VA-teknik Södra

Rapport Nr. 07
2017

Reseberättelse från studieresa i Tyskland till reningsverk med termisk slamförgasning

Tobias Hey

Thomas Koch

Jes la Cour Jansen

VA-teknik Södra

Innehåll

Inledning 3
Syfte 3
Besök i Tyskland 3
Anläggningens utformning 6
Drift 9
Mannheim 10
Anläggningsutformning 11
Diskussioner med Sülzle Kopf Syngas i Tübingen 15
Regler och marknadsläget i Tyskland 15
Ekonomi 15
Nya anläggningar 15
Utmaningar för slamförgasning 16
Samarbeten med universitet 17

Inledning

Studieresan är en del av ett projekt om termisk förgasning inom VA-teknik Södras fokus-grupper *Framtidens avloppsvattenrening* och *Energi och Resurshushållning* samt en del av ett projekt i den danska Energistyrelsens energiteknologiska utvecklings- och demonstrations-program (EUDP) *10 MW pressurised gasification*. TK Energy ApS ska inom det senare projektet utvärdera potentialen för en suspensionsförgasare vilken ska användas för biomassa av låg kvalitet, exempelvis slam från avloppsreningsverk.

Studieresan omfattade besök på två anläggningar i Baden-Württemberg i Tyskland och ett besök på företaget Sülzle Kopf Syngas i Tübingen, som har byggt anläggningarna och fortsatt utveckla teknologin. Resan gjordes 1–2 december 2016.

Projektgruppen för studieresan bestod av följande personer:

Jes la Cour Jansen (LTH)
Tobias Hey (VA SYD)
Thomas Koch (TK Energy ApS)
Corentin Porte (TK Energy ApS)

Fotograf är Jes la Cour Jansen där inget annat anges.

Syfte

De två första fullskaleanläggningarna i kommersiell drift för förgasning av slam från avloppsreningsverk finns i Tyskland. Genom att ta del av erfarenheter från dessa kan värdefulla kunskaper överföras till Sverige och Danmark.

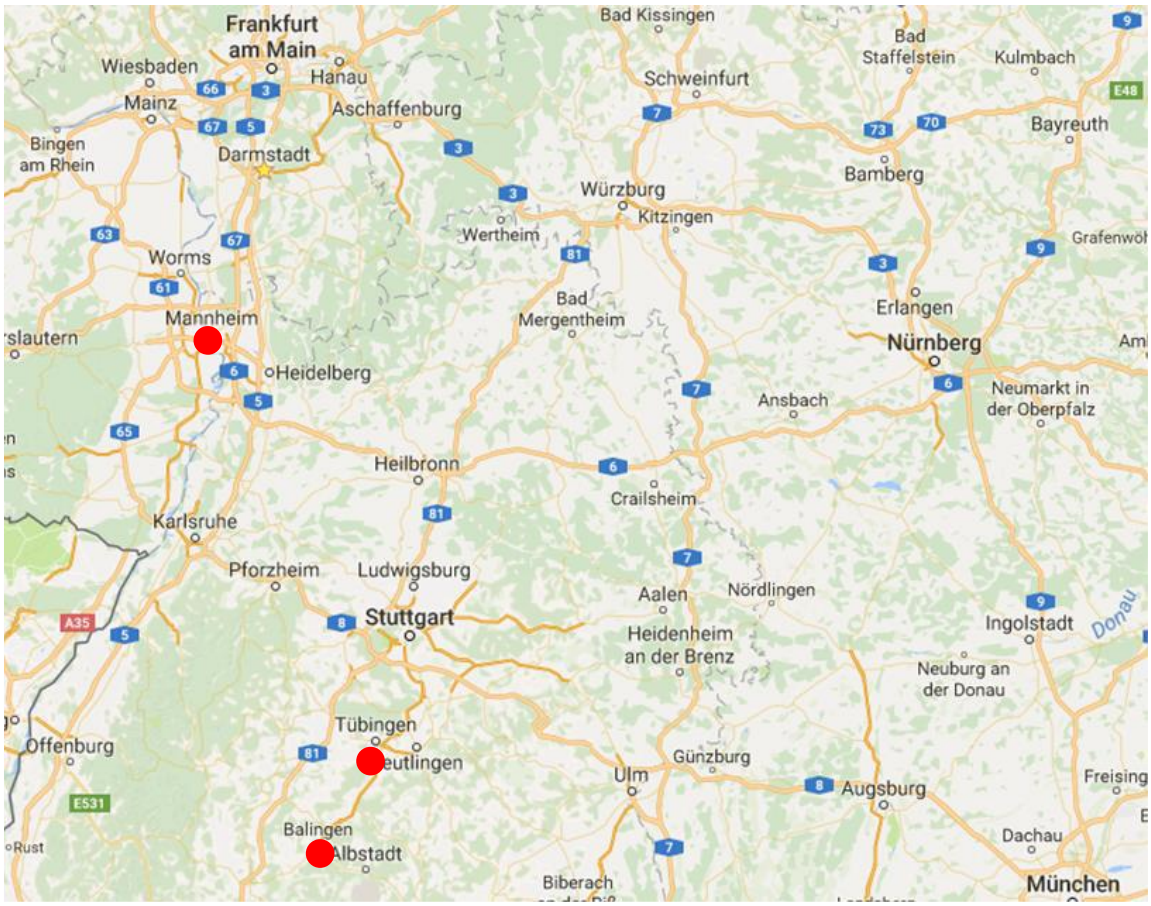
Studieresan utgör en beskrivning av dessa två anläggningar, vilka är de enda i världen som drivs med termisk förgasning av slam på kommunala avloppsreningsverk, samt återger ett besök hos företaget Sülzle Kopf Syngas som har utvecklat teknologin. Studieresan ska ses i samband med projektet *Termisk förgasning av slam – en utvärdering av existerande teknik* som utförs av VA-teknik vid Institutionen för kemiteknik, LTH, inom ramen för Svenskt Vattens högskolekluster VA-teknik Södra.

