverket. Tomten är i det närmaste kvadratisk med måtten 165 x 185 m. Anläggningens olika huvudkomponenter, som panna, gasturbin, ångturbiner och kolsilos måste av tekniska skäl pla-



Modell av PFBC-kraftvärmeverket i Cottbus.

Kraftverket är dimensionerat för en elektrisk uteffekt på max 74 MW och en termisk på 220 MW.

1

ceras i ett bestämt förhållande till varandra 4. Transformatorerna, stofffiltren, hjälppannorna, ställverksbyggnaderna,

vattenberedningsanläggningen och kyltornen kan även dessa placeras inom ett hårt begränsat utrymme.

**Tabell 1:
Tekniska data för PFBC-kraftverket i Cottbus**

Kombiprocessdata

Anläggningstyp	1 x P200, kraftvärmekoppling
Gasturbin	1 x GT35P
Ångturbiner	1 x G32 + 1 x VEE63
Nettouteffekt	71 MWe/ 40 MWth (låg värmeproduktion) 62 MWe/ 90 MWth (hög värmeproduktion) 74 MWe/220 MWth (+ spetslastpanna)

Driftdata vid fullast, 15 °C

Bränsle	– PFBC-modul	Lausitz-brunkol för fluidbäddsförbränning
	– Spetslastpanna	Naturgas eller bränslenolja av typ EL
Kolinmatningssystem		Torr inmatning
Tillförd kolmängd (kg/s)		11,3
Sorbent,	Typ	Kalk
	Mängd (kg/s)	1,0
Askmängd (kg/s)		1,8
Förbränningstemperatur (°C)		840–860
Ångdata (bar/°C/°C)		142/537/537
Kondensortryck (bar)		0,07

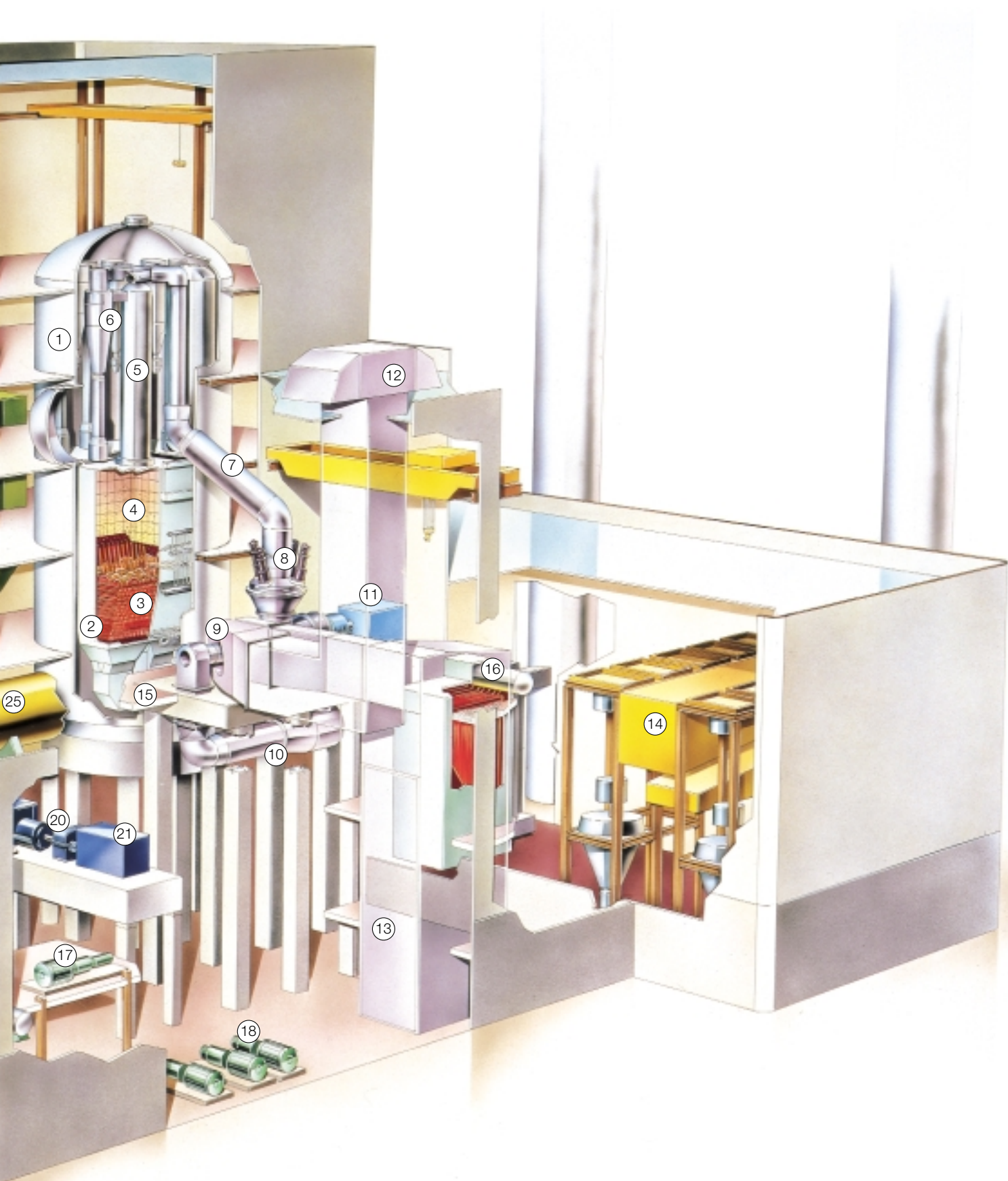
Garanterade emissionsvärden (veckomedelvärde)

