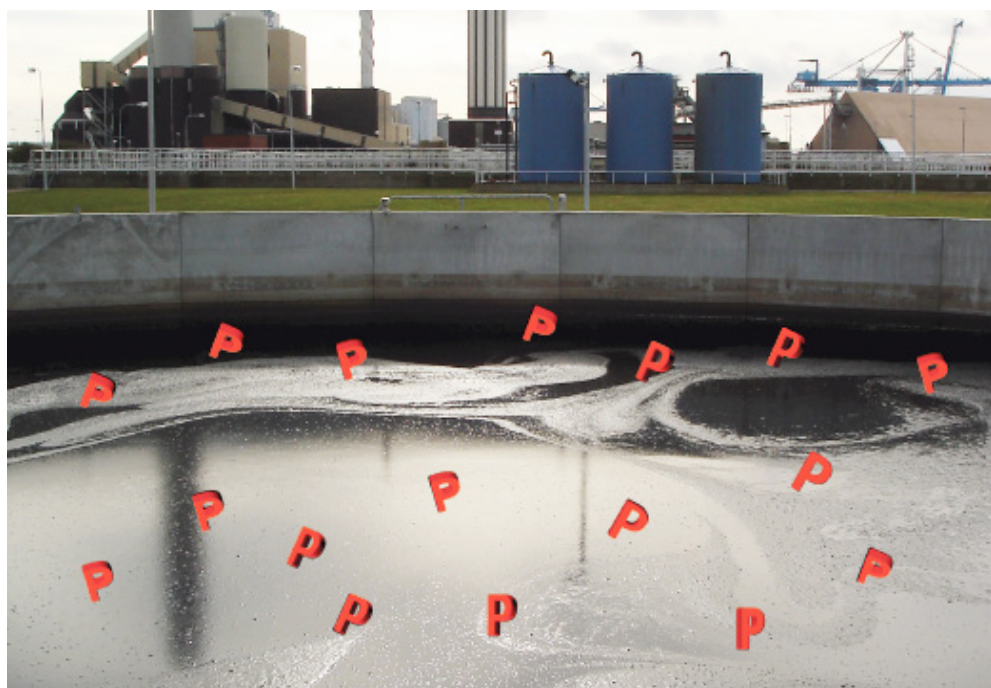


Fosforåtervinning från avloppsvatten

Rapport från ett
IWA Sverige-seminarium 2018

Bo von Bahr, Tobias Hey



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Fosforåtervinning från avloppsvatten
Title of the report:	Phosphorous recycling from sewage water
Författare:	Bo von Bahr, RISE, Tobias Hey, COWI
Rapportnummer:	2018-14
Antal sidor:	40
Sammandrag:	Rapporten ger en översikt av presentationerna under ett seminarium i Malmö i april 2018. Seminariet handlade om fosforåtervinning från avloppsslam, med fokus på termokemisk behandling av avloppsslam. Det anordnades av bland andra IWA Sverige. Syftet var att ta in kunskap från andra länder och att låta teknikleverantörer presentera sin teknik.
Abstract:	The report gives an overview of the presentations during a seminar in Malmö in April 2018. The seminar was about phosphorous recycling from sewage water, focusing on thermochemical treatment of sewage sludge. It was organized by IWA Sweden. The purpose was to acquire knowledge from other countries and to allow technology providers to present their technology.
Sökord:	Fosfor, avloppsslam, aska, återvinning, struvit, förbränning, förgasning, pyrolys, hydrolys, mineralgödsel, spridning, jordbruk
Keywords:	Phosphorus, sewage sludge, sludge ashes, recycling, struvite, combustion, gasification, pyrolysis, hydrolysis, mineral fertilizer, agriculture
Målgrupper:	Avloppsreningsverk, konsulter, myndigheter, Naturvårdsverket, Miljödepartementet
Omslagsbild:	Bilden är från inbjudan till seminariet och visar en bild från ett avloppsreningsverk
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens webbplats www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2018
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	18-110
Projektets namn:	Fosforåtervinning från avloppsvatten genom termokemiska slambehandlingsmetoder
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

För att belysa utvecklingsläget för fosforåtervinning från avloppsvatten, med fokus på termokemisk slambehandling, hölls ett IWA Sverige-seminarium i Malmö den 11 april 2018. Seminariet följdes dagen efter upp med en workshop med inbjudna deltagare. Experter från Danmark, Finland, Schweiz, Sverige, Tyskland och Österrike deltog i seminariet/workshopen och teknikleverantörer presenterade sin teknik. Seminariet vände sig till yrkesverksamma personer i flertalet sektorer som kommer i kontakt med frågan, till exempel slamansvariga vid avloppsreningsverk, teknikföretag, intresseorganisationer och forskare.

Seminariet arrangerades av:

- IWA Sverige – svenska sektionen av International Water Association
- Sweden Water Research – FoU-bolag gemensamt ägt av de kommunala VA-organisationerna NSVA, Sydvatten och VA SYD
- RISE Research Institutes of Sweden – ett forskningsinstitut ägt av svenska staten
- VA-teknik Södra – ett ”triple helix”-kluster med universitet, VA-organisationer och företag som arbetar med lösningar för vattenbranschens utmaningar
- Svenskt Vatten – branschorganisationen för svenska VA-verksamheter

Seminariet hölls tre månader innan regeringen utfärdade kommittédirektiv 2018:67, ett uppdrag att lägga fram ett lagförslag om fosforåtervinning kombinerat med ett förbud om slamspridning. Detta medför att de ämnen som diskuterades har fått förnyad aktualitet, och drivkrafterna för att arbeta med frågan har stärkts avsevärt.

Organisationskommittén bestod av Hans Bertil Wittgren, Jes la Cour Jansen, Tobias Hey och Bo von Bahr.

Ett stort tack riktas från författarna till Svenskt Vatten Utveckling för bidraget som möjliggjort sammanställningen av denna rapport från seminariet och workshopen.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Inledning	8
2 Seminariet 11/4, förmiddagen - expertpresentationer	9
2.1 Förbränning av slam för att återvinna fosfor	9
2.2 Möjligheter för fosforåtervinning genom slamförgasning	10
2.3 Återvinningsprocesser för fosfor i Tyskland	11
2.4 Jordbrukets krav på fosforgödningsprodukter från avloppsvatten	12
2.5 En integrerad teknisk, miljömässig och ekonomisk jämförelse av fosforåtervinningstekniker.....	14
3 Eftermiddagen den 11/4 - presentationer av teknikleverantörer	16
3.1 eco:P, eco:N, eco:S - resursåtervinning från organiskt avfall	16
3.2 Ash2Phos - återvinning av fosfor och fällningskemikalier från slamaska	18
3.3 PhosphoGreen - P återvinning från rejektivatten	20
3.4 Pågående arbete för att på sikt utvinna fosfor från slamaska i Köpenhamn	21
3.5 Fosforåtervinning i Finland med Ravita-systemet.....	23
3.6 Fosforåtervinningspotential från termisk förgasat slam.....	24
3.7 AshDec - termokemisk fosforåtervinning från slam	24
3.8 Mineralisering av avloppsslam med PYREG	25
3.9 Anders Nättorp, University of Applied Sciences Northwestern Switzerland	26
4 Workshop den 12 april 2018	29
4.1 Förmiddag.....	29
4.2 Summering av workshop, eftermiddag	31
5 Summering	34

Sammanfattning

Rapporten ger en översikt av presentationerna under ett seminarium i Malmö i april 2018. Seminariet handlade om fosforåtervinning från avloppsvatten, med fokus på termokemisk behandling av avloppsslam. Det anordnades av bland andra IWA Sverige. Syftet var att ta in kunskap från andra länder och att låta teknikleverantörer presentera sin teknik.

Frågan om teknisk utveckling när det gäller fosforåtervinning fick förnyad aktualitet under juli månad 2018. Den svenska regeringen tillsatte då en utredning som till hösten 2019 ska lämna förslag på utformning av dels ett krav på utvinning av fosfor ur avloppsslam, dels ett förbud mot spridning av avloppsslam (direktiv 2018:67).

Under seminariet medverkade experter och företag från Danmark, Finland, Schweiz, Sverige, Tyskland och Österrike. Det tyska deltagandet var av speciellt intresse eftersom Tyskland införde lagstiftning om fosforåtervinning i januari 2018. Utöver teknikleverantörer medverkade också forskare och experter som inte var knutna till någon speciell teknik. Deras föredrag handlade bland annat om förutsättningarna för slamförbränning, erfarenhet av slamförgasning samt återvinningsprocesser i Tyskland.

Generellt finns det tre startpunkter för fosforåtervinning. Den första är avvattningsrejektet inne i reningsverket och då begränsas återvinningen till de näringsämnen som finns lösta i rektvattnet. Hit hör struvitprocessen. Den andra startpunkten är att återvinna fosfor med utgångspunkt från avvattnat slam. Denna processtyp verkar vara på en lägre teknisk mognadsnivå än både struvit- och askprocesser. Ingen sådan teknik var representerad på seminariet, men det kan finnas gångbara processer även här, även om det verkar som att mer forskning och utveckling behövs. Den tredje startpunkten är att torka slammet och därefter införa en termisk process: förbränning, förgasning eller pyrolys. En stor mängd behandlingsvarianter finns i den här kategorin, varav några presenterades på seminariet.

Ingen teknikleverantör redovisade kostnader för att införa processerna, och ingen av de presenterade processerna finns i dag i kontinuerlig drift på något avloppsreningsverk i Sverige. Några av dem finns dock i drift på reningsverk utanför Sverige.

Återvunnen näring måste uppfylla tre krav för att fungera på produktiv mark. Den får inte innehålla skadliga föroreningar, den ska ha tillräckligt bra fysiska egenskaper så att befintlig gödselspridarutrustning kan användas, och den ska fungera bra som gödning. Det tredje kravet kopplas ofta till vattenlöslighet, och det har visat sig att återvunna näringsprodukter kan fungera bra trots att de inte har hög initial vattenlöslighet.

Marknadssituationen för de fosforprodukter som kommer att återvinnas från avloppsslam är mycket oklar. Mineralgödselindustrin har hittills inte tagit någon aktiv roll i att införa återvunna växtnäringsämnen i produkt-sortimentet. Men ett eventuellt kommande slamspridningsförbud med krav på fosforåtervinning kommer att påverka marknaden för både fossila och återvunna gödningsmedel.

Summary

The report gives an overview of the presentations during a seminar in Malmö in April 2018. The seminar was about phosphorus recovery from waste water recycling, focusing on thermochemical treatment of sewage sludge. It was organized by, inter alia, IWA Sweden. The purpose was to acquire knowledge from other countries and to allow technology providers to present their technology.

The issue of technical development regarding phosphorus recovery was renewed in July 2018. The Swedish government then issued a directive which, in autumn 2019, will propose a requirement for the extraction of phosphorus from sewage sludge and a prohibition of spreading sewage sludge (Directive 2018: 67).

During the seminar, experts and companies from Denmark, Finland, Switzerland, Sweden, Germany and Austria participated. German participation was of particular interest since Germany introduced legislation on phosphorus recovery in January 2018. In addition to technology suppliers, researchers and experts did also participate, who were not involved in any particular technology. Their lectures included the conditions for sludge combustion, sludge gasification experience and recycling processes in Germany.

Generally, there are three starting points for phosphorus recovery. The first is the reject water within the waste water treatment plant, and consequently the recycling rate is limited to the nutrients that are dissolved in this water. The struvite process is one example. The second starting point is to recycle phosphorus based on dewatered sludge. This process type appears to be at a lower level of technical maturation than both struvite and ash processes. No such technique was represented at the seminar, but there may be viable processes here even though it seems that more research and development is needed. The third starting point is to dry the sludge and then introduce a thermal process: combustion, gasification or pyrolysis. A large variety of treatment variants are found in this category, some of which were presented at the seminar.

No technology supplier reported costs for introducing the processes, and none of the presented processes are currently in continuous operation at any wastewater treatment plant in Sweden. However, some of them are in operation at treatment plants outside Sweden.

Recycled nutrition must meet three requirements to work on productive soil. They must not contain harmful pollutants, they must have adequate physical properties so that existing fertilizer spreader equipment can be used and finally, they should work well as a fertilizer. The third requirement is often linked to water solubility, and it has been found that recycled nutritional products can work well even though they do not have high initial water solubility.

