



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Innovationspartner- skab for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam fra spildevandsforsyninger

Miljøprojekt nr. 1460, 2013

Titel:

Innovationspartnerskab for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam fra spildevandsforsyninger

Redaktion:

DHI (Anke Oberender, Peter Andreasen og Jens Tørsløv), Videncentret for Landbrug (Anke Stubsgaard), Miljøstyrelsen (Linda Bagge)

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2013

ISBN nr.

978-87-92903-82-2

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	7
Sammenfatning	8
Summary	13
1. Indledning	18
1.1 Teknologiudvikling	18
1.2 Markedsudvikling	19
1.3 Reguleringsudvikling	19
1.4 Opbygning og struktur af partnerskabet.....	19
1.5 Rapportens opbygning.....	20
2. Fosfor som ressource	22
2.1 Fosforkredsløbet i Danmark.....	23
2.2 Fosfortilgængelighed	24
3. Fosforkilder fra spildevandsrensning	26
3.1 Oversigt over danske renselanlæg.....	27
3.2 Introduktion til fosforfjernelse på danske renselanlæg	28
3.2.1 Biologisk fosforfjernelse	28
3.2.2 Kemisk fosforfjernelse	29
3.2.3 Kombination af biologisk og kemisk fosforfjernelse	30
3.3 Slambehandlingsmetoder og fosfor	31
3.3.1 Forafvanding	31
3.3.2 Forbehandling (ultralyd, ex Ultralyd, CAMBI, Exelys, Westcome enzyme)	32
3.3.3 Udrådning (mesofil, termofil)	32
3.3.4 Slutafvanding	33
3.3.5 Tørring.....	33
3.3.6 Forbrænding.....	33
3.4 Eksempel på driftsøkonomi ved øget andel af biologisk fosforfjernelse	33
3.5 Opsummering	38
4. Eksisterende teknologier	39
4.1 Direkte udbringning af stabiliseret slam	39
4.1.1 Udrådnings slam.....	39
4.1.2 Beluftning	40
4.1.3 Kalkstabilisering	40
4.1.4 Udbringning	40
4.2 Kompostering af slam	41
4.2.1 Anlægsspecifik beskrivelse for milekompostering	41
4.2.2 Anlægsspecifik beskrivelse for kompostering i lukkede processer	42
4.3 Mineralisering af slam	43
4.4 Tørring.....	44
4.5 Slamforbrænding i fluid bed anlæg.....	46
4.6 Deponi/mellemlagring	47
4.7 Opsummering	48

5. Udviklingsteknologier til fosforgenvinding fra spildevand og spildevandsslam.....	49
5.1 Fosforudfældning fra rejeftvand eller væsken i spildevandsslam.....	49
5.1.1 MAP – Magnesiumammoniumfosfat (struvit)	51
5.1.2 HAP – Hydroxylapatit	56
5.2 Termisk behandling af slam og aske	57
5.2.1 Pyrolyse og termisk forgasning	57
5.2.2 Termisk-kemisk behandling af aske.....	58
5.2.3 Metallurgisk behandling af slam og/eller aske	59
5.3 Genanvendelse af fosfor fra slam	61
5.3.1 Termisk hydrolyse af slam kombineret med kemisk ekstraktion	61
5.3.2 Biologisk fældning af tungmetaller i slam	64
5.4 Kemisk ekstraktion af fosfor fra slamaske	66
5.4.1 pH fældning.....	66
5.4.2 Ionbytning.....	71
5.4.3 Elektrolytisk separation.....	73
5.5 Opsummering	75
6. Markedsudvikling	76
6.1 Anvendelsen af stabiliseret slam på landbrugsjord.....	77
6.1.1 Landsforsøg med gødningsværdien af stabiliseret slam	86
6.1.2 Prissætning af slamgenanvendelse på landbrugsjord	87
6.2 Fosforprodukter fra rejeftvand, slam, aske, biochar	88
6.2.1 Kvaliteten af fosforprodukter	93
6.2.2 Anvendelsesmuligheder for fosforprodukter.....	94
6.3 Diskussion	97
6.3.1 Markedet for anvendelse af slam.....	97
6.3.2 Markedet for nye teknologier	98
6.3.3 Muligheder for dansk systemeksport.....	99
6.3.4 Danske rådgiveres rolle i innovation og eksport af dansk miljøteknologi - eksport af "know-how"	100
7. Regulering.....	102
7.1 Affaldsbekendtgørelsen	102
7.1.1 EU's kommissionens fortolkning af LCT begrebet	104
7.1.2 Kommunernes rolle og kompetencer i forhold til spildevandsslam og affaldsplanlægning.....	105
7.2 Slambekendtgørelsen	105
7.3 Vandsektorloven	106
7.4 VVM-bekendtgørelsen.....	108
7.4.1 VVM regler i relation til anvendelse af spildevandsslam til jordbrugsformål	108
7.5 Husdyrgodkendelsesloven og lov om jordbrugets anvendelse af gødning.....	108
7.6 Tilsynsbekendtgørelsen	110
7.7 Bekendtgørelsen om anvendelse af gødning og gødningsregnskab	110
7.8 Direktivet om industrielle emissioner (IE-direktivet), herunder bekendtgørelse om forbrænding af affald	110
7.9 Deponeringsbekendtgørelsen.....	111
7.10 EU regler og håndtering spildevandsslam i visse europæiske lande	112
7.10.1 Slamdirektivet	112
7.10.2 Håndtering af spildevandsslam i visse europæiske lande.....	113
7.11 Diskussion	114
7.12 Andre forhold i relation til regulering af fosfor i slam	115
7.12.1 Image/ forsigtighedsprincip	115