Besök i Tyskland

Besöken genomfördes 1–2 december 2016 med utgångspunkt från staden Tübingen.

Den 1 december besöktes avloppsreningsverket i Mannheim där Dr. Johannes Judex från Sülzle Kopf Syngas var vår värd.

Den 2 december inleddes dagen med ett besök på Sülzle Kopf Syngas kontor i Tübingen och efter besöket där fortsatte vi till avloppsreningsverket i Balingen. Vid besöket på Sülzle Kopf Syngas kontor deltog Dr. Stephan Mey, CEO, Dr. Johannes Judex, CTO och Pascal Ackermann, CSO. Dr. Stephan Mey gav en guidad rundvandring på avloppsreningsverket i Balingen. Vi hälsade också helt kort på driftschefen Herr Sauter. Figur 1 visar besöksplatserna.



Figur 1. Anläggningarna i Mannheim och Balingen samt Sülzle Kopf Syngas kontor i Tübingen. (Mapp data ©2017 GeoBasis-DE/BKG (©2009).Google.)

Avloppsanläggningen i Balingen är ett kommunalt ägt avloppsreningsverk som drivs av Zweckverband Abwasserreinigung Balingen, vilket är ett interkommunalt förbund bestående av staden Balingen och fyra grannkommuner. Anläggningen är dimensionerad för 124 000 PE. Det är en traditionell fördenitrifikations-anläggning med biologisk fosforavskiljning. Rejektvatten från rötkammaren behandlas i en DEMON™-anläggning för att reducera anläggningens ammoniumbelastning. Slammet avvattnas i en kammarfilterpress innan det leds till behandling i den kombinerade torknings- och förgasningsanläggningen. Vid anläggningen arbetar man mycket med energifrågor och en del av slammet torkas i en anläggning som är baserad på enbart solenergi. Man har också installerat en stor solcellsanläggning för att reducera inköp av el. En turbin använder den sista energin innan utsläpp sker i den lokala ån. Detaljer om anläggningen finns på tyska på hemsidan www.klaeranlage-balingen.de.

Vid vårt besök var förgasningsanläggningen inte i drift då avgångsröret från cyklonen, vilket tar bort flygaskan från gasen, hade gått sönder efter 16 års drift. Figur 2 är en flygbild av avloppsanläggningen och figur 3 är en bild på förgasningsanläggningen.

Figur 2. Avloppsreningsverket i Balingen. Förgasningsanläggningen är markerad med en röd cirkel. (Mapp data ©2017 GeoBasis-DE/BKG (©2009). Google).

Figur 3. Förgasningsanläggningen vid avloppsreningsverket i Balingen.

Slamförgasningsanläggningen uppfördes år 2000 som en testanläggning för reningsverket. År 2010 utökades kapaciteten till det dubbla för att ha en kapacitet att behandla allt slam som beräknades produceras på avloppsreningsverket år 2016.

Kommunen driver anläggningen i dag och står för driftskostnader. Andra kommuner runt Balingen levererar avvattnat rötat slam för behandling på anläggningen.