The market situation for the phosphorus products that will be recycled from sewage sludge is very unclear. The mineral fertilizer industry has hitherto not taken an active role in introducing recycled plant nutrients into the product range. However, a possible future sludge ban with phosphorus recovery requirements will affect the market for both fossil and recycled fertilizers.

1 Inledning

Seminariet hölls mot bakgrund av att Tyskland den 1 januari 2018 införde en lag som stipulerar återvinning av fosfor från avloppsslam från och med 2029, och intresset för att återvinna fosfor från slam har ökat även i Sverige. Till exempel har Svenskt Vatten startat ”Nationellt nätverk för fosfor och andra avloppsresurser” för att öka mängden näringsämnen som återvinns från avlopp. I nuläget återvinns drygt 30 procent av fosfor i Sveriges avloppsslam genom direkt slamåterföring, varav huvuddelen inom Revaq-systemet. Knappt 70 procent används till ändamål som anläggningsjord och deponitäckning, vilket innebär att fosfor inte återvinns till produktiv åkermark utan hamnar på andra ställen.

I september 2013 kom Naturvårdsverkets slutrapport som redovisade regeringsuppdraget ”Hållbar återföring av fosfor” och sedan dess har VA-branschen väntat på en uppdaterad slamförordning, men ingenting har lagts fram. Tre månader efter seminariet, den 12 juli 2018, lade dock regeringen fram kommittédirektiv 2018:67 ”Giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam” vilket innebär att man tillsatt en utredning som i korthet ska:

1. Utforma ett förbud mot slamspridning
2. Föreslå ett krav på fosforåtervinning
3. Undersöka behovet av investeringsstöd
4. Redovisa status på teknisk utveckling och behandlingsmetoder
5. Säkerställa att uppströmsarbetet bevaras (jämför Revaq)

Denna rapport är en resumé av vad som presenterades och diskuterades på IWA Sveriges seminarium och workshop i Malmö i april 2018. Alla presentationerna finns tillgängliga på Svenskt Vattens webbplats: www.svensktvatten.se/utbildning/konferensdokumentation/svenskt-vatten/IWA180411/

Seminariet inleddes med en kort överblick av situationen för fosforåtervinning i Sverige, Danmark och Tyskland. Därpå följde ett block där fem oberoende experter talade om förbränning, förgasning, jämförande studier med mera. Efter lunch presenterades olika tekniker för fosforåtervinning, framför allt av olika teknikföretag. Dagen avslutades med att Anders Nätorp, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, summerade de olika bidragen.

2 Seminariet 11/4, förmiddagen - expertpresentationer

2.1 Förbränning av slam för att återvinna fosfor

Inge Johansson, RISE Research Institutes of Sweden

Enligt EU-statistik brändes 27 procent av allt slam i Europa år 2014. Den största andelen, 45 procent, användes inom jordbruket och för tillverkning av anläggningsjord. Eftersom avloppsslam är klassat som ett avfall är det industriutsläppsdirektivet, och tolkningen av detta, som reglerar möjligheterna att bränna avloppsslam. I Sverige styrs detta av så kallade BAT-slutsatser i "Förordning (2013:253) om förbränning av avfall".

Som bränsle betraktat är avloppsslam inte optimalt, vilket framgår av tabell 2.1. I jämförelsen är slammet avvattnat men inte torkat, det vill säga cirka 75 procent av slammet består av vatten. Det är sannolikt att man måste torka slammet innan förbränning för att få bättre förbränningsegenskaper och lättare hantering. Om slammet ska monoförbrännas är torkning ofrånkomligt.

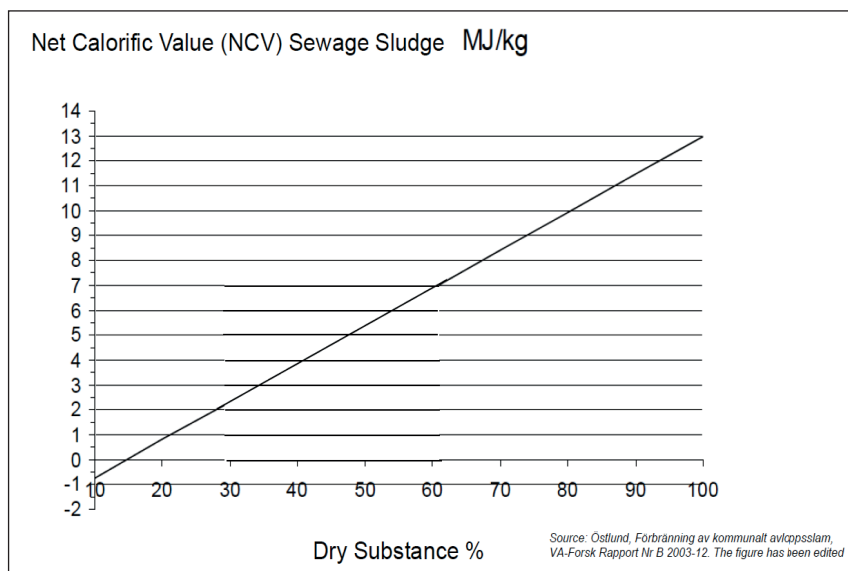
Tabell 2.1 Jämförelse av avloppsslam (avvattnat men ej torkat, cirka 25 procent TS) som bränsle jämfört med andra vanliga avfallsbränslen. Källa: Strömberg B, Herstad-Svärd S, Bränslehandboken 2012, Värmeforskrappport 1234

	Avloppsslam	Returträ, RT-flis	Skogsavfall, GROT
Fuktinnehåll	74,1	23,3	44
Askhalt, % TS	43,4	5,8	2,7
Effektivt värmevärde (MJ/kg)	1,0	13,7	8,6
P-innehåll, % av TS	3,4	0,01	0,05
P-innehåll i askan, % av askan	7,6	0,2	1,8
S- innehåll (% dry ash free)	1,9	0,08	0,04
N-innehåll (% dry ash free)	6,3	1,2	0,4

Av tabellen framgår att fuktinnehållet i avvattnat slam är ganska stort jämfört med andra bränslen. Givetvis blir värmevärdet sämre ju mer vatten slammet innehåller, vilket illustreras i figur 2.1.

Responsen på denna bild blev stor eftersom det fanns skilda uppfattningar om hur torrt ett slam behöver vara för att man ska kunna förbränna det utan stödbränsle. Just frågan om mono- eller samförbränning kom även upp under presentationen, och Inge Johansson konstaterade att valet av detta bygger på bland annat följande faktorer:

- Önskad fosforhalt i askan (stödbränsle riskerar att späda ut askan) och krav från efterföljande fosforåtervinningsteknik.
- Torkningsteknik och tillgång till värme för torkning.
- Tillgång till rökgaskondensator.
- Mängder av slam och tillgången på bränslen att samförbränna med.



Figur 2.1 Nettovärmevärde i slam som funktion av torrsbstanshalten. Som jämförelse kan tilläggas att värmevärdet för helt torrt slam är på samma nivå som träbränsle (se tabell 2.1).

Ett antal projekt har genomförts i Sverige med samförbränning med olika typer av bränslen, med varierande framgång. Några av projekten har också undersökt slam som additiv till förbränningsprocessen för att minska korrosion och beläggningar inne i pannan. Avslutningsvis konstaterades att det är många olika faktorer som inverkar om man vill börja med slamförbränning.

2.2 Möjligheter för fosforåtervinning genom slamförgasning

Thomas Koch, TK Energy, Danmark

Thomas Koch presenterade resultaten från ett stort forskningsprojekt om slamförgasning, SLUGAS, och gav några allmänna reflektioner om denna teknik. Inledningsvis presenterade han skillnaderna mellan olika typer av termiska processer som visas i tabell 2.2.

Tabell 2.2 Översikt över typiska data för termiska processer för slam. Vid presentationen gavs exempel på flera olika varianter av förgasningsprocesser, men dessa har i tabellen återgetts i en enda kolumn med typiska värden.

	Torkning	Pyrolys	Förgasning
Ingående material	Slam, TS, 25-75 %	Torrt slam, TS 95 %	Torrt slam, TS 95 %
Temperaturintervall, °C	80-125 °C	400-700 °C	600-1 500 °C
Utgående material	Torrt slam, TS 95 %, vattenånga	Biokol 75 %, pyrolysgas 15-25 %	Biokol 60 %, gas och tjära, 40 %
Syfte/konsekvens	Reduktion av massan med 70 %, underlättar senare förbränning eller liknande	Massreduktion med 25-35 %, frigöra 50 % av energin i det torkade slammet	Massreduktion med 25-45 %, frigöra 65-75 % av energin i det torkade slammet

Syftet med SLUGAS-projektet var att undersöka hur oorganiskt material i slammet reagerar vid förgasningsprocesser mellan 500 och 1 500 °C. Projektet genomfördes till största delen i Frankrike, med franskt avloppsslam,

men ett slam av 35 var från Danmark. Projektet var ganska teoretiskt och ett antal komplicerade fasdiagram visades vid presentationen. En slutsats var att fosfor avgår i gasform huvudsakligen som $(P_2O_3)_3$ och kondenserar som tricalciumfosfat, $Ca_3(PO_4)_2$.

Vid laborationerna och utförandet av de praktiska försöken konstaterades att förgasningstekniken innebar en hel del tekniska utmaningar, till exempel mekaniska problem, tätning av reaktorn så att inte luft (syre) kommer in, PAH-emissioner från tjäran och materialproblem vid höga temperaturer. Thomas Koch framhöll också att projektet var av typen grundforskning, och fokus var inte en snabb lösning för att lösa problematiken med näringsåterföring av fosfor.

2.3 Återvinningsprocesser för fosfor i Tyskland

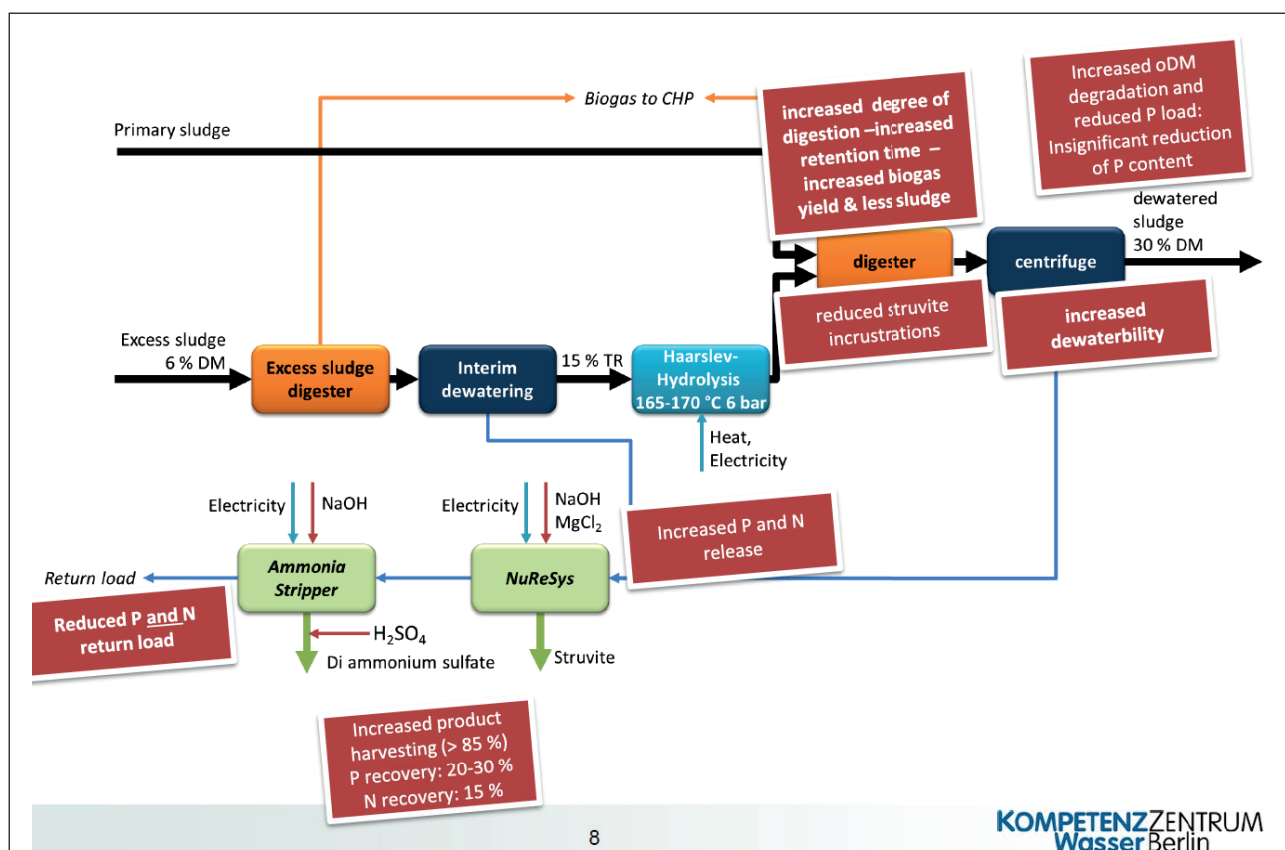
Fabian Kraus, Kompetenzzentrum Wasser Berlin, Tyskland

Fabian Kraus från Kompetenzzentrum Wasser Berlin inledde med att berätta om den nya lagstiftningen, "Klärschlammverordnung" i Tyskland. Han konstaterade att som lagen är skriven är det många av de berörda avloppsreningsverken som siktar på att monoförbränna avloppsslammet och lägga askan på hög och välja fosforutvinningsteknik lite senare. År 2023 ska de berörda verken presentera en långsiktig plan för hur de ska uppfylla den nya lagen.