7.12.2	Økologisk landbrug	116
7.12.3	Ændring af afgift på affaldsforbrændingsanlæg	116

Referencer **118**

Bilag 1:	Oversigt over deltagerne i arbejdsgrupperne
Bilag 2:	Beskrivelse af eksisterende teknologier i Danmark til behandling af organisk affald (DAKOFA, 2012)
Bilag 3:	Nyere teknologier til fosforindvinding fra spildevand og spildevandsslam
Bilag 4:	Struvitfældede processer
Bilag 5:	Hydroxylfældede processer
Bilag 6:	Uddrag af Bekendtgørelse nr. 1415 af 12. december 2011 om affald (Affaldsbekendtgørelsen) i forhold til anvendelse af spildevandsslam
Bilag 7:	Uddrag af Bekendtgørelse nr. 1650 af 13. december 2006 om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen) i forhold til anvendelse af spildevandsslam
Bilag 8:	Uddrag af Bekendtgørelse nr. 1356 af 21. dec. 2011 om anlæg, der forbrænder affald i forhold til anvendelse af spildevandsslam
Bilag 9:	Uddrag af Bekendtgørelse nr. 719 af 24. juni 2011 om deponeringsanlæg (Deponeringsbekendtgørelsen) i forhold til anvendelse af spildevandsslam
Bilag 10:	Grænseværdier for spildevandsslam
Bilag 11:	Foreløbig oversigt over affaldshierarkiet og dets nøglebegreber baseret på Europa-Kommissionens "Guidance on the interpretation of the key provisions of Directive 2008/98/EC on waste" (MST, 2012a).

Forord

I regeringens affaldsstrategi 2010 findes en målsætning om en øget indsats for reduktion af ressource-tabet generelt og om, at det er særligt vigtigt, at knappe ressourcer¹ som fosfor bliver genanvendt. Miljøstyrelsen afholdt i november 2010 en workshop om genanvendelse af fosfor i aske fra husdyrgødning, spildevandsslam og organisk affald med det formål at afdække muligheder og potentiale for at etablere et partnerskab for genanvendelse af fosfor i aske fra husdyrgødning, spildevandsslam og organisk affald. På workshoppen deltog en række interessenter, myndigheder og forskere. Der var en positiv tilkendegivelse for oprettelse af og deltagelse i et sådant partnerskab, og der blev udtrykt behov for en indsats for genanvendelse af fosfor. Der var enighed om, at der er behov for en "brændende platform" på området (drivers i form af ny regulering, mulighed for indtjening, m.v.) samt stabile rammebetingelser og klare målsætninger for at få engageret virksomhederne i teknologiudvikling og deltagelse i partnerskabet. Flere pegede på, at det ville være mest hensigtsmæssigt at etablere flere partnerskaber med fokus på de organiske udgangsprodukter (husdyrgødning, spildevandsslam, m.v.), da teknologiske udfordringer og potentialer er forskellige for de enkelte fraktioner.

Arbejdet i partnerskabet har været fulgt af ca. 90 aktører fra forskellige sektorer, som f.eks. spildevandsforsyninger, myndigheder, rådgivere, universiteter, videninstitutioner, gødningsproducenter, kemikalieproducenter samt interesse- og brancheorganisationer.

Projektet er fulgt af en styregruppe. Styregruppen for partnerskabet består af repræsentanter fra Miljøstyrelsen (Linda Bagge og Morten Carlsbæk), DANVA (Helle Katrine Andersen), Landbrug & Fødevarer (Henrik Bang Jensen), Aalborg Universitet (Per Halkjær Nielsen), Videncentret for Landbrug (Anke Stubsgaard) og DHI (Anke Oberender, Peter Andreasen og Jens Tørsløv).