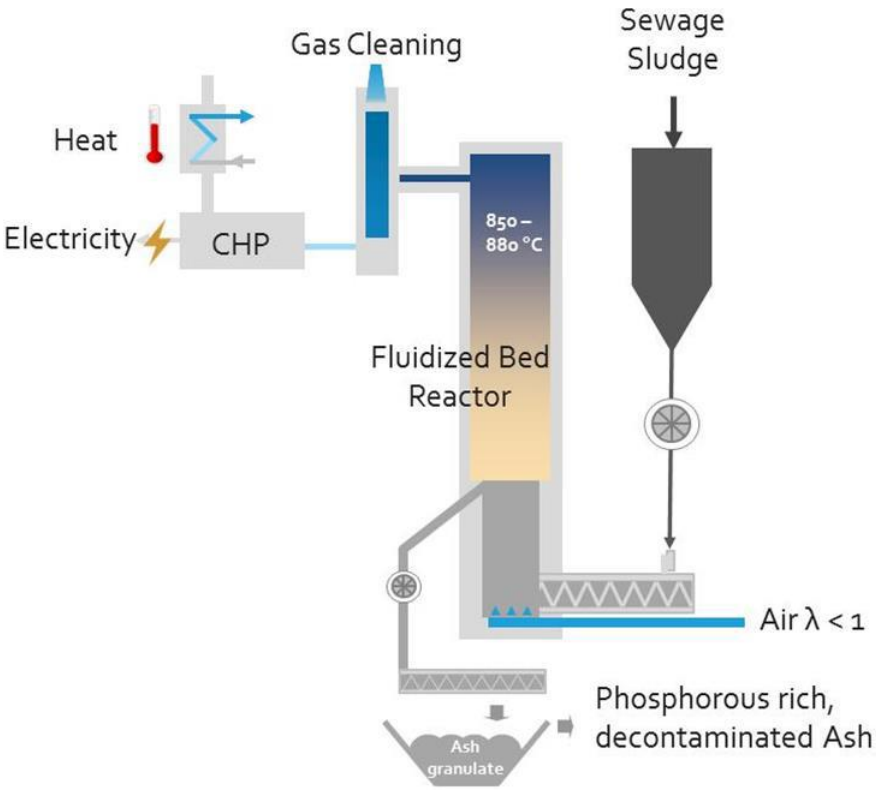
Sülzle Kopf Syngas beskriver anläggningen som en testanläggning, något som också visas av det totalt sett låga antalet driftstimmar. Tabell 1 visar anläggningens huvuddata.

Tabell 1. Huvuddata för anläggningen i Balingen som angivits av Sülzle Kopf Syngas.

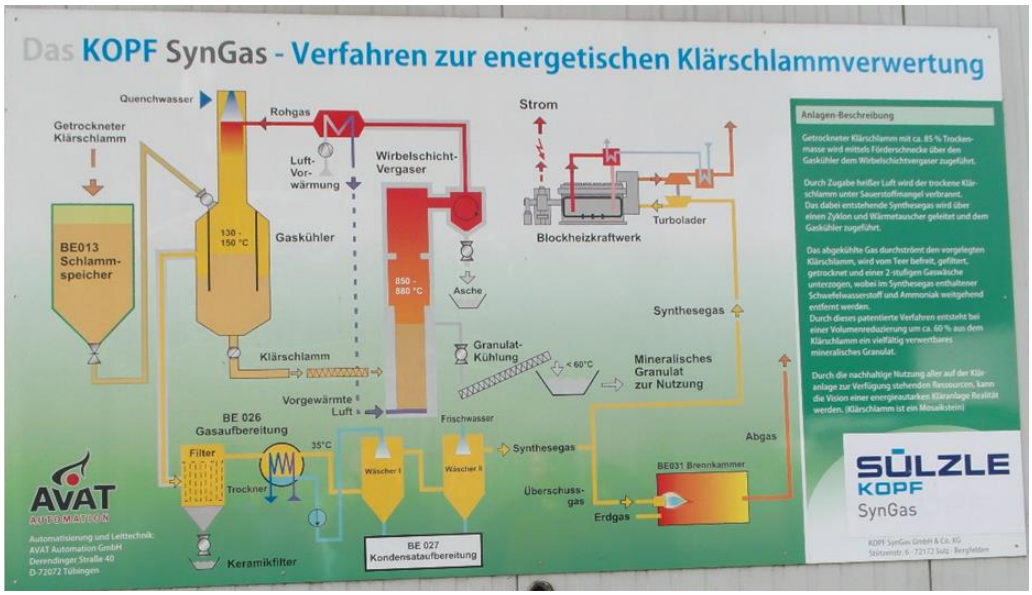
Kapacitet	2 300 t TS/år (2000) 4 600 t TS/år (från 2010)
Driftstimmar totalt sedan år 2000	20 000 h
Värmeproduktion i drift	250 kW
Elproduktion i drift	75 kW (inte i drift, all gas går till värmeproduktion)

Anläggningens utformning

Anläggningen bygger på förgasning av torkat rötslam i en fluidiserad bädd-förgasare. Huvudprinciperna visas i processchemat i figur 4 (på engelska) och i det lite mer detaljerade schemat i figur 5 (på tyska). Dessa är desamma för anläggningarna i Balingen och Mannheim.