För andra processer än förbränning var Fabian Kraus kritisk till att regelverket för hur mycket fosfor som ska återvinnas i slammet var kopplat till torrsubstanshalten (DM = dry matter, TS = torrsubstans). Det finns ett krav att fosforhalten i slammet ska understiga 20 mg/kg TS efter avslutad fosforåtervinningsprocess. Eftersom slamröttningsprocesser i avloppsreningsverk i betydande grad påverkar hur mycket fast material som slammet innehåller innebär det att mer fosfor i absoluta tal måste återvinnas om slamrötning ingår i processen, eftersom TS-halten minskar vid rötningen. Detta faktum kan påverka viljan att röta slammet och därmed producera biogas och efterföljande el som brukligt är i Tyskland.

Fabian Kraus berättade att struvitprocesser är relativt vanligt i Tyskland sedan några år tillbaka, trots att ingen lagstiftning kräver detta. De lokala förhållandena är ofta avgörande för om man har valt att satsa på struvitutvinning. Det finns också fler drivkrafter än fosforutvinning med struvitprocessen, till exempel att avvattningen fungerar bättre och att den totala slamm mängden minskar vilket innebär minskade kostnader för efterföljande slamhantering.

Exempel gavs på tre olika processer som ofta diskuteras, varav de två första är internt i avloppsreningsverket (struvitproduktion respektive kväveåtervinning). Den första, struvitutfällning kan utformas som en egen process, eller i kombination med kväveutvinning i någon form. Figur 2.2 visar den process som är under byggnation i Braunschweig i Tyskland, för återvinning av både fosfor och kväve. Återvinningsgraden är dock ganska blygsam, 25 procent av fosfor och cirka 15 procent av kvävet.



Figur 2.2 Beskrivning av en kombinationsprocess som håller på att byggas i Braunschweig i Tyskland för återvinning av både fosfor och kväve.

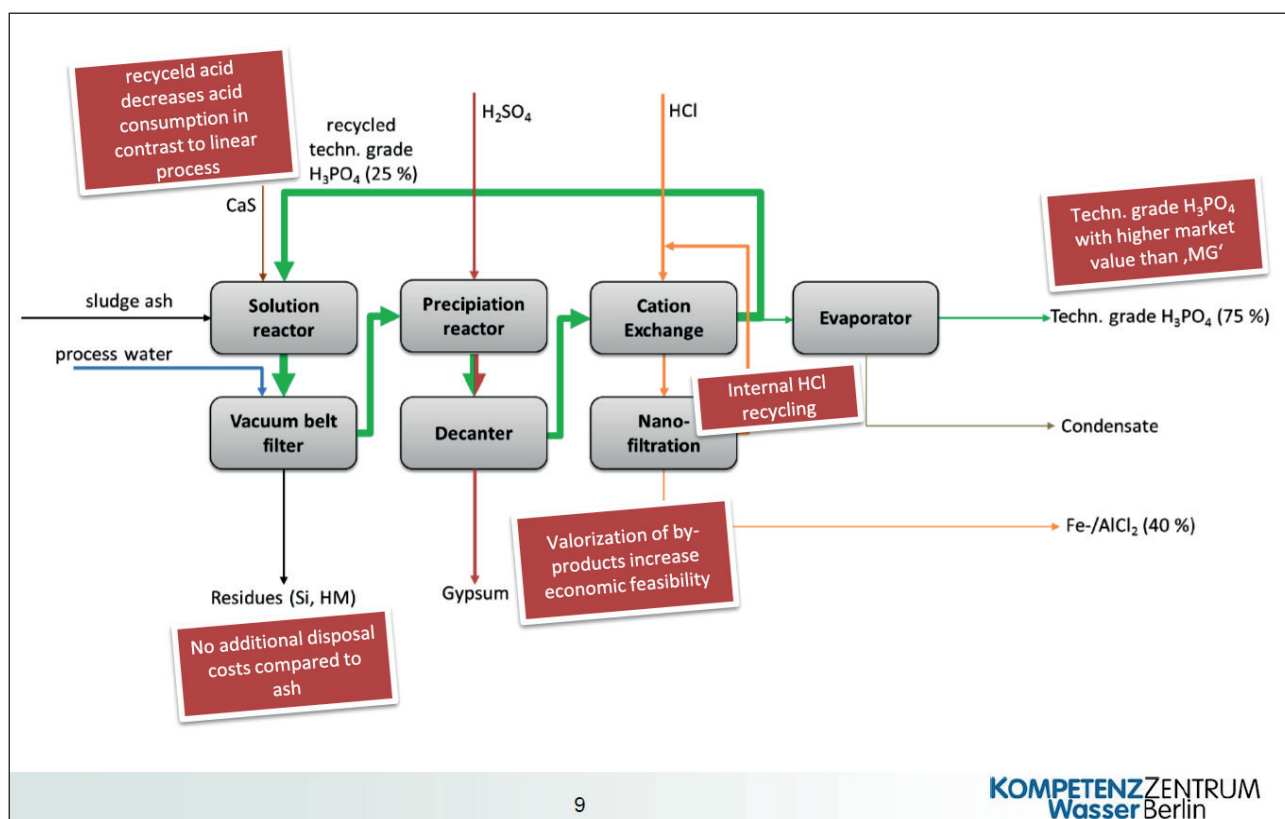
Fosforåtervinning från slamaska är under stark utveckling i Tyskland, och den tredje processen som Fabian Kraus tog upp i presentationen var en av dessa, TetraPhos-processen. För alla dessa ”askupplösningsprocesser” (EcoPhos, LeachPhos, Ash2Phos, Phos4Life med flera) blir utflödena en konsekvens av den syra och annat som tillsätts i början av processen. I TetraPhos-processen (och Phos4Life) används svavelsyra för att lösa upp askan, vilket innebär ett utflöde av gips. En schematisk bild av TetraPhos-processen visas i Figur 2.3.

2.4 Jordbrukets krav på fosforgödningsprodukter från avloppsvatten

Lena Rodhe, RISE Research Institutes of Sweden

Lena Rodhe berättade att i nuläget har gödningsmedel från avloppssektorn och annan återvunnen näring svårt att hävda sig mot mineralgödselmedel, eftersom de senare är enkla att hantera och inarbetade på marknaden. Tre ”flaskhalsar” definierades för återvunnen fosfor och återvunna näringsämnen generellt:

1. Föroreningar
2. Fysiska egenskaper
3. Fungera som gödning



Figur 2.3 TetraPhos-processen som ett exempel på en av de varianter som finns av askupplösningsprocesser. Tillsatta syror är svavelsyra, saltsyra och recirkulerad fosforsyra, vilket ger utflödena fosforsyra, järn- och aluminiumklorid, tungmetallrest samt gips.

För att lyckas i lantbruket med återvunnen växtnäring måste tre krav uppfyllas. Den första, föroreningar, innebär att det inte får finnas några oönskade ämnen i gödningsmedlet som på ett eller annat sätt skadar åkermarken eller grödan på lång sikt. Det andra kravet innebär att den återvunna näringen bör eller måste kunna spridas på samma eller liknande sätt som mineralgödsel. Lantbrukaren ska inte behöva köpa nya maskiner för att sprida denna typ av gödning. Detta innebär att näringen bör paketeras i pelletsform eller liknande för att kunna hanteras i bigbags, påsar och med befintlig spridarutrustning. Kraven på dessa pellets bör definieras i form av kornstorleksfördelning, bulkdensitet och motstånd mot krossning med mera (figur 2.4).

Den tredje egenskapen ”fungera som gödning” är inte helt oväntat också mycket viktig. På mineralgödselsidan finns det skraddarsydda gödningsmedel beroende på gröda och åkermark vilket i mindre grad finns bland de återvunna biobaserade gödningsmedlen. De mineralbaserade gödningsmedlen är ofta mycket väl definierade med avseende på näringsinnehåll och vattenlöslighet, till skillnad mot de biobaserade gödningsmedlen där variationen kan vara större. Dock har de biobaserade återvunna gödningsmedlen en mycket stor fördel, nämligen att de innehåller organiskt material som ger jorden bördighet på lång sikt, något som mineralgödselmedlen inte bidrar till.



Figur 2.4 Test av olika fysikaliska egenskaper av en gödselprodukt från EkoBalans, baserat på återvunnen näring från avloppsslam.

Generellt sett har de biobaserade gödningsmedlen en ganska svår konkurrenssituation jämfört med mineralgödselmedel. Förutom de tre punkterna ovan bör också leveranssäkerhet garanteras för att lantbrukaren ska kunna använda biobaserade produkter med återvunnen näring.

Lena Rodhe avslutade med en fråga: Kommer återvunnen näring från avlopp att kunna användas i ekologiskt lantbruk? Ekologisk odling är generellt sett positiv till att knyta ihop kretslopp, men är samtidigt mycket restriktiv mot föroreningar. Dessutom är nuvarande lagstiftning komplex och inkonsekvent. Dock pågår en översyn av både "EU:s förordning för ekologisk odling" och "EU:s gödningsmedelförordning" samtidigt som en policy om cirkulär ekonomi har antagits. Allt detta sammantaget gör att det bör finnas en chans att få in återvunnen biobaserad näring i ekologiskt lantbruk, enligt Lena Rodhe.

2.5 En integrerad teknisk, miljömässig och ekonomisk jämförelse av fosforåtervinningstekniker

Mathias Zessner, Vienna University of Technology, Österrike

Mathias Zessner är expert på olika fosforutvinningstekniker och jämförelse mellan dessa med olika perspektiv: återvinningseffektivitet, teknisk mognad, kostnader med mera. Mathias Zessner konstaterar att det finns många olika tekniker, och tyvärr är det ingen som uppfyller alla krav. En översikt över de tekniker han studerat tillsammans med sina kollegor återges i figur 2.5. Varje kolumn i bilden representerar en utgångspunkt för återvinningen. Till vänster visas processer som hanterar den våta fasen i avloppsreningsverket, och här dominerar struvitprocesserna. Mittenkolumnen visar processer som har sin utgångspunkt i avvattnat slam. Längst till höger visas processer som bearbetar slamaska och utvinner fosfor, ofta med hjälp av syraupplösning. Processnamnen med blå namn var representerade på seminariet.

Liquid Phase	Sewage Sludge (SS)	Sludge Ash (SSA)
effluent ion exchange	wet-chemical leaching	wet-chemical leaching
REM-NUT® <i>[effluent precipitation: RAVITA]</i>	Gifhorn process Stuttgart process	PASCH LEACHPHOS® EcoPhos® <i>[Ash2®Phos]</i>
sludge crystallization	wet-oxidation	wet-chemical extraction
AirPrex®	PHOXNAN	RecoPhos® Fertilizer Industry
supernatant crystallization	supercritical water oxidation	thermo-chemical
Ostara Pearl Reactor® DHV Crystalactor® P-RoC PRISA <i>[PhosphoGreen + Eco:P]</i>	Aqua Reci®	AshDec®
	metallurgic	thermo-electrical
	MEPHREC®	Thermphos (P₄)

Figur 2.5 Några av de processer som Mathias Zessner hade med i sin jämförande analys. Blå text innebär att mer info gavs om processen på seminariet. Vänsterkolumnen innebär utvinning ur rejektvatten, mittenkolumnens utgångspunkt är avvattnat slam och längs till höger finns processer som utgår från slamaska.