¹ En knap ressource er en ressource, som findes i en begrænset og på lang sigt utilstrækkelig mængde i forhold til dens efterspørgsel.

Sammenfatning

I december 2011 blev innovationspartnerskabet for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam etableret. I opstartsmødet deltog ca. 60 aktører, bl.a. spildevandsforsyninger, gødningsproducenter, producenter af fosforfældende kemikalier, leverandører af miljøteknologi, rådgivere, videninstitutioner og myndigheder. Partnerskabet er oprettet som led i regeringens affaldsstrategi 2010 og implementeringen af regeringens miljøteknologiske handlingsplan (2010-2011) "Miljøteknologi – til gavn for miljø og vækst".

Formålet med partnerskabet er at skabe en ny platform for strategisk samarbejde om udvinding og nyttiggørelse af fosfor i affald med særligt fokus på fosfor i spildevand og spildevandsslam. Partnerskabet har i første omgang fokus på følgende overordnede aktiviteter:

- Udvikling af teknologi, herunder bl.a. identificering af behovet for videreudvikling af eksisterende teknologi og udvikling af ny teknologi.
- Markedsudvikling, herunder etablering af et grundlag for vurdering af det markedsmæssige potentiale for eksisterende direkte fosforgenanvendelse og for alternative teknologier. Desuden er målet med denne aktivitet at afdække barrierer og fremme betingelserne for markedsudviklingen.
- Udvikling af regulering, herunder undersøgelse af muligheden for opstilling af målsætninger for øget genanvendelse af fosforressourcer fra spildevand og spildevandsslam. Dette omfatter bl.a. at afdække miljø-, sundheds- og lovgivningsmæssige barrierer samt at fremme betingelserne for genanvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam.

I december 2011 blev der afholdt et opstartsmøde for partnerskabet, hvor mødedeltagerne definerede visionen og målsætning for partnerskabet. I forbindelse med opstartsmødet blev der nedsat tre arbejdsgrupper – teknologiudvikling, markedsudvikling, reguleringsudvikling – og gruppernes arbejdsgrundlag blev efterfølgende defineret.

Teknologiudvikling

Deltagerne i gruppen for teknologiudvikling har udarbejdet en liste over teknologier til udvinding/udnyttelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam. Listen omfatter teknologier til spildevand og rejektivand, som finder anvendelse på rensningsanlæg, og den inkluderer eksisterende og veletablerede behandlingsteknologier for organisk affald, herunder spildevandsslam. Desuden er der udarbejdet en oversigt over udviklingsteknologier til fosforudvinding fra spildevand og spildevandsslam, som indbefatter nye danske og udenlandske samt eksisterende udenlandske teknologier.

Der er beskrevet nogle forslag til teknologiske udviklingsbehov, som kan fremme genanvendelse af fosfor. Fokuseres der alene på optimal fosforanvendelse, er det således en fordel at fjerne fosfor fra spildevand med biologiske metoder og undgå brug af kemikalier. Anvendes kemikalier, bør der anvendes jern (ikke aluminium) og i mindst mulige mængde. Det vurderes, at der er behov for en udvikling af helhedsorienterede løsninger, som sikrer optimale muligheder for at udnytte fosforreserven i såvel spildevandet som i slammet, hvor både spildevands- og slambehandlingen og den efterfølgende slanhåndtering og jordbrugsanvendelse tænkes ind. Det bør fastlægges, hvor det meste af fosforen findes, og hvor fosforen kan udvindes.

Konkrete forslag omfatter:

- Der bør etableres et bedre overblik over tilgængeligheden af fosfor (dvs. gødningsværdien) ved forskellige behandlingsmetoder.
- Der er behov for en forbedret eller ny analysemetode for fosforplantetilgængelighed.
- Forbedring af den biologiske fosforfjernelse på rensningsanlæg.
- Behandling af rejktvand med henblik på at udvinde fosfor (f.eks. som struvit eller HAP - hydroxylapatit).
- Forbrænding, der sikrer dedikeret forbrænding af spildevandsslam med efterfølgende kontrolleret deponering af slammaske i fosforbanker for at sikre, at fosforressourcen kan udvindes (f.eks. *landfill mining*), når teknologien er udviklet, og/eller økonomien tillader det.