SO ₂ (mg/Nm ³ , 7% O ₂)	115
NO _x als NO ₂ (mg/Nm ³ , 7% O ₂)	115
CO (mg/Nm ³ , 7% O ₂)	50
Stoft (mg/Nm ³ , 7% O ₂)	20
Maximal kolhalt i askan (%)	5

Genomskärning av PFBC-kraftverket i Cottbus med en P200-modul**2**

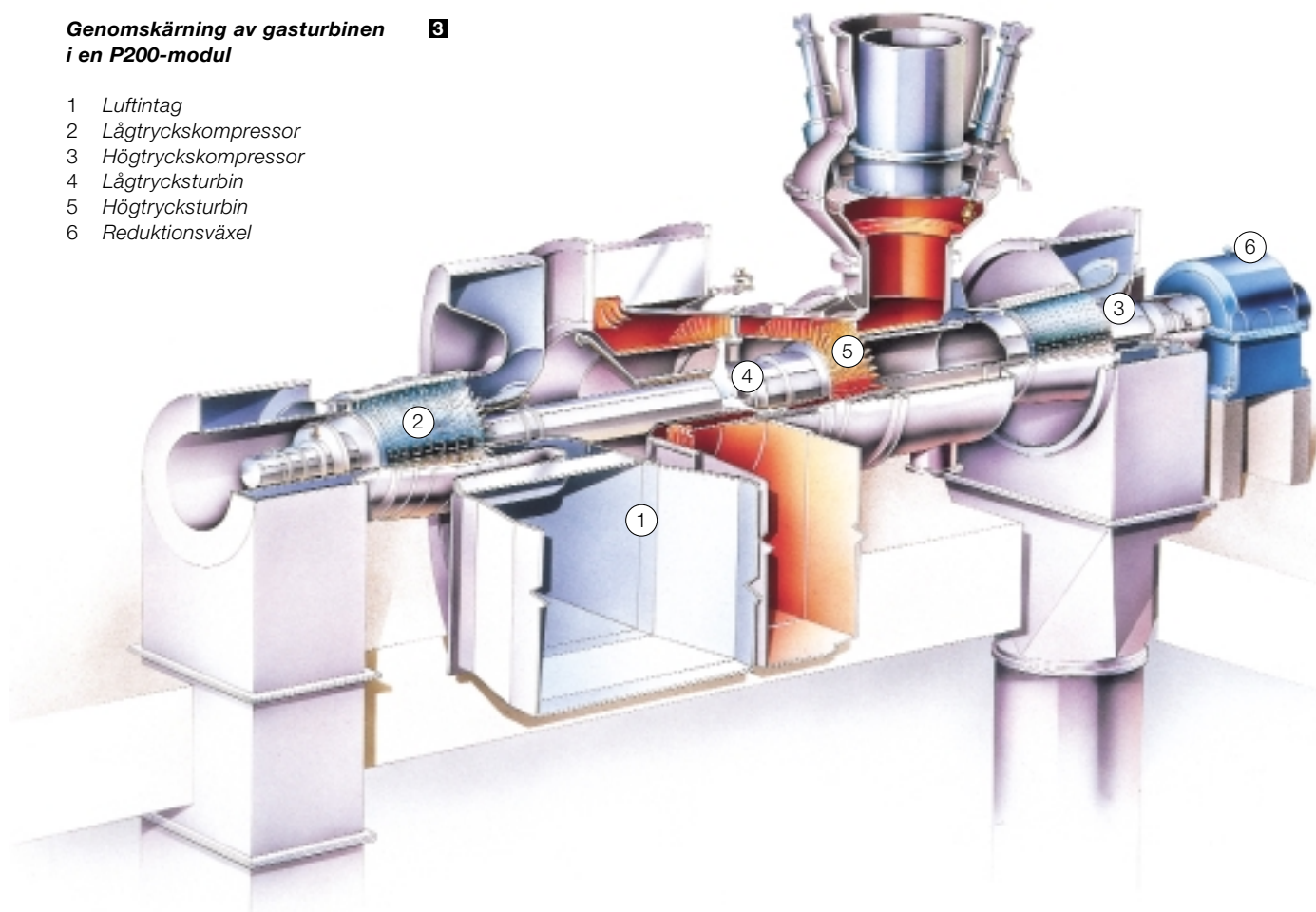
- | | |
|-------------------------------|--|
| 1 Trycksatt fluidbäddspanna | 16 Spetslastpanna |
| 2 Fluidbädd | 17 PFBC-matarvattenpumpar |
| 3 Ånggeneratorrör | 18 Matarvattenpumpar för spetslastpannor |
| 4 Fribord | 19 Hetvattenpumpar |
| 5 Centralrör | 20 Högtrycksångturbin |
| 6 Cykloner | 21 HT-generator |
| 7 Koaxialt luft- och gasrör | 22 Mellan- och lågtrycksångturbin |
| 8 Interceptventil | 23 MT- och LT-generator |
| 9 Gasturbin | 24 Kondensor |
| 10 Mellankylare | 25 Matarvattentank |
| 11 Gasturbingenerator | 26 Hetvattentank för fjärrvärme |
| 12 Luftintag till gasturbinen | 27 Hjälpkondensor |
| 13 Värmeväxlare | 28 Kontrollrum |
| 14 Rökgasfilter | |
| 15 Bäddaskutmatning | |