Figur 4. Processchema från anläggningen i Balingen.



Figur 5. Detaljerat processchema från anläggningen i Balingen.

Det torkade slammet leds till en kombinerad gaskylare och värmeväxlare där gasen från förgasaren kyls samtidigt som det inkommande slammet värms upp. Därefter matas slammet in i botten av den fluidiserad bädd-förgasaren med en skruv.

I förgasaren behandlas slammet med syreunderskott ($\lambda < 1$) vid en temperatur på 850 - 880°C.

Från toppen av den fluidiserade bädden tas bottenaskan ut. Den innehåller alla oorganiska delar av slammet inklusive fosfor och en mindre del icke omsatt kol samt några tjärkomponenter. De små icke omsatta kolpartiklarna följer med gasen ut till gasreningen där de avskiljs och samlas upp. Denna flygaska har en mycket hög halt av kol inklusive många PAH-föreningar. Flygaskan medför en väsentlig förlust av energi då den inte används till energiframställning utan får i dagsläget deponeras. Den renade gasen används i dag i en panna varifrån värme levereras för anläggningens drift. Gasen är av så god kvalitet att den kan användas i en gasmotor. Figur 6 visar hela anläggningen med samtliga teknikrum till vänster och förgasar-tornet till höger. Figurerna 7, 8 och 9 visar toppen av förgasaren, det trasiga röret på toppen av cyklonen respektive uppsamlingskärlet för flygaskan i Balingen.

Figur 6. Förgasningsanläggningen i Balingen med teknikrum till vänster och förgasaren till höger.

Figur 7. Toppen av förgasaren med reningsverkets rötkammare i bakgrunden.

Figur 8. Det trasiga röret på toppen av den cyklon som avskiljer flygaskan från gasen.

Figur 9. Uppsamlingskärl för flygaska.

Drift

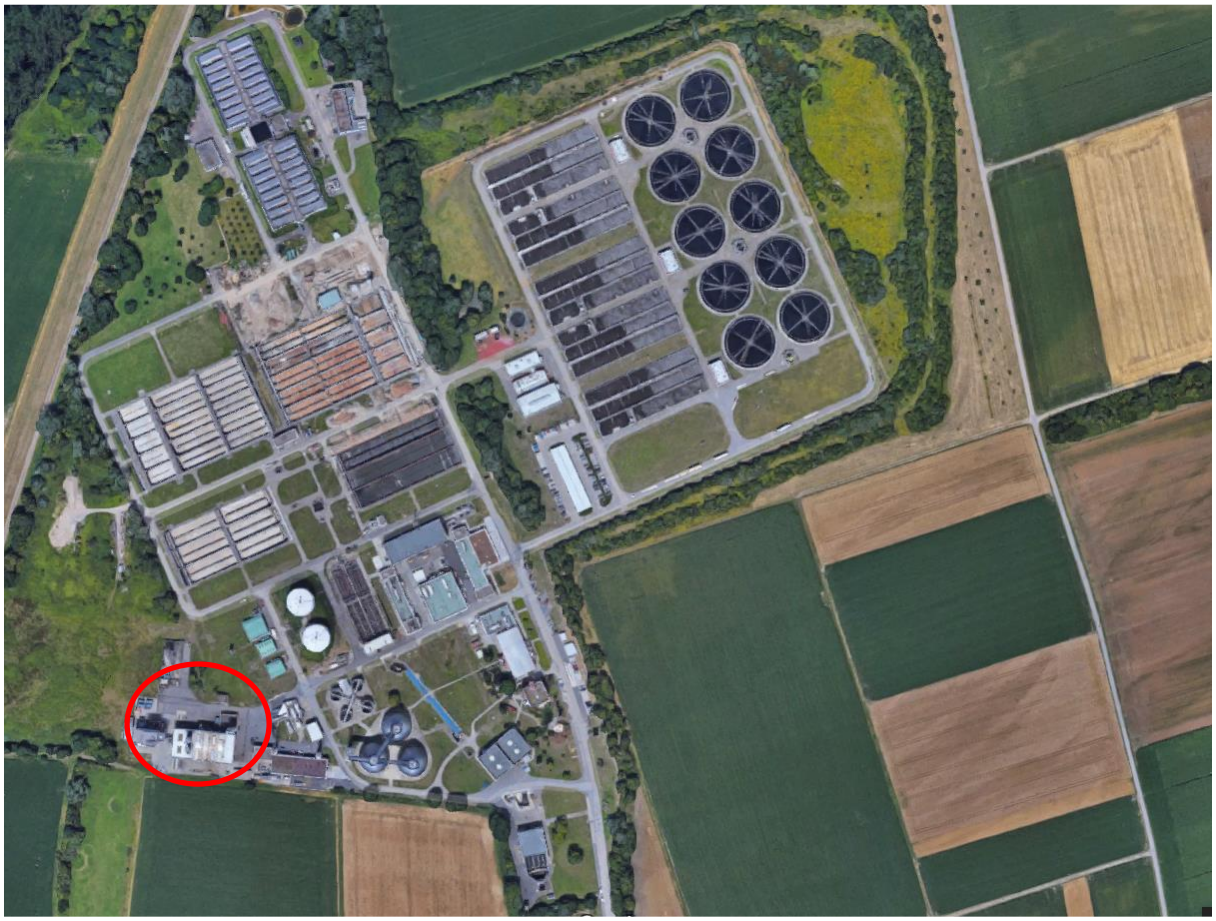
Förgasningsanläggningen i Balingen sköts av reningsverkets ordinarie personal. Vid eventuella problem bidrar Sülzle Kopf Syngas med experthjälp. Driftschefen menade dock att förgasningsanläggningen inte medförde stora problem i den dagliga driften.