Der er andre store fosforstrømme, som f.eks. kød- og benmel, som burde tænkes ind i en fælles deponeringsløsning, således at de fosforasker, der i dag ikke kan oparbejdes, kan opbevares på en kontrolleret måde. Det kunne blive en målsætning at etablere fosforbanker med fosfor til fremtidens fødevarereproduktion eller blot at opsamle asken og oparbejde den løbende for at recirkulere den danske fosfor. Fosforbanker kunne være et element, som yderligere vil flytte fokus på ressourceeffektivitet, og kunne være et nyt koncept, som måske kunne udvikles og eksporteres i form af systemeksport.

Markedsudvikling

Der blev skabt et overblik over markedssituationen for anvendelse af spildevandsslam samt for potentielle markeder i relation til afsætning af teknologi for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam samt salg af oparbejdede P-produkter.

Der findes i Danmark teknologier, som sikrer en behandling af slammet, der giver brugerne den nødvendige kvalitet (let spredbart, høj gødningsværdi, overholder grænseværdier for tungmetaller og miljøfremmede stoffer). Der er i 2012 en udbredt anvendelse af slam som gødning på landbrugsjord, hvilket er et udtryk for, at de forskellige teknikker og produkter kan omsættes af slamformidlere og forsyningerne.

Der vil fortsat være behov for at undersøge slammets kvalitet og indholdsstoffernes skæbne, dels ved de forskellige behandlingsmetoder, dels ved evt. efterfølgende anvendelse som gødning. Derved sikres den faglige viden, som er grundlaget for vurderinger af, hvordan slammet bedst kan nyttiggøres.

Fosforprodukter fra rejktvand, slam, aske og biochar (en koks, som fremstilles ved pyrolyse af biomasse, såsom slam) kan i stor udstrækning anvendes som gødning – enten direkte på lige fod med konventionel handelsgødning, som råmateriale til gødningsfremstilling eller som alternativ gødning, og der er mængdemæssigt grundlag for, at fosforen i spildevandet/spildevandsslammet kan afsættes som erstatning for handelsgødning.

Prissætning for alle produkter sker efter markedsprincipperne – udbud og efterspørgsel bestemmer prisen. Sådan som markedssituationen er i dag, har den direkte anvendelse af slam som gødning den laveste pris, sammenlignet med andre eksisterende og nye teknologier.

Der er forskellige holdninger i de forskellige dele af branchen i forhold til prissætning og afsætning af slam. Blandt andet har det været diskuteret, om man i branchen kunne anvende et mere positivt ord end "slam", der opfattes som noget negativt. I andre lande anvendes f.eks. ordet "biosolids". Tillid til produktet afhænger i høj grad af denne *branding*, samt om der er tale om et affald eller et egentligt produkt. Såfremt der ikke længere er tale om affald, men om et produkt, som f.eks. gødning, vil det ikke være omfattet af affaldsreglerne, men af de produktregler, der gælder for gødning. Denne oparbejdning og omklassificering fra affald til produkt må forventes at have betydning for

pris og afsætning. Dette vil være relevant for både markedet for anvendelse af slam og markedet for nye teknologier/fosforprodukter (f.eks. struvit eller HAP).

For at kunne konkurrere med konventionel handelsgødning skal produktet kunne overholde de kvalitetskrav, der stilles til f.eks. gødning. Samtidig skal produktets pris afspejle markedsprisen for fosfor. Mange af de nye teknologier er ikke kommercielt bæredygtige endnu. Anlægs- og procesudgifter er typisk forholdsvis høje, og hvis udgifterne skal dækkes, skal produktprisen følgelig sættes højt. Dette betyder, at de nye fosforprodukter ikke vil kunne konkurrere med konventionelle gødningsprodukter, da markedsprisen for fosfor endnu er forholdsvis lav. Et politisk krav om en høj fosforanvendelse kunne være et virkemiddel i markedet, der kan påvirke markedet i retning af sådan et krav.

Enkelte danske spildevandsforsyninger har etableret en forbrændingsløsning for deres spildevands-slam. Der findes således i dag depoter med aske/slagge fra slamforbrænding (f.eks. ved Lynetten), som potentielt kan behandles, og hvor fosforen kan udvindes. Asken fra sådanne depoter kan principielt indgå i behandlingsteknologierne, som er beskrevet i kapitel 5. I forbindelse med udvinding af fosfor er prisen på fosfor ret afgørende for det rentable i en teknologi, idet salgsprisen indgår i den samlede økonomi. Såfremt salgsprisen på fosfor i de næste år ikke er tilstrækkeligt høj, kan det bevirke, at aske fra slamforbrændingsanlæg ikke vil blive genanvendt, og fosforen kan blive tabt.