Genomskärning av gasturbinen i en P200-modul 3

- 1 Luftintag
- 2 Lågtryckskompressor
- 3 Högtryckskompressor
- 4 Lågtrycksturbin
- 5 Högtrycksturbin
- 6 Reduktionsväxel



De befintliga stickspåren kommer väl till pass för leverans av kraftverkets huvudkomponenter liksom senare för leverans av bränsle och bortforsling av aska. Lastnings- och lossningsanordningarna avskärmade optiskt och akustiskt genom en atriumkonstruktion för att inte bli störande för omgivningen.

Driftsätt

Det nya PFBC-kraftvärmeverket har förstahandsuppgiften att täcka värmebehovet i staden Cottbus fjärrvärmenät. Trots detta har verket även utrustats med kondensor och kyltorn för att tillåta kraftgenerering under perioder när fjärrvärmebehovet är lågt. P200-modulen kommer att vara i drift mer än 7000 timmar per år, medan spetslastpannorna (olje- eller gaseldade) sannolikt bara används några hundra timmar om året.

Eftersom kraftvärmeverket ska utrustas med distribuerat styrsystem från ABB som utmärks av hög automationsgrad och effektivt operatörsstöd, krävs inte mer än ca 5 personer per skift för driften av anläggningen.

PFBC-kraftverk för brunkol

Brunkolets betydelse för energiframställning

Brunkol är ett av de viktigaste bränslena för kraftgenerering i Tyskland och Östeuropa och så förblir fallet även under förutsebar framtid. Många befintliga anläggningar, framför allt i östra Tyskland och i Östeuropa, är föråldrade och måste efter hand ersättas eller moderniseras. Av ekonomiska och transporttekniska skäl utnyttjas inhemska bränslen i ökande

grad. I anläggningar där brunkol redan används intensivt önskar kraftbolagen använda samma bränsle även efter modernisering eller nybyggnad. I många länder finns det stora outnyttjade brunkolsreserver, bl.a. i Kina, USA, Storbritannien, Nya Zeeland och Australien.

Brunkol är ett geologiskt ungt kol med lågt energiinnehåll och en fukthalt mellan 35 och 70 %. Brunkol har ofta hög ask- och svavelhalt. Den höga ytfuktigheten leder lätt till sammanbakning av kolet. Detta, i kombination med brunkolets höga reaktivitet och lättantändlighet, har ofta lett till hanteringssvårigheter.

Välkända problem är korrosion, hög emission av kväveoxider, svaveloxider, lustgas, koloxid och oförbrända kolväten samt anhopning och sammanbakning av aska. PFBC-tekniken erbjuder en lösning på dessa problem genom sin låga för-