Mannheim

Avloppsanläggningen i Mannheim är ett kommunalt ägt avloppsreningsverk som drivs av EBS Mannheim Stadsenwässerung. Anläggningen är dimensionerad för 725 000 PE varav 400 000 kommer från industrier i staden.

Anläggningen är en traditionell fördenitrifikationsanläggning med biologisk fosforavskiljning. Vid anläggningen arbetar man mycket med energifrågor och en stor solcellsanläggning har etablerats för försäljning av el till nätet till ett subventionerat pris. Anläggningen samrötar också slammet med en stor del annat organiskt material för att producera mer biogas. En turbin använder den sista energin innan utsläpp sker i den lokala ån. Mer information och fler detaljer om anläggningen finns på engelska och tyska på hemsidan https://www.mannheim.de/stadt-gestalten/stadtentwaesserung-mannheim.

Vid besöket var anläggningen i drift och Sülzle Kopf Syngas står för driften av anläggningen som är byggd som en BOT-anläggning (Build-Operate-Transfer).



Figur 10. Avloppsreningsverket i Mannheim. Förgasningsanläggningen är markerad med en röd cirkel (Map data ©2017 GeoBasis-DE/BKG (©2009). Google).

Slamförgasningsanläggningen uppfördes år 2012 för att hantera ca 50 % av det torkade rötslammet från anläggningen. Den resterande delen används, efter torkningen, som bränsle i cementindustrin. Anläggningen genomgick en större uppgradering under 2014 - 2015 som baserades på ny kunskap och på driftserfarenheter från anläggningarna i Balingen och Mannheim.

Figur 11. Förgasningsanläggningen på avloppsreningsverk i Mannheim. (Foto trycks med tillåtelse från Sülzle Kopf Syngas)

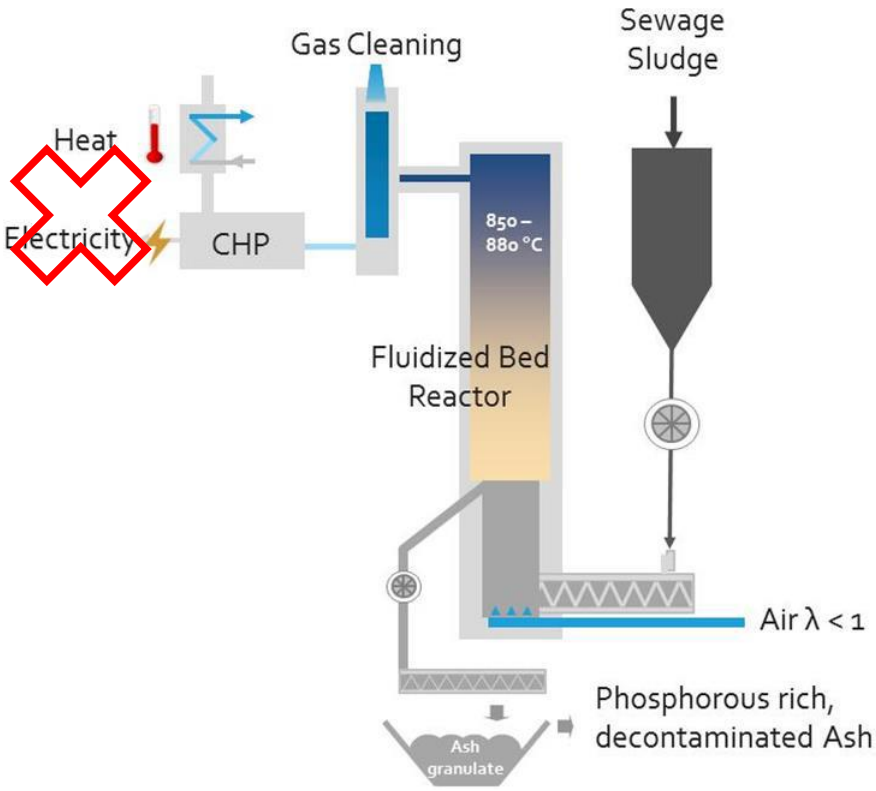
Sülzle Kopf Syngas beskriver anläggningen som en pilotanläggning för en optimering av processen och för att göra teknologin mogen för serieframställning av anläggningar. Tabell 2 visar anläggningens huvuddata.