Derfor skal det sikres, at slamaske fra dedikeret forbrænding af spildevandsslam deponeres kontrolleret for at sikre, at fosforressourcen kan udvindes, når teknologien er udviklet, og/eller økonomien tillader det. Deponeringen af slamaske kunne ske sammen med andre asker, der har et væsentligt indhold af fosfor - f.eks. aske fra forbrænding af gyllefiber under forudsætning af, at det ikke er forurenet (med f.eks. tungmetaller).

Principielt er depoter og deres håndtering en kendt teknologi, men der skal nødvendigvis ske en udvikling heraf med henblik på at håndtere de forskellige fosforasker. Der vil blive behov for at mindske udgifterne til deponering, da økonomien vil blive afgørende for, om sådanne fosforbanker kan realiseres. Fosforbanker kunne være et element, som yderligere vil flytte fokus på ressourceeffektivitet, og kunne være noget nyt, som måske kunne udvikles og eksporteres i form af systemeksport. En sådan løsning har udviklingsbehov, og det skal afklares, hvordan asken håndteres i lagrene, hvordan juraen skal være i forbindelse med en fosforbank, og hvorvidt der kræves nye eller tilpassede teknologier til denne forberedelse for udvinding af fosfor.

Det er ved gennemgangen af de forskellige slamprodukter og teknologier vurderet, at de danske styrker i en eksportsammenhæng primært ligger inden for knowhow, og at der er muligheder for systemeksport uden for EU. Danske rådgiveres globale virke placerer dem i den unikke situation, hvor den nyeste internationale og lokale viden bringes til Danmark samtidig med, at danske virksomheder kan assistere med at tilpasse teknologi og løsninger til de forskellige lokale behov på det internationale marked.

Der vil være et betydeligt internationalt marked for teknologier, som producerer økonomisk rentable og bæredygtige produkter fra spildevand og spildevandsslam. Der er et udviklingsbehov for teknologier samtidig med, at efterspørgslen efter fosforrig gødning fra recirkuleret fosfor må forventes at stige. Hvis Danmark skal fastholde en international førerposition inden for spildevandsrensning, kræver det, at man i Danmark kan demonstrere teknologierne. Dette kræver også et velfungerende samarbejde mellem udviklingsvirksomheder og spildevandsforsyninger.

Reguleringsudvikling

Målsætningen for arbejdsgruppen vedr. reguleringsudvikling var at belyse og synliggøre de regulatoriske rammer for genanvendelse af fosfor. Målsætningen var endvidere at afdække uhensigtsmæssige overlap på tværs af lovgivningen (miljø og husdyr).

Teknologierne til genvinding af fosfor fra f.eks. slammaske er relativt nye. En af udfordringerne i forhold til affaldshierarkiet er, hvorledes genvinding af fosfor fra aske vil kunne blive indplaceret i affaldshierarkiet. Såfremt genvinding af fosfor fra asken ikke kan anses som en genanvendelsesoperation, vil det være en barriere for videreudviklingen af teknologierne til udvinding af fosfor fra slammaske.

I forbindelse med diskussionerne om markedspotentialet for nye fosforprodukter fra spildevand og spildevandsslam (f.eks. struvit og HAP) blev der rejst et spørgsmål om, hvornår materialerne må anses som værende affald eller produkter. Såfremt der ikke længere er tale om affald, men om et produkt, som f.eks. gødning, vil det ikke være omfattet af affaldsreglerne, men vil være omfattet af de produktregler, der gælder for gødning. Det fremgår af affaldsbekendtgørelsen, at det er kommunalbestyrelsen, der træffer afgørelse om, hvornår stoffer og genstande ikke længere er affald (EoW-End of Waste kriterier).

Arbejdsgruppens diskussioner af de eksisterende reguleringsmæssige barrierer for anvendelse af fosforressourcen har især været koncentreret om vandsektorlovens bestemmelser om prisloft og deponeringsbekendtgørelsen i forhold til udvinding af fosforressourcerne i aske fra slamforbrænding.