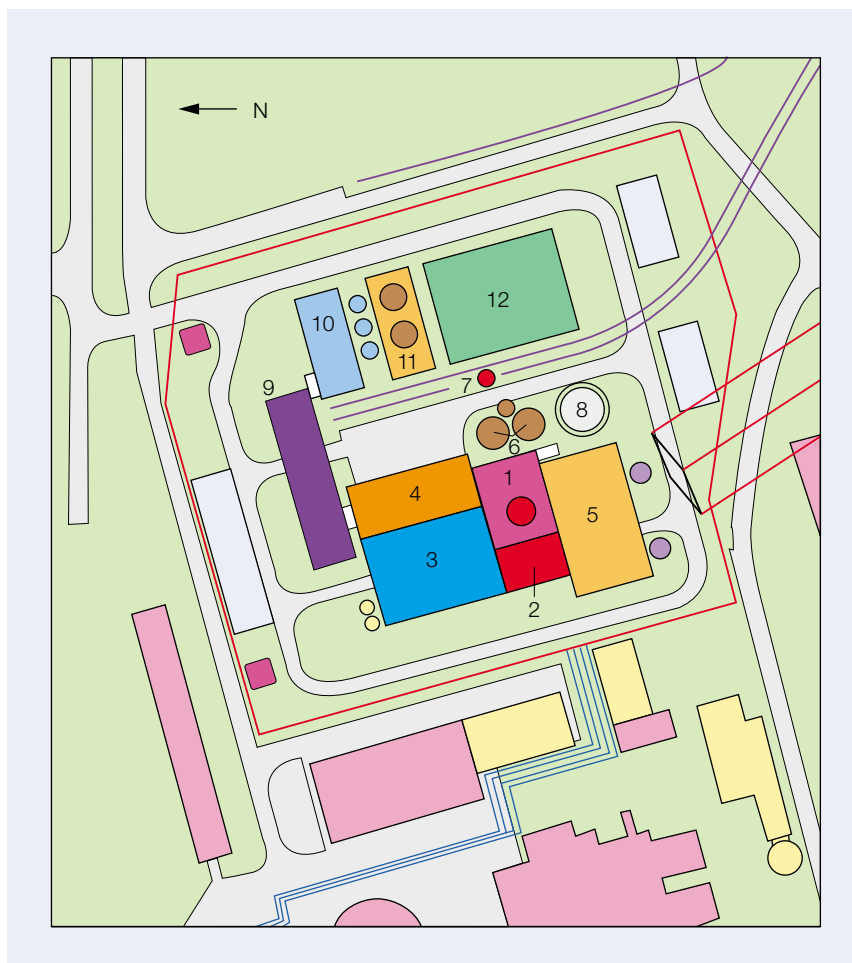
bränningsstemperatur (ca 850 °C i jämförelse med över 1300 °C i konventionella pannor) och utmärkt bränsleblandning i fluidbädden. Den låga förbränningsstemperaturen motverkar bildningen av termiska kväveoxider och reducerar problemen med anhopning och sammanbakning av aska.

Hittills har brunkol i första hand använts i kolpulvereldade anläggningar. Sedan 1988 har brunkol emellertid även utnyttjats i fluidbäddsanläggningar. Här har i första hand brunkol från Rhen-området använts. De anläggningar som hittills byggts arbetar med stationär eller cirkulerande fluidbäddsförbränning under atmosfärstryck. Verkningsgraden ligger ännu så länge klart under 40 %.

PFBC-anläggningar ger högre verkningsgrad

Vid sidan om den konventionella högvärmdiga ångprocessen leds de heta gaserna som bildas vid förbränningen i fluidskiktet genom ett reningssteg och därefter till en gasturbin som genererar elkraft. I ett PFBC-kraftverk genererar ångturbinen ca 80 % av den elektriska energin, medan gasturbinen står för ca 20 %. På detta sätt uppnås verkningsgrader överstigande 40 %.

Kraftvärmekopplingen tillåter högeffektiv och kostnadseffektiv energiomvandling för produktion av elkraft, fjärrvärme och processånga. PFBC-anläggningar har den ytterligare fördelen av att de är



Situationsplan för PFBC-kraftverket i Cottbus

4

- | | |
|---|---|
| 1 PFBC-combustor | 7 Asksilo |
| 2 Gasturbinbyggnad | 8 Brännoljetank |
| 3 Maskinhus för ångturbin | 9 Administrationsbyggnader, elsystem och styrsystem |
| 4 Högspänningsställverk och transformatorer | 10 Vattenberedning |
| 5 Filter- och hjälppannhus | 11 Kyltorn |
| 6 Silos för brunkol och absorbent | 12 Verkstad och lager |

kompakta och därför lämpar sig särskilt väl för modernisering av befintliga kraftverk. Tack vare låga emissionsvärden kan PFBC-kraftverk uppföras i närheten av bostadsområden. Emissionerna från PFBC-kraftverk underskrider gällande gränsvärden.

Eftersom kolets askhalt inverkar på kraftverkets konstruktion måste bränslet definieras innan konstruktionsarbetet inleds. PFBC-anläggningen i Cottbus är anpassad för Lausitz-brunkol (tabell 2, faktaruta 1).