Mathias Zessners arbete har lett till att han kan se generella tendenser för de olika startpunkterna rejektvatten/slam/aska, vilket visas i tabell 2.3.

Tabell 2.3 Översikt över olika startpunkters för- och nackdelar. TRL står för nivå av teknikmognad (Technology Readiness Level).

Vattenfas (rejektvatten-flöde)	Slam (avvattnat men ej torkat)	Slam-aska
• Relativt enkla att införa	• Svårstyrda och relativt dyra processer	• Hög återvinningsgrad, men enbart av P
• Etablerat teknik	• Oftast dålig besparingspotential	• Centraliserade processer
• Driftsfördelar för ARV	• Bra kvalitet på produkten	• Vald teknik ger olika restflöden
• Begränsad återvinnings-potential till de näringsämnen (N,P) som finns lösta i rejektvattnet	• Låg TRL-nivå, mer forskning behövs	• Ingen återvinning av N eller organiskt material

3 Eftermiddagen den 11/4

- presentationer av teknikleverantörer

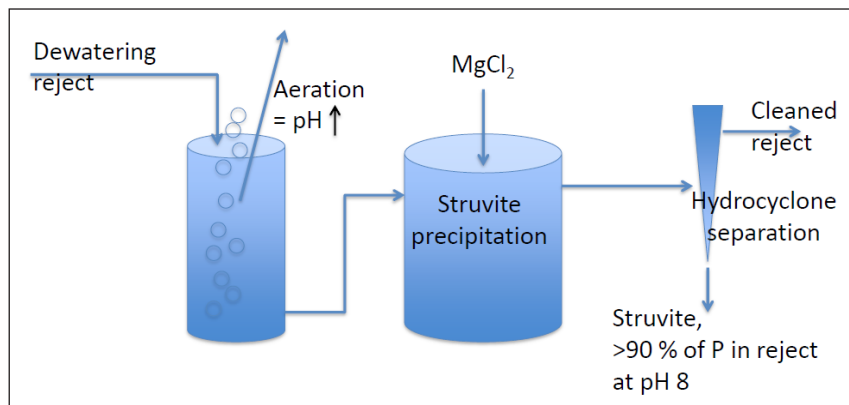
3.1 *eco:P, eco:N, eco:S* - *resursåtervinning från organiskt avfall*

Gunnar Thelin, EkoBalans, Sverige

Gunnar Thelin ville få oss att lyfta blicken i avloppsreningsverksamheten genom att introducera RWRP – Resource Water Recycling Plant, i stället för det vanliga WWTP – Waste Water Treatment Plant. Med det sättet att tänka ser man avloppsvattnet som ett flöde av resurser i stället för ett problematiskt avfall som måste hanteras. För att få detta att fungera presenterade han tre grundprocesser, *eco:N*, *eco:P* och *eco:S*. Dessa beskrivs översiktligt nedan före beskrivningen av hur de ska sammanlänkas och kopplingen till RWRP.

3.1.1 *eco:P*

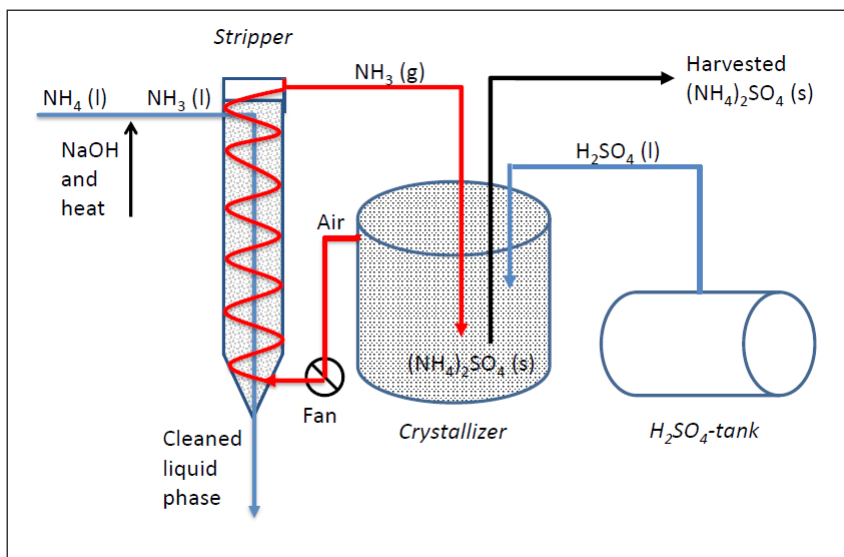
eco:P-processen är en batchbaserad struvitprocess med flera fällningstankar i sekvens och med skörd av struvit ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) i form av mikrokristaller med hydrocyclonteknik, utvecklad EkoBalans (figur 3.1). En konventionell struvitprocess är kontinuerlig och ger stora kristaller, till exempel PhosphoGreen som presenteras senare i denna rapport.



Figur 3.1 Beskrivningen av *eco:P*-processen som utvinner fosfor ur avvattningsrejektet i form av struvit, $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

3.1.2 *eco:N*

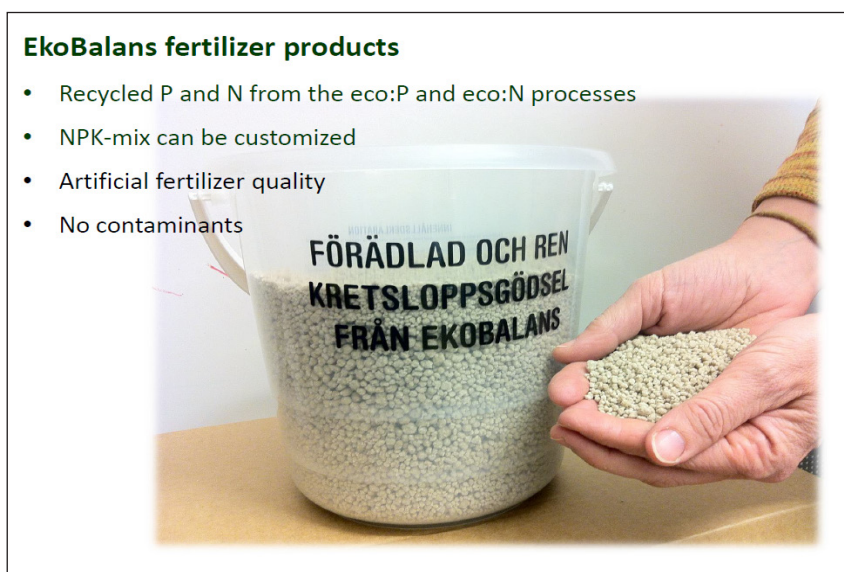
eco:N-processens slutprodukt är ammoniumsulfat (NH_4) $_2\text{SO}_4$ som i likhet med struvit utvinns ur rejektvattenflödet från avvattningen (figur 3.2). Utflödet är kristaller i storlek cirka 1 mm, som kan användas som de är eller som råvara till en mer bearbetad gödselprodukt. Innehållet av näringsämnen är 21 procent kväve och 24 procent svavel med hög växttillgänglighet av näringen och ett tungmetallinnehåll som är lägre än i mineralgödsel.



Figur 3.2 eco:N är uppbyggd av tre steg: stripping, småskalig kristallisation och skörd av kristallerna.

3.1.3 Kombination av eco:P och eco:N

De utvunna P- och N-produkterna struvit respektive ammoniumsulfat kan kombineras till en NP-produkt eller en NPK-produkt om en kaliumkälla tillsätts. Då får man ett jämförbart alternativ till NPK-mineralgödsel, fast från återvunnen näring (figur 3.3).

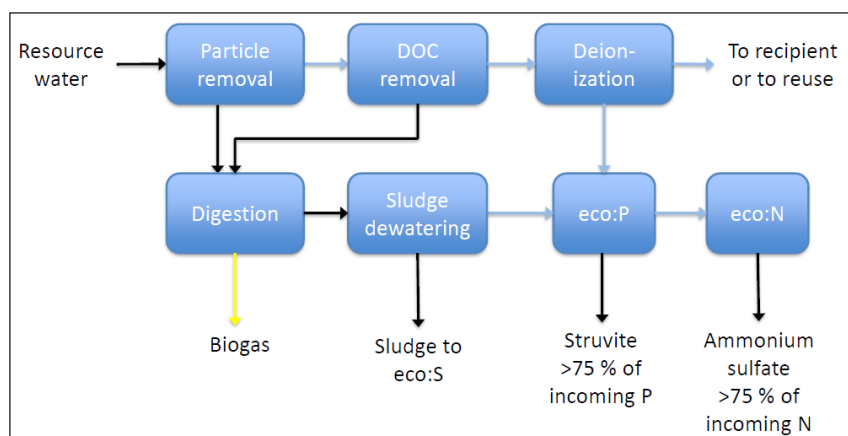


Figur 3.3 Utseende av EkoBalans gödselprodukt från eco:N- och eco:P-processerna.

3.1.4 RWRP – Resource Water Recycling Plant, eco-S

För att maximera återvinning av näringsämnen i en RWRP behövs också ett slamhanteringssteg, eco:S, som är en pyrolysisprocess av det slam som alltid uppstår i ett avloppsreningsverk oavsett process. eco:S innebär att slammet torkas och därefter pyrolyseras till slutprodukten biokol, fritt från kad-

mium. Denna process besvarar den kritik som finns mot struvitprocessen, det vill säga att eftersom man plockar ut fosfor (maximalt 50 procent) inne i reningsverket med biologisk fosforfällning, så blir det återstående slammet i princip oanvändbart för konventionell slamspridning eftersom det får en mycket förhöjd Cd/P-kvot. En kombination av eco:P och eco:S innebär således att allt fosfor återvinns från avloppsvattnet, förutom det som finns i utgående vatten. De olika delstegen och dess ordning skiljer sig väsentligt från ett konventionellt avloppsreningsverk. Figur 3.4 visar en schematisk bild över hur EkoBalans vill utforma en RWRP.



Figur 3.4 Utformning av RWRP som innebär att avloppsvattnet ses som en resurs i stället för ett avfall. De tre processerna som beskrivits ligger som tre avslutande steg i flödet.

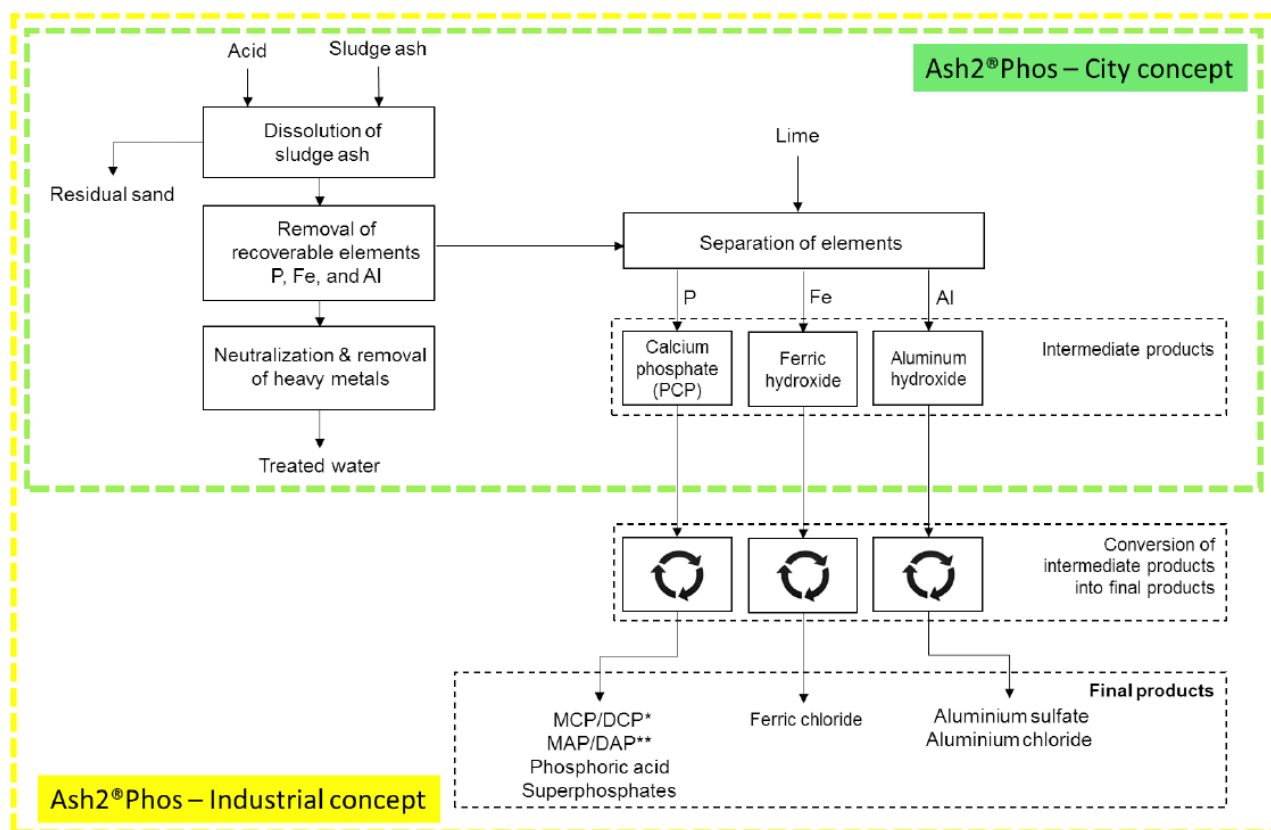
Fördelarna med RWRP är enligt EkoBalans:

- Behovet av luftning minskar rejält, vilket är en stor energiutgiftspost för de flesta avloppsreningsverk
- Inget behov av biologisk kväverening, inget returslam
- Inga fällningskemikalier
- Mer gas och mindre slam
- > 75 procent återvinning av kväve och fosfor i rena fraktioner, möjliga att använda på åkermark
- Energi- och klimatpositiv process

3.2 Ash2Phos - återvinning av fosfor och fällningskemikalier från slamaska

Yariv Cohen, Ragn-Sells EasyMining, Sverige

Yariv Cohen berättade om en teknik för fosforåtervinning, Ash2Phos, som utgår från slamaska. En översikt av processen återfinns i figur 3.5. De ingående råvarorna är förutom slamaska även syra och kalk. Utgående produkter är kalciumfosfat (och efterföljande produkter), järnklorid och aluminiumsulfat/klorid. Utgående restflöden är behandlat vatten och icke upplöst aska (residual sand).



Figur 3.5 Översikt över Ash2Phos.

För närvarande (våren 2018) bygger Ragn-Sells upp en pilotanläggning på Kemiras område i Helsingborg för att provköra processen i större skala. Ett exempel på ett utflöde från processen, kalciumfosfat, PCP, från denna pilotanläggning visas i Figur 3.6. Genomgående är de gödningsprodukter eller kemikalier (till exempel fosforsyra) som kommer ut från processen av hög kvalitet och renhet. Ragn-Sells hoppas att dessa ska kunna säljas på öppna marknaden till befintlig gödningsmedelsindustri eller andra industriella branscher. En summering av Ash2Phos-processens egenskaper enligt Ragn-Sells återges i figur 3.7.



Figur 3.6

Utvunnen kalciumfosfat (PCP) från Ash2Phos-processens pilotanläggning i Helsingborg. Fosforhalten är cirka 17 procent och kalciumhalten 35 procent. Innehållet av kadmium är mycket lågt, 0,09 mg/kg PCP, vilket motsvarar en Cd/P-kvot på 0,6.

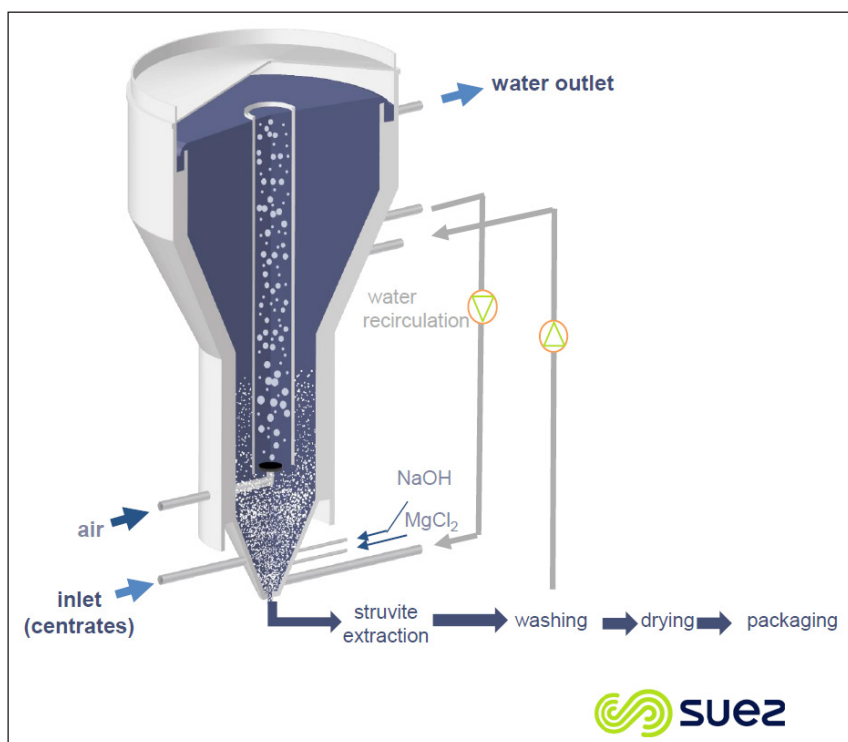
Product	MAP/DCP	MAP (mono-ammonium phosphate) - fertilizer DCP (di-calcium phosphate) – feed phosphate
Plant availability	High	MAP completely water soluble
Hygienically safe	High	Incineration of sewage sludge
Acceptance (Agriculture)	High	The products are well-defined and commercially used
Metal / phosphorus ratio	Low	Heavy metals are separated, precipitation chemicals are recovered
Cd-/phosphorus ratio	Very low	< 1 mg Cd/kg P
Recovery rate	High	More than 90%

Figur 3.7 Summering av Ash2Phos enligt Ragn-Sells.

3.3 PhosphoGreen - P återvinning från rejektivatten

Peter Balslev, Suez Water Danmark

Peter Balslev representerade företaget Suez som driver tre anläggningar på danska reningsverk (Aby, Herning, Marselisborg) för utvinning av fosfor i form av struvit. Innehållet i presentationen stämde mycket bra med det som sades av Mathias Zessner angående denna typ av fosforutvinning. PhosphoGreen finns också med längst ned till vänster i figur 2.5. En översiktsbild av processen visas i figur 3.8.



Figur 3.8 Översikt över struvitprocessen. Inflödet är rejektivatten, luft, magnesiumklorid och natriumhydroxid för pH-kontroll. Utflödet är rejektivatten och struvit.

PhosphoGreen utgår från rejektivattenflödet från slamavvattningen och tillsätter magnesiumklorid, varefter struvitkristaller extraheras. Utflödet är en färdig gödselprodukt med utseende enligt figur 3.9, och sammansättning enligt bildtexten. Upp till hälften av ingående fosfor kan utvinnas i form av struvit, förutsatt att avloppsreningsverket har biologisk fosforfällning.



Figur 3.9 Färdig struvit med följande sammansättning: P 12,5 procent, N 5,5 procent och Mg 10 procent. Innehållet av Cd är extremt lågt, < 0,02 mg/kg, motsvarande en Cd/P-kvot på 0,2.

Peter Balslev framhöll följande fördelar med processen:

- Innovativ och effektiv rejektivattenhantering
- Kostnadsfördel, man får en produkt som kan säljas
- Avloppsreningsverket framstår som mer miljövänligt
- Sju års återbetalningstid
- Minskade kostnader för fällningskemikalier och slamavvattning
- Mindre slamproduktion
- Återstående slam med bättre N:P-förhållande
- Mindre klimatbelastning från processen

3.4 Pågående arbete för att på sikt utvinna fosfor från slamaska i Köpenhamn

Dines Thornberg, BIOFOS, Danmark

Dines Thornberg representerade BIOFOS i Danmark som är landets största sammanslutning för avloppsvattenrening omfattande tre stora reningsverk runt Köpenhamn: Lynetten, Avedøre och Damhusåen. Tillsammans har dessa en kapacitet för 1,7 miljoner personekvivalenter, och tar emot 800 ton fosfor i avloppsvattnet varje år. BIOFOS började med slamförbränning redan för 25 år sedan av tre skäl:

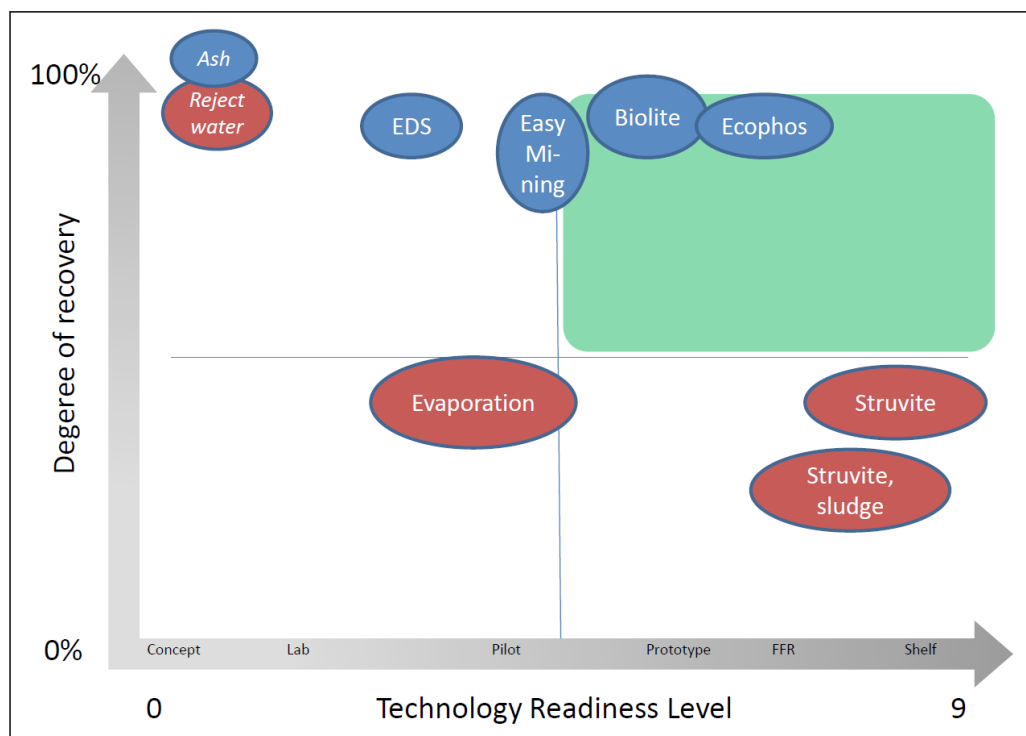
- Oberoende – att använda slam i jordbruket är osäkert på grund av den politiska debatten

- Slammet klarade ej de miljömässiga kraven
- BIOFOS ville undvika slamtransporter genom Köpenhamn

Denna förbränningsaktivitet under 25 år har skapat en enorm askhög, också kallad "fosforbank", på cirka 280 000 ton aska, med en uppskattad fosformängd på cirka 20 000 ton. Cd/P-kvoten i askan ligger mellan 20 och 70, och fosforhalten på 7–12 procent (jämför torkat slam cirka 3 procent). BIOFOS askhög innebär att fosforutvinningsteknik ur aska är högtintressant för BIOFOS och man utvärderar och bevakar ett antal olika tekniker. De utvärderingsparametrar som används är:

- TRL-nivå, det vill säga vilken teknisk utvecklingsnivå de olika processerna befinner sig på
- Kostnad
- Återvinningsgrad och miljöpåverkan
- Marknadssituation för återvunnen fosforprodukt och andra utflöden från studerade processer

BIOFOS har gjort en översiktlig bedömning av TRL-nivå relaterat till återvinningsgrad för olika tekniker (figur 3.10). Struvitprocesser har hög TRL-nivå men relativt låg återvinningsgrad av fosfor. Askutvinningsprocesserna har högre återvinningsgrad men är inte lika mogna ur TRL-synpunkt, det vill säga en bedömning i överensstämmelse med andra presentationer under dagen.



Figur 3.10 Beskrivning av TRL-nivå för olika typer av processer enligt BIOFOS.