I relation til vandsektorlovens bestemmelser om prisloft blev følgende diskuteret:

- Prisloftet betyder, at spildevandsforsyninger gerne må skifte teknologi, når blot prisen ikke overstiger prisen for den nuværende benyttede løsning. Forsyningssekretariatet kan dispensere fra prisloftet, hvis man som spildevandsforsyning ønsker at prioritere både drikkevandsforsyning, forsyningsikkerhed og fødevarerikkerhed ved brug af en samlet set bedre løsning, som udnytter de knappe ressourcer bedre, men som også kræver investeringer.
- Indførelse af teknologiske løsninger, som medfører højere driftsomkostninger, kræver således, at der kan argumenteres for det i en ansøgning om dispensation. Dette skyldes, at spildevandsforsyningen skal overholde prisloftet, og at det på nuværende tidspunkt ikke kan lade sig gøre at få tillæg i prisloftet til sådanne løsninger.
- I diskussionen om vandsektorlovens bestemmelser indgik, at en eventuel omsætning ved salg af overskudsvarme og – el som biprodukt ved en forbrændingsløsning for slam ikke må berøre omsætningsloftet, såfremt det betragtes som en tilknyttet aktivitet.
- Deltagelse i udviklingsprojekter er hæmmet af prisloftsbestemmelsen, da deltagelse i udviklingsprojekter skal finansieres som del af de almindelige driftsomkostninger. Dermed bliver aktiviteterne med andre ord underlagt samme effektiviseringskrav som de øvrige driftsomkostninger. Selvom der i lovgivningen eksisterer muligheder for at dispensere fra prisloftet, således at f.eks. udviklingsprojekter ikke skal medregnes under prisloftet, sker det ikke tit. Benchmarking opleves af spildevandsforsyninger som en økonomisk spændetrøje, der fjerner incitamentet for teknologiudvikling.
- Prisloftet kan påvirke spildevandsforsyningernes disponering af løsningsvalg uhensigtsmæssigt.

Følgende bør overvejes med henblik på at stimulere udviklingen af teknologi og anvendelsen af fosforressourcen i spildevandsslam:

- Muliggøre indenfor vandsektorloven genvinding af fosfor fra aske, som deponeres, f.eks. ved at overføre omkostninger til disponering af slam til 1:1 omkostninger.
- Sætte nationale mål for udnyttelsen af fosfor i spildevandsslam.
- Indregne udviklingsaktiviteter i prisloftet på samme måde som miljø- og servicemål, f.eks. ved at indføre innovationsmål.

I relation til deponeringsbekendtgørelsens bestemmelser og muligheder for at nyttiggøre fosforressourcen i slam blev følgende diskuteret:

- Kravet om en grundlæggende karakterisering af affaldet og en vurdering af, om affaldet kan genanvendes eller nyttiggøres forud for en eventuel deponering, er et incitament til nyttiggørelse eller genanvendelse.
- Klassificeringen af deponeringsegnet affald (dvs. som inert, mineralsk, blandet eller farligt affald) kan både være en barriere og et incitament, afhængigt af resultatet af klassificeringen.
- Acceptkriterierne for deponering af inert og farligt affald synes at fungere som et incitament til at undgå deponering og til at finde andre disponeringsformer, herunder oparbejdning/nyttiggørelse.
- Udgifterne til deponering (den del, som ikke er afgift) varierer fra deponeringsanlæg til deponeringsanlæg, men udgør sammen med afgifterne et incitament til at undgå deponering og i stedet genvinde ressourcerne (set fra affaldsproducentens side). Fra deponiejerens side kan usikkerheden omkring efterbehandlingstidens varighed (eller sikkerhed for lang varighed) og de dermed forbundne udgifter føre til en forhøjelse af udgifterne, hvilket for producenten udgør endnu et incitament til oparbejdning/nyttiggørelse. Dog skal der tages hensyn til eventuelle afgifter for deponering af en eventuel behandlingsrest fra oparbejdning/nyttiggørelse.

I en politisk målsætning til øget anvendelse af fosforressourcen i spildevand og spildevandsslam skal det sikres, at dette ikke medfører en uhensigtsmæssig fosfortilførsel i miljøet. Anbefalingerne fra husdyrreguleringsudvalget² omfatter forslag til en regulering, der er generel, og som samtidig differentierer beskyttelsesniveauet geografisk og i forhold til arealernes sårbarhed. Dette indebærer, at der foretages en kortlægning af, i hvilken grad arealerne er sårbare eller robuste i forhold til f.eks. fosfor.

Hvis Husdyrreguleringsudvalgets anbefalinger om en sårbarhedsdifferentieret arealregulering følges op af konkret lovgivning, bør det overvejes, om ikke reguleringen af anvendelse af spildevandsslam og evt. andre affaldstyper skal indgå som en del af den samlede regulering af tilførsler af gødning og jordforbedringsmidler til landbrugsjord.

² http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Landbrug/Husdyrreguleringsudvalg/Om_udvalget/Om_udvalget.htm

Summary

In December 2011, the innovation partnership for use of phosphorus from wastewater and sewage sludge was established. The initial meeting was attended by approx. 60 players, including wastewater utilities, fertilizer manufacturers, producers of phosphorus precipitants, suppliers of environmental technology, consultants, research institutions, and authorities. The partnership was created as part of the government's environmental technology action plan (2010-2011), "Environmental Technology – for the benefit of the environment and growth".