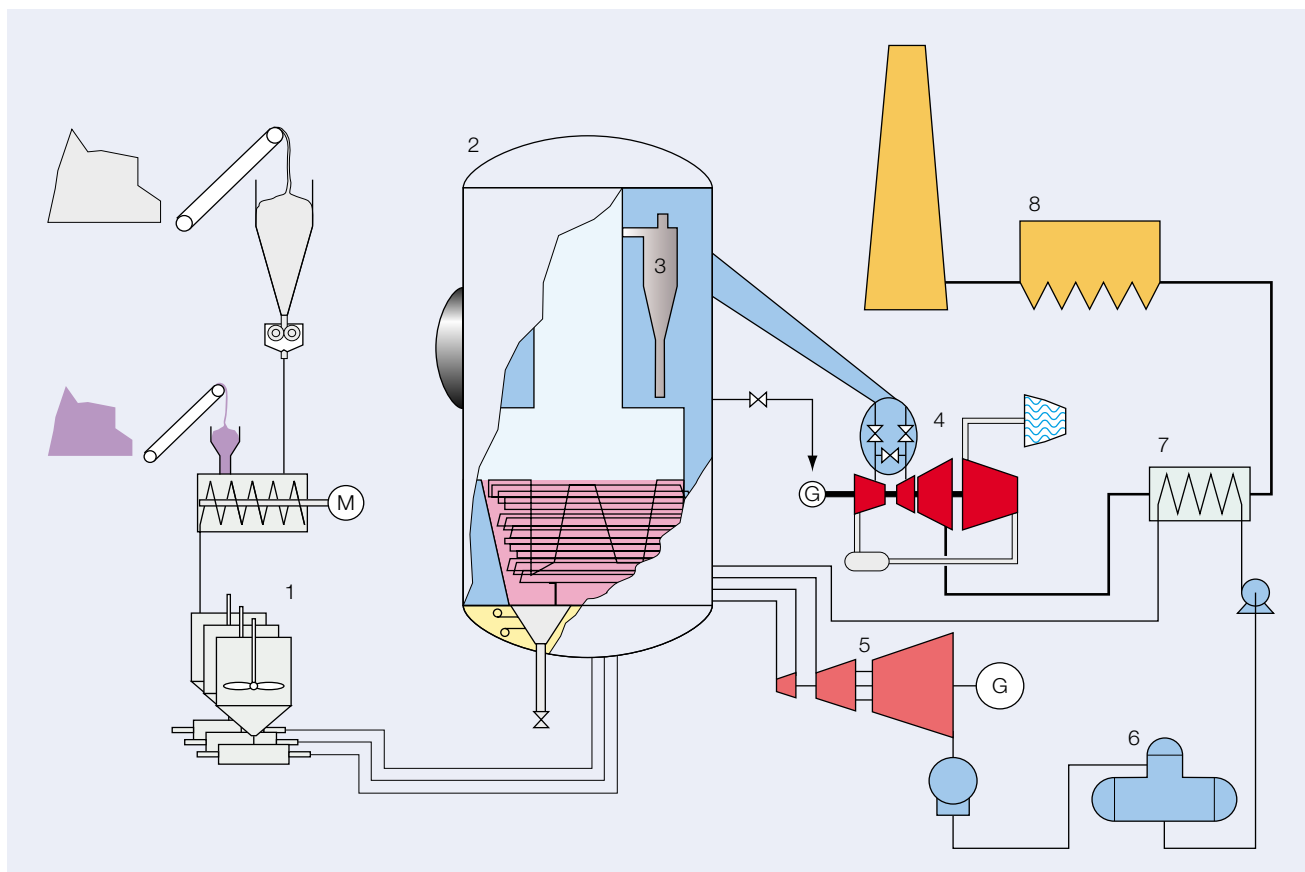
Försök med PFBC-förbränning av brunkol

I juli och augusti 1995 testades Lausitz-brunkol i ABB Carbons testanläggning i Finspång. Syftet med testet var att prova möjligheterna att använda brunkol i en PFBC-anläggning. Vidare att definiera eventuella driftproblem samt att fastställa fullast- och dellastegenskaper vid kontinuerlig drift.

Testen var framgångsrika. Inga problem uppstod vid eldning med Lausitz-brunkol och de förväntade låga emis-

Tabell 2:
Analys
av Lausitz-brunkol
(långtidsmedelvärde)

Undre värmevärde (kJ/kg)	19 000
Vatten (%)	18,5
Aska (%)	5,5
Flyktiga ämnen (%)	41
Fast kol (%)	34,5
Svavel (%)	<0,8



Anläggningsprincip för ett kraftverk med trycksatt fluidbäddsförbränning och kombiprocess

5

- 1 Bränsle- och sorbentblandning
2 Trycksatt fluidbäddspanna
3 Cyklon

- 4 Gasturbinaggregat
5 Ångturbinaggregat
6 Matarvattentank

- 7 Värmeväxlare
8 Rökgasfilter

sionsvärdena kunde bekräftas. Trots kolets höga reaktivitet uppstod inga problem med sammanbakning av aska.