Tabell 2. Huvuddata för anläggningen i Mannheim som angivits av Sülzle Kopf Syngas.

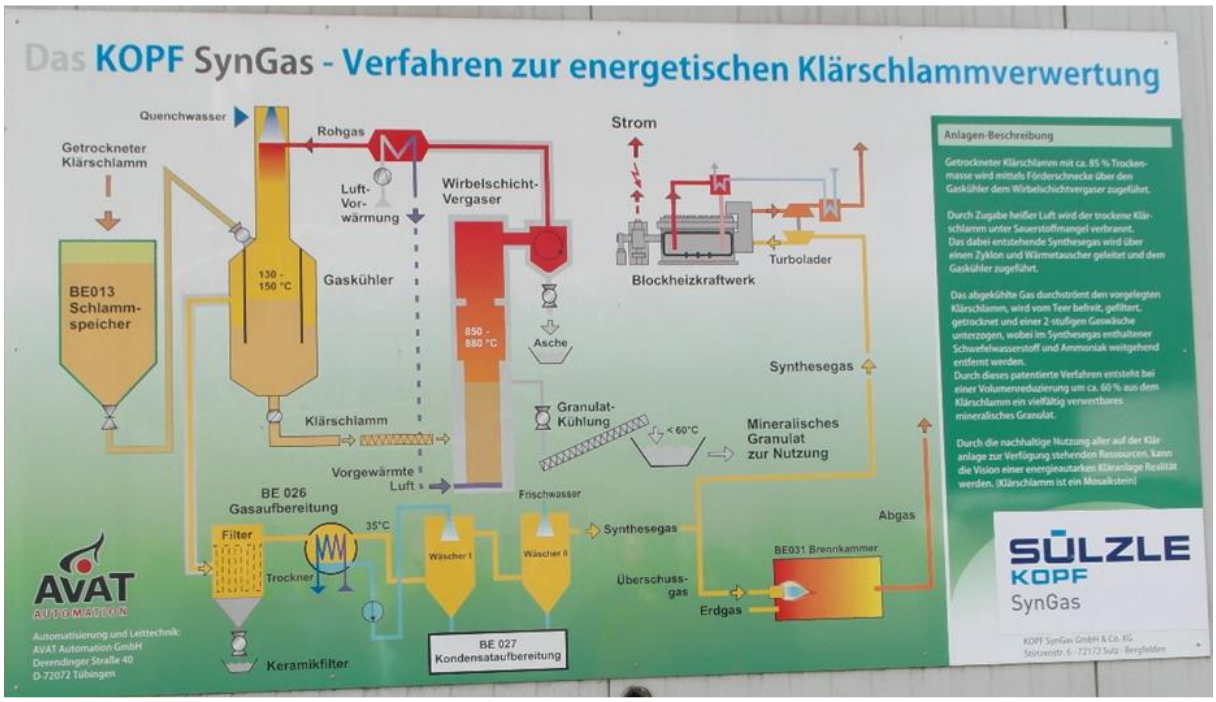
Kapacitet	5 000 t TS/år (2015)
Driftstimmar totalt sedan 2012	6 000 h
Värmeproduktion	1 500 kW
Elproduktion	0 (all energi går till torkanläggningen)

Anläggningsutformning

Anläggningens huvudprinciper visas i figur 12 och en mer detaljerad bild finns i figur 13, vilken är den samma som för Balingen. I dagsläget har man inte installerat utrustning för elproduktion eftersom slamtorkens värmebehov överstiger den samlade energiproduktionen. I framtiden när allt slam förgasas och slamtorken har optimerats finns möjligheter att etablera en gasmotor för att producera el.



Figur 12. Processchema från anläggningen i Mannheim.



Figur 13. Detaljerat processchema från anläggningen i Mannheim.

Det torkade slammet leds till en kombinerad gaskylare och värmeväxlare där gasen från förgasaren kyls samtidigt som det inkommande slammet värms upp. Därefter matas slammet in i botten av den fluidiserad bädd-förgasaren med en skruv.