The purpose of the partnership is to create a new platform for strategic cooperation concerning the recovery and utilization of phosphorus in waste with a special emphasis on phosphorus in wastewater and sewage sludge. For a start, the partnership has focused on the following main activities:

- Development of technology, including identification of the need for further development of existing technologies and development of new technologies etc.
- Market development, including establishment of a basis for assessing the market potential for existing direct phosphorus recycling and for alternative technologies. Furthermore, the purpose of this activity is to identify barriers and promote the conditions for development of the market.
- Development of regulation, including feasibility study of setting the goals for an increased recycling of phosphorus resources from wastewater and sewage sludge. This includes the identification of environmental and health related as well as regulatory barriers and the promotion of conditions for recycling of phosphorus from wastewater and sewage sludge.

In December 2011, a kick-off meeting was held for the partnership during which the participants defined the vision and goals of the partnership. In connection with the kick-off meeting, three working groups were set up – technology development, market development, and regulatory development – and the scope and activities of each group were subsequently defined.

Technology Development

The participants in the group for Technology Development have compiled a list of technologies for recovery/utilization of phosphorus from wastewater and sewage sludge. The list includes technologies for wastewater and reject water that are used in treatment plants, and it includes existing and well-established treatment technologies for organic waste, including sewage sludge. In addition, an overview has been prepared of new and emerging technologies for recovery of phosphorus from wastewater and sewage sludge comprising new Danish and foreign as well as existing foreign technologies.

There are also suggestions for technological development needs that may help promoting the recycling of phosphorus. If focus is only on the optimal use of phosphorus, it would be beneficial to remove phosphorus from wastewater by means of biological methods and avoid the use of chemicals. If chemicals are used, it should be iron (not aluminum) and in the lowest possible quantities. It is estimated that there is a need for development of holistic solutions ensuring optimal opportunities for utilization of the phosphorus reserve in both wastewater and sludge, where the wastewater and sludge treatment as well as the subsequent sludge handling and agricultural application are incorporated. It should be established where most of the phosphorus is found and where it can be recovered.

Specific suggestions include:

- A better overview of the availability of phosphorus (i.e. the fertilizing value) for different treatment methods should be established.
- There is a need for an improved or a new analytical method for phosphorus plant availability.
- Improvement of the biological phosphorus removal in wastewater treatment plants.
- Treatment of reject water in order to allow extraction of phosphorus (e.g. as struvite or HAP-hydroxylapatite).
- Incineration which ensures dedicated incineration of sewage sludge with subsequent controlled landfilling of sludge ash in phosphorus banks to ensure that the phosphorus reserve can be extracted (i.e. landfill mining), when the technology has been developed and/or finances permit.

There are other large phosphorus containing waste streams such as meat and bone meal that should be incorporated in a common landfilling solution, allowing the phosphorus ashes, which cannot be reprocessed today, to be stored in a controlled way. It could be an objective to establish phosphorus banks storing phosphorus for future food production or simply to collect the ashes for current processing in order to recycle the Danish phosphorus. Phosphorus banks might contribute to further focusing on resource efficiency and could become a new concept for possible development and export in the form of system export.

Market Development

An overview of the market was created concerning the use of sewage sludge as well as potential markets in relation to sales of technology for utilization of phosphorus from wastewater and sewage sludge and sales of reprocessed P-products.

In Denmark, technologies are available that ensure a treatment of the sludge to a quality which satisfies the consumers (easily spreadable, high fertilizing value, compliance with limit values for heavy metals and organic contaminants). In 2012, sludge is highly used as fertilizer on farmland, which indicates that the different techniques and products can be marketed by the companies dealing with the utilization and handling of sludge and by the wastewater utilities.

There will still be a need to examine the sludge quality and the fate of substances contained in the sludge for different treatment methods as well as by any subsequent use as fertilizer. This will ensure the expertise, which is fundamental for assessing how sludge can be best utilized.

Phosphorus products from reject water, sludge, ash, and biochar (a coke produced by pyrolysis of biomass such as sludge) can to a large extent be used as fertilizers – either directly in the same way as conventional fertilizers, as raw material for fertilizer production or as an alternative fertilizer, and based on the quantity there is reason to believe that the phosphorus in wastewater/sewage sludge can be sold as a substitute for commercial fertilizers.

Pricing of all products is made according to the market principles – supply and demand determine the price. The way the market is today, the price for direct use of sludge as a fertilizer is the lowest compared to other existing and emerging technologies.