Anläggningskonfiguration och funktion

5 visar grundprincipen för ABBs kraftverk med trycksatt fluidbäddsförbränning. Ca 80 % av den elektriska energin kommer från ångturbinerna och ca 20 % från gasturbinen. I fluidbäddspannan är trycket vid fullast 12 bar. Genom att kombinera två eller flera av de tidigare nämnda modulerna kan större anläggningar byggas.

6 visar vatten-/ångkretsloppet i PFBC-kraftverket i Cottbus. Det förvärmade matarvattnet strömmar genom rör i brännkammarens väggar, genom värme-

växlaren, genom förångaren och genom överhettaren. Den genererade färskångan expanderar i högtrycksångturbinen, leds vidare genom mellanöverhettaren och därifrån till mellantrycks- och lågtrycksturbinerna. Slutligen kondenseras ångan till vatten i kondensorn och cirkeln är sluten.

Kombiprocesser, där både gas- och ångturbiner används, har högre termisk verkningsgrad än konventionella ångkraftverk. För PFBC-processen uppgår förbättringen till mellan 3 och 4 procentenheter om randvillkoren i övrigt är oförändrade. Detta motsvarar en bränslesparning på ca 10 %. I befintliga ångkraftverk, när äldre pannor med dåliga ångdata i byts ut mot PFBC-moduler, kan större verkningsgradstegringar uppnås.

Fluidbäddspannor kan eldas med vitt skilda bränslekväligheter. Svavelemissionen reduceras med 90 till 98 % redan i förbränningssteget. Eftersom förbrännings Temperaturen är relativt låg (830–860 °C), är även kväveoxidemissionen låg och kan sänkas ytterligare med hjälp av icke-katalytisk reduktion.

Kolet och absorbenten (kalksten eller dolomit) kan krossas i kolkrossar, blandas till lämplig kol-/sorbent-fördelning och föras in i brännkammaren på pneumatisk väg.

Förbränningsluften till processen förkomprimeras i gasturbinens lågtryckskompressor. Luften kyls i en mellankylare och leds därefter till högtryckskompressorn. Genom mellankylningen sänks lufttemperaturen efter högtryckskompres-

sorn till under 300 °C, och tryckkärlet behöver därför inte dimensioneras för extremt höga temperaturer. Tryckluften leds från högtryckskompressorn genom det yttre av två koncentriska rör till tryckkärlet. Luften fungerar här som fluidiserings- och förbränningsluft för fluidbädden och strömmar efter förbränningen, i form av hetgas, först in i fribordsutrymmet ovanför fluidbädden. Därifrån leds förbränningsgaserna genom parallellkopplade tvåstegscykloner som avskiljer flygaska. Den reade gasen strömmar därpå genom det inre av de koncentriska rören i

tryckkärlet till gasturbinen som, förutom kompressorerna, driver en generator. Efter att ha lämnat gasturbinen leds rökgasen till värmeväxlaren där den kyls till mellan 140 och 150 °C. Det resterande stoffet avskiljs i slangfilter. Den reade rökgasen går slutligen genom skorstenen ut i det fria.