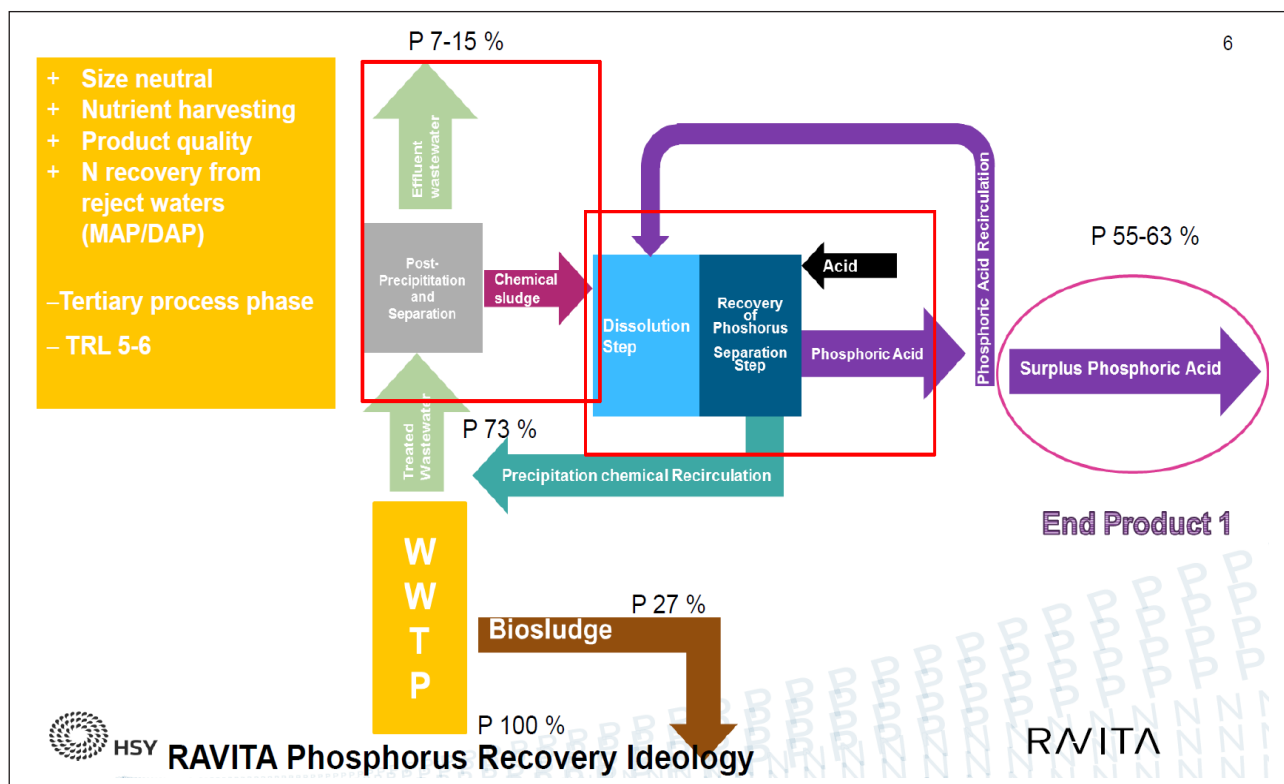
Dines Thornbergs slutsatser var bland annat följande:

- Fosforutvinning från askor är ännu inte någon "lagervara", men några av processerna är ganska nära detta stadium.
- Förhållandena i Tyskland är en stark drivkraft inom området.
- Fosforåtervinning är inte BIOFOS kärnverksamhet men BIOFOS har ett strategiskt mål att återvinna alla utflöden från avloppsreningsverken.
- BIOFOS förutsätter att medel för att förverkliga fosforåtervinning kommer från en extern källa, men BIOFOS vill vara med och skapa ett referensfall för fullskaleförsök.

3.5 Fosforåtervinning i Finland med Ravita-systemet

Laura Rossi, Helsinki Region Environmental Services Authority, Finland

Laura Rossi redovisade Ravita-projektet som går ut på att man i slutet av reningsprocessen faller ut fosfor och får ett kemsлам. Detta kemsлам behandlas sedan med delvis återvunnen fosforsyra från processen, och överskottet av fosfor tas ut i form av fosforsyra. Ett processschema framgår av figur 3.11. Det finns nu en demoanläggning som provkörs som är på TRL-nivå 5–6. Man ska också göra energi- och massbalanser på anläggningen samt ta ut ännu mer prover för analys. Projektet är ett statligt nyckelprojekt eftersom Finland på senare tid har antagit en vision att hushålla bättre med näringsämnen och bli ett föregångsland inom området.



Figur 3.11 Schematisk bild över Ravita-processen.

3.6 Fosforåtervinningspotential från termisk förgasat slam

Alejandra Campos, Sülzle Kopf, Tyskland

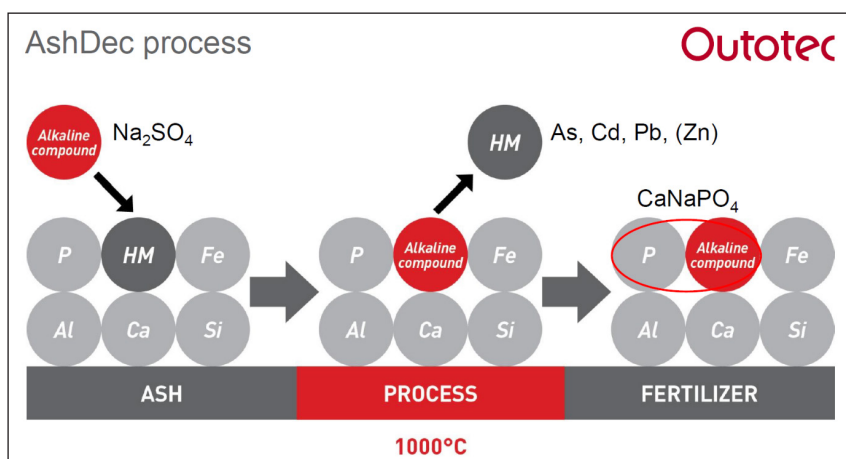
Sülzle Kopf SynGas är ett företag som bland annat specialiserat sig på att behandla avloppsslam med hjälp av förgasningsteknik. Slutprodukten är en form av biokol som ska användas direkt i lantbruket. Fördelarna som framhölls var att det inte ger en rest som måste deponeras till höga kostnader utan allt kan användas i lantbruket. Vid genomförda odlingsförsök visade biokolet en gödnings effekt jämförbar med råfosfat, och frågan ställdes om det därmed skulle kunna passa i ekologiskt lantbruk (se avsnitt 2.4).

Sülzle Kopf SynGas planerar fortsatta studier angående biokolets egenskaper som gödningsmedel, till exempel avseende långsiktig påverkan på jorden, betydelse av processparametrar, typ av kemisk fällning och additiv på produkten. Alejandra Campos konstaterade slutligen att det är viktigt att kvalitetskraven uppfylls, men att det i nuläget är oklart vad den kommande förordningen om gödningsmedel kommer att innebära för denna typ av material.

3.7 AshDec - termokemisk fosforåtervinning från slam

Tanja Schaff, Outotec, Tyskland

AshDec står för "Ash Decontamination" och innebär att processens ingångsmaterial är en slamaska som upphettas tillsammans med ett tillsatsmaterial, varvid slutprodukten blir en dekontaminerad aska. Upphettningen sker med hjälp av naturgas till 1 000 °C med tillsats av natriumsulfat som då byter plats med tungmetallerna i matrisen (figur 3.12). Tungmetallerna följer med rökgaserna och avskiljs i rökgasreningen.



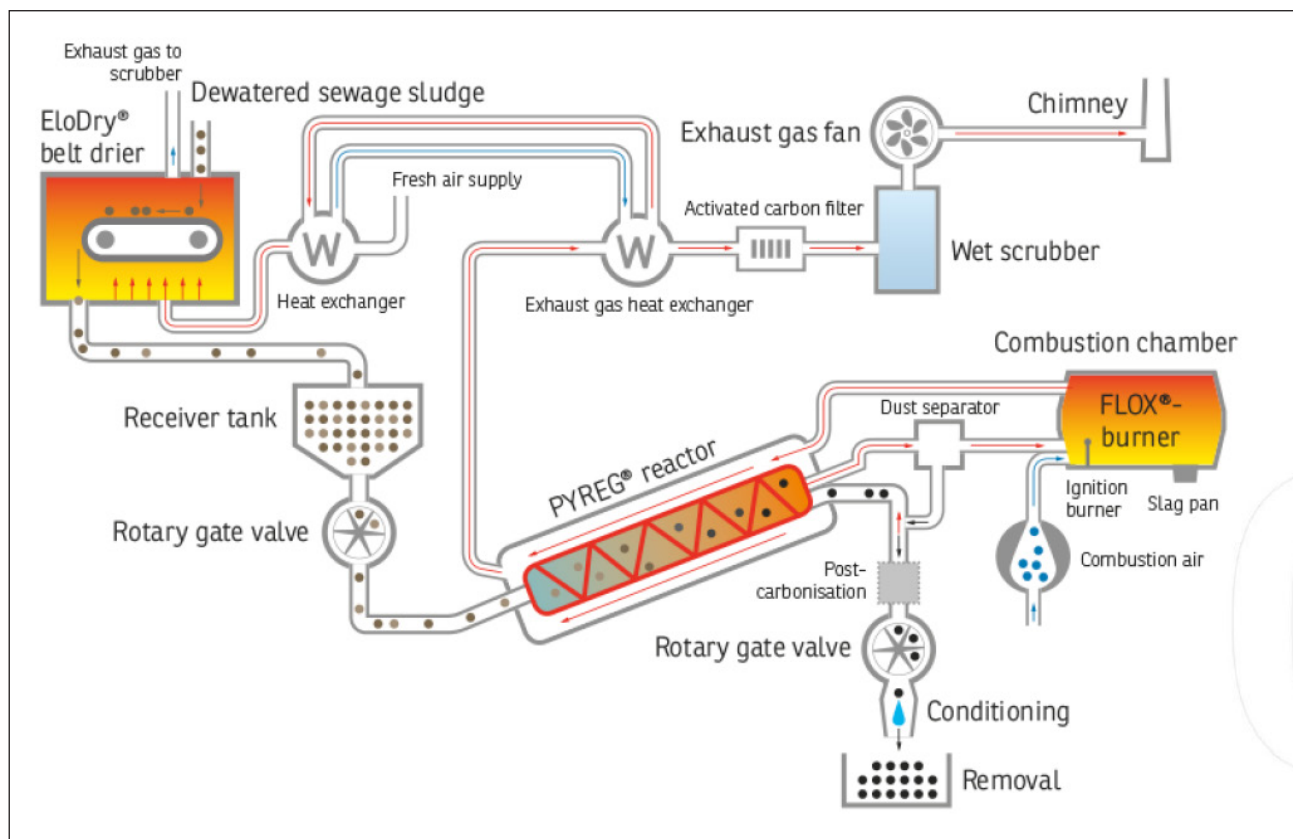
Figur 3.12 Schematisk bild över AshDec-processen. Tillsats av ett alkaliskt ämne, natriumsulfat, byter under processen plats med tungmetallerna och höjer värdet på askan som gödningsmedel.

Tanja Schaaf lyfte fram projektet CLOOP (Closing the Global Nutrient Loop). Syftet med detta projekt är att utveckla en marknad för återvunnen näring genom att gradvis påverka uppfattningen av vad som är ett gödningsmedel av hög kvalitet, det vill säga ett gödningsmedel som bygger på återvunnen näring och som utsöndras i precis den takt som växterna behöver näringen så att näringsläckage till omgivande vattendrag minimeras. Förutom Outotec ingår tyska kompetenscentrum, institut och universitet, tillsammans med universitet i Brasilien och Nya Zeeland i CLOOP.

3.8 Mineralisering av avloppsslam med PYREG

Elke SELLERING, Eliquo Stulz, Tyskland

Eliquo Stulz verkar inom avloppsvattensektorn med många olika aktiviteter. Elke SELLERING presenterade ett koncept som de har utvecklat för slamtorkning och efterföljande pyrolys, kallat ELODRY och PYREG. Figur 3.13 visar schematiskt hur systemet är uppbyggt. Första steget är en lågtemperaturbandtork. Detta steg finns i olika storlekar och använder överskotts- värme i temperaturintervallet 7–90 °C, när sådan finns. Det torra slammet pyrolyseras sedan i en cementugnsliknande reaktor som i huvudsak drivs av pyrolysgaserna. Biokolet matas ut i ugnens överdel och tas omhand för efterföljande användning.



Figur 3.13 Översikt över Eliquo Stulz process för slamtorkning och pyrolys.