Botten av förgasaren ses i figur 14.

Figur 14. Botten av förgasaren i Mannheim.

I förgasaren behandlas slammet på samma sätt som i Balingen med ett syreunderskott ($\lambda < 1$) vid en temperatur på 850 - 880°C.

Från toppen av den fluidiserade bädden tas bottenaskan ut. Den innehåller all icke organiska delar av slammet inklusive fosfor och en mindre del icke omsatt kol samt några tjärkomponenter. De små icke omsatta kolpartiklarna följer därmed gasen ut till gasreningen där de avskiljs och samlas upp. Figur 15 visar systemet i Mannheim. Här samlas 700 kg/dag upp. Den tekniska förbättringen av systemen vid den nya anläggningen är tydlig när man jämför med figur 9.

Figur 15. Uppsamling av flygaska i Mannheim.

Flygaskan består i stort sett av kolpartiklar och ett stort antal PAH-föreningar. Den omfattande produktionen innebär en väsentlig förlust av energi då den i dagsläget deponeras och inte används till energiframställning. Den renade gasen eldas i en panna som levererar värme till slamtorkanläggningen. Gasen har dock en så hög kvalitet att den kan användas i en gasmotor. Figur 16 visar toppen av förgasaren.

Figur 16. Toppen av förgasaren i Mannheim.

Drift

Förgasningsanläggningen i Mannheim drivs av Sülzle Kopf Syngas. Det planeras dock för att anläggning ska tas över av reningsverket under 2017.

Diskussioner med Sülzle Kopf Syngas i Tübingen

Mellan besöken på de två anläggningarna diskuterade vi under en förmiddag med ledningen av Sülzle Kopf Syngas: Dr. Stephan Mey, CEO, Dr. Johannes Judex, CTO och Pascal Ackermann, CSO. Efter presentation av VA-teknik Södra, TKE ApS och Sülzle Kopf Syngas koncentrerades diskussionerna kring en rad olika teman:

- Regler och marknadsläget i Tyskland
- Ekonomi
- Nya anläggningar
- Utmaningar för slamförgasning
- Samarbeten med universitet

Regler och marknadsläget i Tyskland

Tyskland skickade i september 2016 in en ny förordning till EU för notifikation av regler för slamanvändning. Förslaget som förväntas få verkan från 2018 innebär att slam från anläggningar < 50 000 PE inte får användas i jordbruket (100 000 PE om P-halten är under 2 %). Större anläggningar ska återanvända minst 50 % av fosforn om återanvändningen sker på verket. Om slam eldas (eller förgasas) ska minst 80 % av fosforn återanvänds från askan. Sülzle Kopf Syngas anser det sannolikt att förgasning mot denna bakgrund kan få en betydande plats på marknaden i Tyskland och de arbetar också för att etablera en försäljning av anläggningar i Kina där de menar att marknaden är enorm.

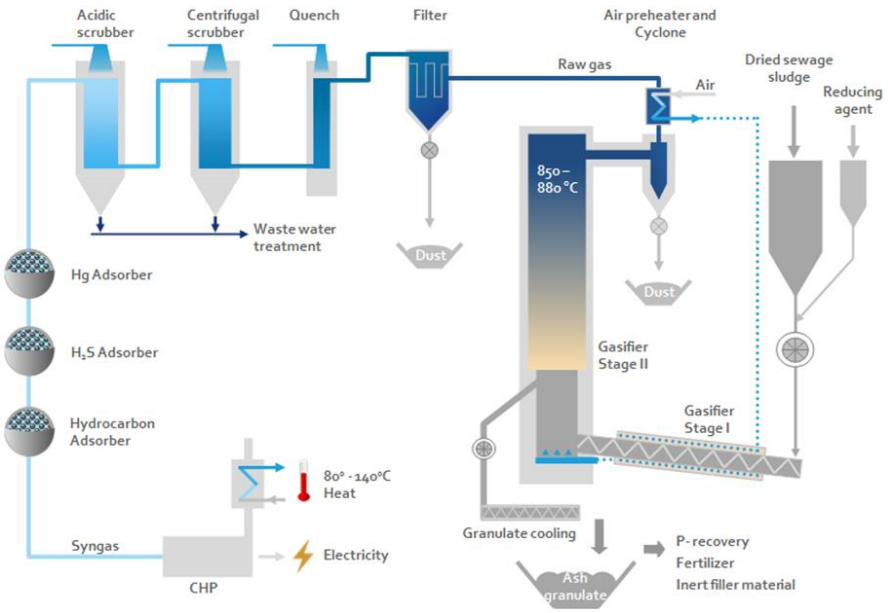
Ekonomi

Vid diskussionerna blev det tydligt att det inte går att få resultatsiffror för drifts- och investeringskostnader från anläggningen i Balingen, som var en testanläggning, och inte heller från anläggningen i Mannheim, vilken företaget presenterar som en pilotanläggning (även om kapaciteten är den dubbla jämfört med anläggningen i Balingen). Företaget hade helt tydligt investerat stora summor i de två anläggningarna för att hitta rätt utrustning, men vi fick ingen detaljinformation om kostnaderna. Företaget kan emellertid gärna ta fram ett pris på anläggningarna och har en mall för vilken information de då behöver.