Askan från PFBC-processen

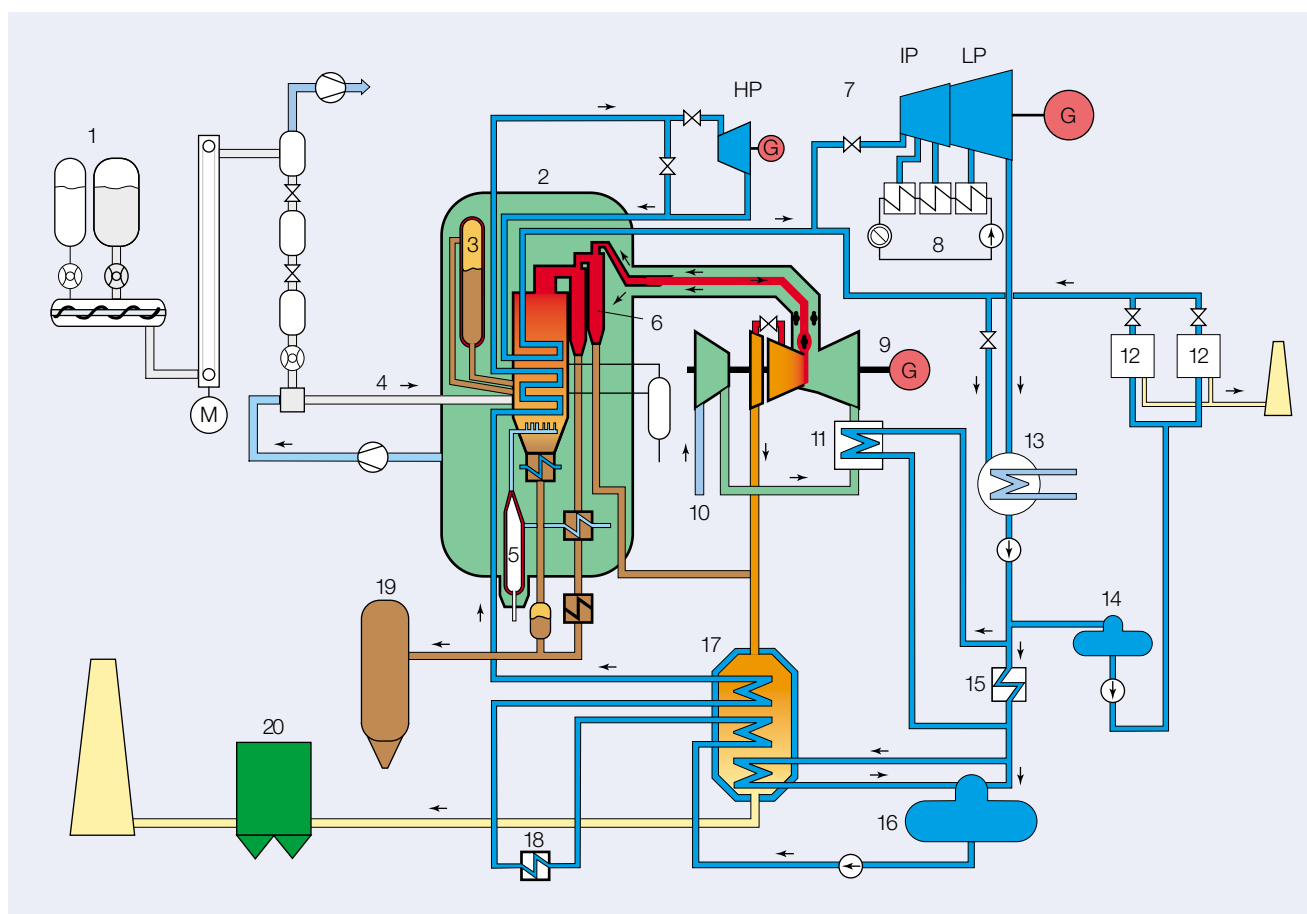
I PFBC-processen uppstår dels flygaska, avskild av cykloner och slangfilter, dels bäddaska, som via ett transportsystem

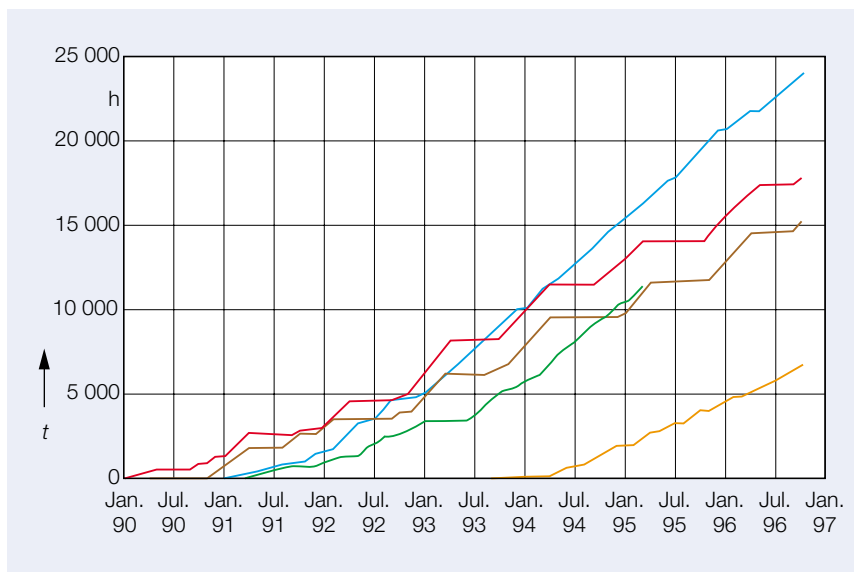
inne i brännkammaren förs ut genom bäddens botten. Tack vare den låga förbränningstemperaturen i den trycksatta fluidbäddspannan smälter inte askan. I fluidbädden är kontakten mellan de olika ämnena mycket god, något som ökar förbränningsverkningsgraden. Därför är halten oförbränt kol i PFBC-askan mycket låg. Askan kan utan problem lagras även under lång tid. Bäddaskan kyls med matarvattnet, tryckutjämnas och transporteras till asksilo. Flygaskan avskiljs från rökgasströmmen i två cyklonsteg och med hjälp av slangfilter. På detta sätt