Presentationen förde fram följande fördelar:

- Hög fosforhalt i biokolet, upp till 15 procent P_2O_5
- Hög återvinningsgrad av fosfor, mer än 80 procent
- Möjligt att använda direkt i gödselmedelsindustrin
- Fullständig hygienisering av slammet
- Destruktion av organiska föroreningar

Frågorna från seminariedeltagarna gällde driftproblem och ifrågasättande om huruvida ventilererna "rotary gate valve" verkligen fungerar. Detta ansåg Elke Selling inte vara något problem och hon framhöll att det finns fungerande referensanläggningar (ELODRY och PYREG) på avloppsreningsverken i Homborg och Linz-Unkel i Tyskland, och att det finns ytterligare 29 PYREG-anläggningar i drift i världen.

3.9 Anders Nättorp, University of Applied Sciences Northwestern Switzerland

Anders Nättorp är från Lund och har bott de senaste 25 åren i Schweiz. Han har gedigen kunskap om slambehandling i Schweiz, Österrike och Tyskland. Han summerade dagens seminarium och började med att lyfta fram några organisationer och projekt (figur 3.14).

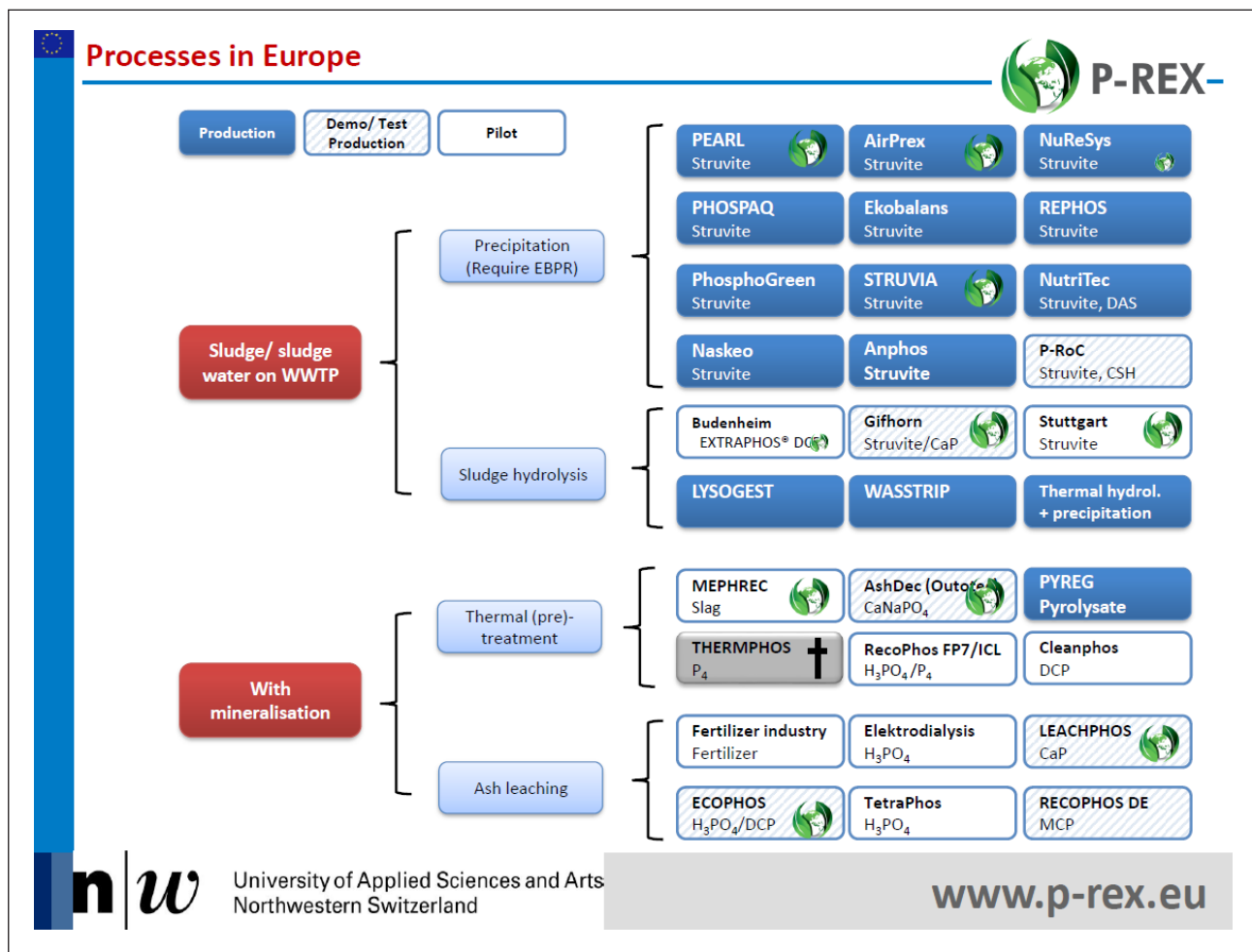
The infographic is titled "n|w University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland School of Life Sciences". It lists several key organizations and projects:

- FHNW**
 - P recovery since 2009
 - Current projects: 2 technology, 1 Collaboration
- P-REX** (with a green circular logo)
 - P-REX
 - 9 technologies
 - Piloting, Assessment, Regional Implementation
 - Main deliverables: <http://doi.org/10.5281/zenodo.242550>
- Phosphormetzwerk Schweiz** (with a red 'P' logo)
 - Switzerland
 - Implementation until 2026
 - VTMA- «progress report» in May
 - Swiss Phosphorus Network: <http://www.pxch.ch/>
- Participate Collaborate Innovate** (with a blue circular logo)
 - European Sustainable Phosphorus platform
 - Policy, Industry, Science
 - www.phosphorusplatform.eu

Figur 3.14 Viktiga organisationer inom fosforåtervinning.

P-Rex var ett EU-finansierat forskningsprojekt som gjorde en utvärdering av nio olika fosforåtervinningstekniker. Anders Nättorp lyfte också fram att förutom Tyskland har även Schweiz ett fosfornätverk som diskuterar fosforåtervinningsfrågor. Han nämnde även European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP) som är en europeisk nod för fosforåtervinning.

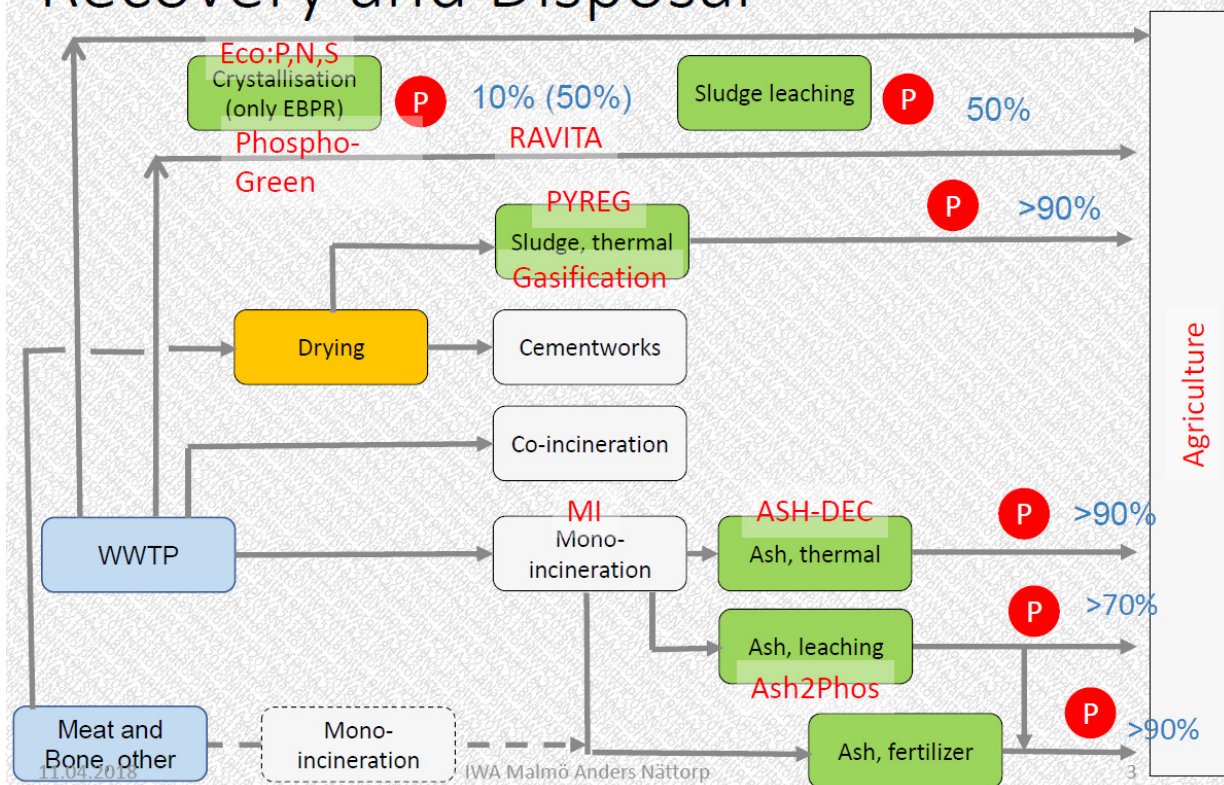
EU-projektet P-Rex ger en överblick av de olika teknikerna som är svårslagen. Figur 3.15 visar dels vilken typ av process det handlar om, dels vilken teknisk mognad processen hade år 2015 då bilden skapades. Blå rektangel betyder fullskala, randig betyder demo/test och vit rektangel betyder pilotnivå. Många av processerna som presenterades på seminariet återfinns i figuren.



Figur 3.15 Översikt av det avslutade projektet P-REX där flera av processerna som presenterades på seminariet återfinns. Ash2Phos-processen var inte med i P-REX, men sorterar in under "Ash leaching". RAVITA-processen är för ny för att finnas med.

Därefter övergick Anders Nättorp till att summera dagens presentationer och sätta dem i sitt sammanhang. Figur 3.16 visar var i systemet de olika processerna som presenterades kan placeras och också vilken ungefärlig återvinningsgrad av fosfor de har.

Recovery and Disposal



Figur 3.16 Seminariets presentationer i sitt sammanhang.

4 Workshop den 12 april 2018

4.1 Förmiddag

Till workshopen den 12 april samlades ett 40-tal experter och problemägare. Syftet var att ge möjlighet att diskutera fosforåtervinning ur många perspektiv. På förmiddagen var det en diskussion med en expertpanel som bestod av:

- Inge Johansson, RISE Research Institutes of Sweden
- Thomas Koch, TK Energy, Danmark
- Fabian Kraus, Kompetenzzentrum Wasser Berlin, Tyskland
- Lena Rodhe, RISE Research Institutes of Sweden
- Mathias Zessner, Vienna University of Technology, Österrike

Anders Nättorp, University of Applied Sciences Northwestern Switzerland, var moderator och diskussionen sammanfattas i detta kapitel.

4.1.1 Fosforprodukter

Man informerade om att produktionen av grödor behöver ökas med 50 procent i framtiden för att täcka behovet i världen. För att kunna göra det krävs det stora mängder växtnäring. Det påtalades att mineralgödselmedel, NPK-gödsel, saknar spårelement som zink och selen och inte minst organiskt material för att grödorna ska ha full näringstillgång och en god jordmån på lång sikt.

Seminarium (11 april) och workshop (12 april) handlade om fosforåtervinning från avloppsvatten med fokus på potential för termokemisk slambehandling. Under diskussionen kom det synpunkter på att det är för mycket fokus på direkt produktion av gödningsmedel, i stället för att också titta på möjligheter att få fram bra fosforprodukter med utgångspunkt från fosforsyra som utvinns ur slammet.

Det påpekades också att man inte bara ska fokusera på fosforprodukter utan också på mer komplexa produkter respektive komponenter som man kan producera ur avloppsvatten respektive slam. Produkterna måste vara konkurrenskraftiga i relation till nuvarande mineralgödselprodukter.

4.1.2 Marknad, marknadspris och producenter

Oavsett vilken fosforprodukt det gäller med ursprung i avloppsvatten eller avloppsslam lyftes följande frågor/synpunkter:

- Finns det en marknad som är villig att ta emot produkter som kommer från avloppsvatten?
- Produktkvaliteten måste vara hög (om inte minst lika hög) som hos befintliga fosforprodukter på marknaden.
- I princip är det mindre viktigt varifrån fosfor kommer; det är marknadspriset som är viktigt.
- Det är gödselproducentens uppgift att hantera gödselproduktion och -distribution; det kan inte vara avloppsreningsverkets uppgift.