Nya anläggningar

Sülzle Kopf Syngas presenterade anläggningen i Koblenz som är under byggnation. Anläggningen innehåller en rad nya komponenter i förhållande till de två existerande anläggningarna.

Anläggningen byggs som en tvåstegs-förgasningsanläggning som redovisas i figur 17. Tabell 3 visar anläggningens förväntade huvuddata. Anläggningen planeras vara i drift i slutet av 2017.



Figur 17. Skiss av två-stegs fluidiserad bädd-förgasaren i Koblenz.

Tabell 3. Huvuddata för anläggningen i Koblenz som presenterades av Sülzle Kopf Syngas.

Kapacitet	5 000 t TS/år
Värmeproduktion	625 kW
Elproduktion	550 kW

Med bakgrund av företagets erfarenheter anger Sülzle Kopf Syngas att de kan leverera en rad olika anläggningstyper:

- 5 000 ton/år rötat slam till kombinerad värme- och elproduktion motsvarande anläggningen under byggnation i Koblenz. Det kan skalas upp till 30 000 ton/år genom modulbaserad design.

- 500 ton/år till 15 000 ton/år rötat slam i en containerbaserad anläggning enbart för värmeproduktion, motsvarande anläggningarna i Balingen och Mannheim, men utan elproduktion. Gasreningen blir i det fallet mycket enklare. Sülzle Kopf Syngas har kontrakt på en byggnation av en sådan anläggning i Vilst, Österrike.

- Koncept för större anläggningar är under utveckling.

Utmaningar för slamförgasning

Sülzle Kopf Syngas utvecklar fortfarande processerna runt slamförgasning och samarbetar med en rad universitet i Tyskland och Österrike. De centrala utmaningarna för processerna sett ur företagets synvinkel presenteras nedan.

- Kondensatet från gasreningen är ett problem Sülzle Kopf Syngas har identifierat. Från gasrensningen leds kondensatet till avloppsreningsverken både i Balingen och

Mannheim. Det har inte ställt till problem på anläggningen i Balingen, men det innehåller en del cyanid som på verket i Mannheim har gett problem vid reningen av avloppsvatten. Företaget arbetar med att hitta en metod för att rena kondensatet innan det leds till avloppsreningsverket.

- Askan från förgasningen har ett högt innehåll av fosfor och Sülzle Kopf Syngas har utvärderat vilka extraktionsmetoder som kan vara användbara. Företaget har inte hittat någon tekniskt-ekonomiskt försvarbar metod men följer utvecklingen. I dagsläget var direkt användning av askan som gödselmedel det mest intressanta, men den metoden får man emellertid inte tillstånd till.
- Vid gasreningen föreligger en stor mängd kol i form av små partiklar. I dagsläget har företaget ingen bra användning av detta kol som medför en kostsam hantering och en betydande energiförlust.
- Anläggningen behandlar enbart torkat rötat slam. Vi diskuterade på plats om det var möjligt att hantera andra slamtyper i anläggningen, till exempel primärslam som har ett högre gasutbyte. Sülzle Kopf Syngas tyckte dock inte det var ett bra på grund av primärslammets egenskaper.

Samarbeten med universitet

Sülzle Kopf Syngas samarbetar med en rad universitet om de centrala utmaningarna.

Samarbeten:
”Energioptimering av avloppsreningsverk” med professor Dr. Thomas Kienberger, University Leoben, Österrike.

”Optimering av fosforanvändning från bottenaskan från förgasning” med Dr. Alina Schick, University Stuttgart Hohenheim/Visioverdis, Tyskland.

”CO_2 -balans för konventionell slambehandling versus slamförgasning med Sülzle Kopf Syngas Process” med Dr. Albrecht Stefan, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart, Tyskland.

Efter studieresan har ett samarbete etablerats med VA-teknik Södra och VA-teknik vid Institutionen för kemiteknik på Lunds universitet i kraft av projektet ”Ger införandet av förgasning som ny slambehandlingsteknik konsekvenser för kvävereningsprocesserna på våra kommunala avloppsreningsverk” som utförs av professor Jes la Cour Jansen och docent Karin Jönsson.