Vatten-långkretslopp i PFBC-kraftverket i Cottbus

6

- | | | |
|---|-------------------------|------------------------|
| 1 Siloer för brunkol och absorbent | 8 Cottbus fjärrvärmenät | 16 Matarvattentank |
| 2 Tryckkär | 9 Gasturbin | 17 Värmewäxlare |
| 3 Lagertub för bäddmaterial | 10 Luftintag | 18 Högtrycksförvärmare |
| 4 Bränsleinmatning | 11 Mellankylare | 19 Asksilo |
| 5 Bäddförmare | 12 Spetslastpanna | 20 Rökgasfilter |
| 6 Cyklon | 13 Kondensor | |
| 7 Högtrycks-, mellantrycks- och lågtrycks-ångturbiner | 14 Hjälpmatarvattentank | |
| | 15 Lågtrycksförvärmare | |





Drifttimmar för de PFBC-kraftverk som för närvarande finns installerade

7

Blå Escatrón, Spanien
 Röd Värtaverket P4, Sverige
 Bun Värtaverket P5, Sverige

Grön Demoanläggningen Tidd, USA
 Orange Wakamatsu, Japan

bildas de tre fraktioner som tillsammans benämns "cyklonaska".

Den totala askhalten i det brunkol som används i Cottbus uppgår till mellan 5 och 6%. Tidigare var det förbundet med höga kostnader att ta hand om askan från brunkolsförbränning i virvelbäddsanläggningar. Restprodukterna från PFBC-förbränning kan däremot återanvändas på ett effektivt sätt, något som har en positiv inverkan på såväl miljö som driftekonomi.

Så som visas i en senare artikel kan PFBC-aska blandas med vatten och vibrokompakteras till ett betongartat material med hög styvhet och låg permeabilitet. Detta material kan användas som syntetiskt grus vid vägbyggnad, stabiliseringsmaterial, fyllnadsmaterial, tätande skikt i avfallsdeponier, tillverkning av betongkomponenter osv.

Drifterfarenheter med PFBC-kraftverk

ABB utvecklade PFBC-tekniken i nära samarbete med olika kraftbolag under

slutet av 70-talet. Följande anläggningar har tillsammans lagt mer än 75 000 drifttimmar bakom sig:

- Värtaverket i Stockholm
- Tidd, USA
- Escatrón, Spanien
- Wakamatsu, Japan

Därmed finns redan omfattande drifterfarenheter med PFBC-tekniken [7] [2, 3, 4]. Den första anläggningen i effektklassen 360 MWe (P800) håller på att byggas i Japan. De drifterfarenheter med vitt skilda typer av kol som står till förfogande har påvisat värdet med ABBs PFBC-teknik och visat att den kan tillämpas utan problem.

Särskild tillgänglighetsstatistik förs i Värtaverket och vid Escatrón. Dessa anläggningars tillgänglighet har ökat stadigt.

Referenser

- [1] Kraemer, W.: PFBC - framtidens kol-kraftteknik. ABB Tidning 5/89, 3-10.
- [2] Lofe, J. J.; Almhem, P.: PFBC-kraftverk med 750 MWe utteffekt för driftsäker, ren och högeffektiv elproduktion. ABB Tidning 4/94, 33-41.
- [3] Schemenau, W.: Druckwirbelschichtfeuerung - fortschrittliche Kohleverstromung mit Betriebserfahrung. BKW 45 (1993) 1/2, 23-28.
- [4] Schemenau, W.; van den Berg, C.: Druckwirbelschichtfeuerungsanlagen - Stand der Entwicklung und Betriebserfahrung mit den laufenden Anlagen. XXV. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden, 19-20 oktober 1993.
- [5] Esser, C.; Kraus, M.: Increasing rationalisation between German utilities. MPS augusti 1995.
- [6] Wirbelschichtkohle - Energie, Umwelt, Mensch: Lausitzer Braunkohle Gesellschaft AG, 1994.
- [7] Almhem, P.; Lofe J. J.: The 750 MW plant, an updated reliability analysis and future trends. ASME 1995.
- [8] Jansson, S. A.: ABB's PFBC technology: operation experience and standard products. EPRI-konferens, oktober 1995.
- [9] Jansson, S.A.; Kemmer, L.; Flodin, E.: Pressurized fluidized bed power plants. Energy '96, Haifa, maj 1996.

Författarnas adresser

Pär Almhem
 ABB Carbon AB
 S-612 82 Finspång
 Fax: +46 (0) 122 158 20

Wolfgang Schemenau
 ABB Kraftwerke AG
 Postfach 100 351
 D-68128 Mannheim
 Fax: +49 (0) 621 381 4909