- Gödselproducenter har börjat tittat närmare på ”organo-mineral-fertilizers” (OMF) och på ”circular economy” som båda är nya områden för dem. (OMF av slam innebär i de flesta fall att avvattnat slam hygieniseras och blandas med andra material, bland annat mineralgödselkomponenter för att bilda ett fullgödselmedel jämförbart med NPK. Alla kemiska föreningar är således kvar i denna typ av gödningsprodukt.)

4.1.3 Teknik Readiness Level (TRL), processintegration, kriterier och drift

Det finns olika tekniker för fosforåtervinning, och frågan ställdes på vilken TRL-nivå processerna för fosforåtervinning är och hur lätt dessa processer kan integreras på till exempel befintligt avloppsreningsverk eller befintlig slamförbränningsanläggning.

För tillfället finns i Europa cirka 60 monoförbränningsanläggningar av typen fluidiserad bädd, vilket anses som en bra, enkel och hanterlig process. Det påpekades att man behöver beakta vilka energikällor man vill använda för slamtorkning.

En monoförbränningsanläggning bör dimensioneras för kontinuerlig drift för att optimera ekonomin. Nuvarande anläggningar byggs för att klara minst 50 000 ton/år (25 procent TS). Ett exempel är att reningsverket i Zürich (Schweiz) tar emot allt producerat slam från hela kantonen och förbränner det i en monoförbränningsanläggning som går kontinuerligt.

Andra frågor som lyftes utöver energikälla för slamtorkning och kapacitet, var vem som ska sköta en förbränningsanläggning och hur eventuella sidoströmmar från förbränningen ska hanteras, till exempel flygaska.

Innan man funderar på att implementera slamförbränning ska inte bara slammängd beaktas utan också reningsverkets omgivning. Hur ligger reningsverket i förhållande till andra reningsverk, och vilken miljöpåverkan innebär transporter? En systemanalys baserad på olika scenarier behöver genomföras med avseende på miljöeffekter, resursbehov, ekonomiska aspekter med mera. Ett exempel som nämndes är att staden Berlins lösning för slamhantering från fem olika reningsverk inte var den mest ekonomiskt fördelaktiga, men var den bästa lösningen när flera uppställda kriterier vägdes samman. Baserat på Berlinexemplet rekommenderades att varje enskild VA-ansvarig ställer upp sina egna kriterier, värderingar och begränsningar som behövs för att finna den bästa lösningen i det aktuella fallet.

4.1.4 Slamförbränning i Sverige?

Med tanke på Tysklands nya förordning om fosforåtervinning diskuterades vilken trolig inriktning som Sverige kommer att ta, och följande punkter nämndes:

- En anledning till slamförbränning är att destruera miljöfarliga ämnen.
- Det är ingen bra idé att samförbränna slam med avfall. Fosforhalten minskar i askan vilket är negativt i ett ekonomiskt perspektiv, men även en teknisk utmaning.
- Det uppskattades att det är lämpligt med en till två slamförbränningsanläggningar för södra Sverige.

- Monoförbränning ansågs vara säkert, och inga luktolägenheter uppkommer.
- Det finns inte en och samma lösning för alla avloppsreningsverk.

Det fanns även frågor som man ansåg behöver utredas ytterligare:

- Politiska och ekonomiska gränser mellan kommuner och län i Sverige måste hanteras för att kunna planera slamfrågan inför framtiden.
- Kadmiumavskiljning i förbränningsanläggningar.
- Bör Tysklands lagstiftningsmodell appliceras på Sverige, eller är Hollands system som bygger på frivillighet att föredra?
- I Sverige betraktas aska som en avfallsprodukt och den är avgiftsbelagd med cirka 500 kr/ton. Det nämndes att till exempel Norge inte avgiftsbelägger aska.
- Sverige behöver mjuka upp vissa (avfalls)regler för att monoförbränning ska bli attraktivt.

4.1.5 Tillgänglighet av näringsämnen för grödor

I workshopen lyftes frågan om vad växttillgänglighet innebär. För att få svar på frågan undrades i vilken skala till exempel fosforupptagningsförsök ska genomföras: kärl-, växthus- eller fältförsök? Det framfördes att resultat från kärlförsök inte var användbara, utan att test bör ske i fältskala. Utöver detta behöver man undersöka lösligheten av gödselmedlet i jorden. Återigen togs upp att inte bara kväve, fosfor och kalium behövs utan också andra ämnen. Kan aska spridas på åkermark eller ska den bara spridas i skogsmark? Om aska ska användas som ersättning för mineralgödselmedel behövs cirka 4–5 gånger mer aska för att komma upp till samma gödnings effekt som superfosfat. Utöver mängden diskuterades även andra föroreningar i askan, till exempel tungmetaller.

4.2 Summering av workshop, eftermiddag

Under eftermiddagen genomfördes en workshop i form av gruppdiskussioner. Varje grupp valde ett eller flera teman som presenterades. Diskussionerna sammanfattas nedan i ett antal underrubriker för att göra det lättöverskådligt.

4.2.1 Reningsverkens roll

Diskussionen handlade om rollfördelningen mellan avloppsreningsverk, gödselmedelsproducenter och lantbrukare. Frågan har diskuterats mycket tidigare men är ständigt aktuell. Ska kommunala VA-bolag som återvinner fosfor bli gödselmedelsproducenter och erbjuda sina produkter direkt till jordbrukssektorn, eller ska man framställa en fosforfraktion som tas omhand av gödselmedelsindustrin som inarbetar den återvunna fosfor i sitt produktutbud? Vid diskussion hade ännu inte kommittédirektivet kommit, men efter att detta publicerades sommaren 2018 har frågan blivit än mer aktuell. Är gödselmedelsindustrin intresserad av att lämna stadiet att bara producera fossilgödselmedel och i stället utöka sin produktflora med återvunna näringsämnen?

4.2.2 Reningsverkens valmöjligheter

Diskussionen gällde vilka möjligheter ett befintligt avloppsreningsverk har att ställa om processen för att också återvinna fosfor. Vad får man göra inom ramen för befintlig nivå på VA-taxan? Uppgiften är trots allt att rena avloppsvatten från fosfor och kväve. Man var dock enig om att vid stora ombyggnationer eller då nya verk byggs har man möjlighet att på ett smidigare sätt införa fosforåtervinning. Det finns två aktuella fall just nu: Sjölunda avloppsreningsverk i Malmö som ska byggas om, samt byggnation av ett helt nytt avloppsreningsverk i Lidköping där planer finns att införa struvitprocessen. Diskussionen gällde också hur stor påverkan storskalig fosforåtervinning från avloppssektorn skulle kunna få. Kan den verkligen påverka den fosforbrytning som pågår i gruvor eller blir påverkan försumbar? Man framförde att gödselmedelsindustrin nog bör involveras mer i processen. Skulle till exempel Yara kunna ta hand om aska från slamförbränning och använda fosfor från askan som komplement till den fosfor de utvinnet ur gruvan i Siilinjärvi i Finland idag?

4.2.3 Kvalitet på återvunnen växtnäring

En del av diskussionen handlade om vilken kvalitet det blir på återvunnen näring och hur den ska hanteras. Om man framställer biokol via pyrolys med EkoBalans process, hur bra blir den biokolen som jordförbättringsmedel? Hur mycket näring innehåller den i form av fosfor och hur växttillgänglig är den näringen? Är man säker på att metallhalterna, speciellt kadmium, är tillräckligt låga om man framställer biokol och struvit? Hur bra kommer dessa näringsfraktioner att fungera i jordbruket, vilka jordbrukare kan acceptera att ta hand om dem och hur ser den ekonomiska modellen ut kring detta?

4.2.4 Ska avloppsreningsverken bränna slam?

En grupp diskuterade om avloppsreningsverken i sin organisation också ska sköta driften av torknings- och/eller förbränningsanläggningar. I Danmark har det visat sig att personalen vid BIOFOS, som både hanterar avloppsrening och slamförbränning, tycker det är lugnare och smidigare att jobba vid förbränningen än vid avloppsreningen eftersom processen är lugnare och mer stabil vid förbränning. Diskussionen handlade också om i vilken skala som förbränning ska utföras, och många framförde synpunkten att förbränningsanläggningen bör vara så stor att den kan gå kontinuerligt för att undvika driftproblem relaterade till start och stopp. Detta innebär i så fall att en förbränningsanläggning förbränner slam från flera olika reningsverk vilket är den modell som tillämpas både i Danmark och Schweiz. Frågan är också var torkning ska ske, lokalt vid reningsverket eller regionalt i anslutning till förbränningen? Behövs det en regional samordning av hanteringen och vem ska utföra det arbetet i så fall? Diskussionen handlade mest om monoförbränning av slam och inte så mycket om samförbränning av slam, trots att det kanske är det alternativet som ligger närmast till hands i Sverige.

En fråga som diskuterades i samband med slamförbränning var uppströmsarbetet. Vad händer med det om man börjar förbränna slam i större

skala? De flesta höll med om att uppströmarbetet är fortsatt viktigt även om man bränner slammet eftersom avloppsreningsverket har en recipient som gynnas av bra uppströmsarbete.

5 Summering

Det finns tre olika startpunkter för att återvinna fosfor och eventuellt andra näringsämnen från avloppsrening. Den första startpunkten är inne i reningsverket. I denna kategori fokuseras processerna på de lösta näringsämnena i rejektvattenflödet efter slamavvattning, och då har man således bara tillgång till näringsämnena som finns i detta flöde. De icke lösta näringsämnena följer med slammet, vilket sätter en gräns för återvunnen mängd (med dagens konstruktion av avloppsreningsverken). Det bästa exemplet på denna teknik är den välkända struvitprocessen som fungerar bra om avloppsreningsverket tillämpar biologisk fosforfällning; då kan upp till 50 procent av inkommande fosfor utvinnas. Efter struvitutfällning går det att seriekoppla en kväveutvinningsprocess för rejektvattnet för att utvinna kväve i form av ammoniumsulfat. Det finns många företag som fokuserar på struvitutvinning (till exempel SUEZ) men färre som försöker utvinna även kväve i nuläget. EkoBalans har ambitionen att utvinna mer än struvitfosfor och för fram att vi bör ta ett helhetsgrepp och bygga om avloppsreningsverken för att möjliggöra både vattenrening och maximal återvinning av näringsämnena för att sträva mot en cirkulär ekonomi.

Den andra startpunkten är på avvattnat slam. Ingen teknikleverantör med denna processtyp fanns representerad på seminariet. Den här processstypen verkar generellt sett ligga på en lägre TRL-nivå än både processer i reningsverket och askbehandlingsprocesser.

Den tredje startpunkten är att jobba med termiska processer på slamaskor. De allra flesta processerna kräver att slammet torkas före förbränning eller pyrolys, speciellt om slammet ska monoförbrännas. Flera av dessa processer var representerade på seminariet: AshDec som bränner askan med tillsatsmaterial för att rena den från tungmetaller, PYREG som pyrolyserar det torkade slammet och Ash2Phos som utgår från askan och tar fram ett gödningsmedel och användbara biprodukter. Förgasning av slam (SLUGAS) och metallurgiska processer (Mephrec med flera) verkar vara av typen grundforskning och verkar svåra att tillämpa för att återvinna fosfor på ett effektivt och enkelt sätt.

Ingen av de närvarande processleverantörerna redovisade några kostnader för att införa och driva de presenterade processerna, och ingen av de presenterade processerna finns i dag i kontinuerlig drift på något avloppsreningsverk i Sverige, men väl utanför Sveriges gränser.

Betydelsen av att återföra organiskt material och bibehålla jordens mullhalt har fått ganska liten uppmärksamhet i sammanhanget. Enbart pyrolysisprocesser med biokol förbättrar markens bördighet och vattenhållande förmåga.

Synen på vattenlöslighet skiljer sig mellan olika aktörer. Mineralgödseltillverkarna och aktörer med återvunnen näring med motsvarande egenskaper lyfter fram hög vattenlöslighet som en fördel. Andra marknadsaktörer med återvunnen näring (till exempel struvit) ser hög vattenlöslighet som en riskegenskap som kan bidra till övergödning i sjöar och vattendrag, och pratar hellre om växtnäring när växterna behöver det, "nutrition-on-demand".

Det är högst oklart vilken aktör som ska hantera de produkter av återvunnen näring som förmodligen kommer att produceras efter det att slamspridningsförbudet och fosforåtervinningskravet realiserats, och i nuläget väntar alla aktörer på vad som kommer att stå i lagförslaget i september 2019.



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se