There are different attitudes in different parts of this line of business in relation to pricing and marketing of sludge. Among other things, it has been heavily debated whether the industry could use a more positive word than “sludge”, which is perceived as something negative. In other countries words like for example “biosolids” are used. Confidence in the product depends largely on this branding or whether the product is a “real product” or a waste. If it is no longer considered to be a waste but a real product, such as for example a fertilizer, it will not be regulated by the waste regulation but by the product regulation, which applies to fertilizers. This reprocessing and reclassifica-

tion from waste to product can be expected to have an impact on prices as well as on marketing possibilities. This will be pertinent to the market for utilization of sludge but also for the market for new technologies/phosphorus products (e.g. Struvite or HAP).

In order to compete with conventional fertilizers the product must comply with the quality requirements for e.g. fertilizers. At the same time, the price of the product must reflect the market price for phosphorus. Many of the new technologies are not yet commercially viable. Capital and operational expenses are typically relatively high and if these expenses are to be covered, the product price will be accordingly high. This means that the new phosphorus products will not be able to compete with conventional fertilizers, as the market price for phosphorus is still relatively low. A political requirement for a high rate of phosphorus recycling could become an important tool for influencing the market in this direction.

A few Danish wastewater utilities have established an internal combustion solution for their sewage sludge. As a result there are today a number of landfill sites for ashes from sludge incineration (e.g. at Lynetten), which can potentially be treated and the phosphorus recovered. The ash from such sites may in principle be included in the treatment technologies as described in Chapter 5. In connection with the recovery of phosphorus, the price of phosphorus is crucial for the profitability of a new technology, as the selling price is part of the overall economy. If the selling price of phosphorus is not sufficiently high during the coming years, ashes from sludge incineration plants may not be recycled and the phosphorus will consequently be lost.

Therefore it is important that sludge ash from dedicated combustion of sludge is deposited in a controlled way to ensure that the phosphorus resource can be recovered when the technology has been developed and/or finances permit. Landfilling of sludge ash could be executed together with other types of ash with a significant content of phosphorus – for example ash from incineration of manure fibre, provided that it is not contaminated (for example by heavy metals).

Landfills and the handling of these is a well-known technology, but it is necessary to further develop this technology in order to be able to handle the various phosphorus ashes. There will be a need to reduce the costs of disposal, as the economy will be crucial for the implementation of such phosphorus banks. Phosphorus banks might contribute to further put focus on resource efficiency and could become a new concept for possible development and export in the form of system export. This solution would involve a need for further development and it must be clarified how ashes should be handled in the depots/landfills, how the legislation should be for a phosphorus bank, and whether new or adapted technologies should be required for this preparation of recovery of phosphorus.

Based on an examination of the various sludge products and technologies, it has been estimated that the Danish potential in relation to exports lies in know-how and that there are opportunities for system export outside the EU. The global activities of Danish consultants put them in a unique situation, where the latest international and local knowledge is brought to Denmark, while Danish companies can assist in adapting technology and solutions to specific local needs in the international market.

There will be a significant international market for technologies that produce economically viable and sustainable products from wastewater and sewage sludge. There is a need for further development of these technologies and at the same time the demand for phosphorus fertilizers is expected to increase. If Denmark is to maintain a leading position internationally within wastewater treatment, it is necessary to be able to demonstrate the technologies. This is only possible if there is a well-functioning cooperation between R&D companies/institutions and wastewater utilities.

Regulatory Development

The objective of the working group for regulatory development was to illustrate and emphasize the regulatory framework for recycling of phosphorus. Furthermore, the objective was to identify inappropriate overlapping between different legislations (regarding environment and livestock).

The technologies for recovery of phosphorus e.g. from sludge ash are relatively new. One of the challenges in relation to the waste hierarchy is to find out how the recovery of phosphorus from ashes can be placed in the waste hierarchy. If the recovery of phosphorus from the ash cannot be considered as a recycling operation, this will become a barrier to the further development of the technologies for recovery of phosphorus from sewage sludge ash.

During the discussions of the market potential of new phosphorus products from wastewater and sewage sludge (e.g. Struvite and HAP) the question was raised when the materials should be considered a waste or a product. If it is no longer considered a waste but instead a product, such as fertilizer for instance, it will not be covered by the waste regulation but by the product regulation that applies to fertilizers. According to the statutory order on waste, the municipal council is responsible for deciding whether a certain substance or object is no longer considered a waste (EoW-End of Waste criteria).

The discussions of the working group regarding existing regulatory barriers for utilizing the phosphorus resource have focused particularly on the provisions of the Danish Water Sector Act (*Vandsektorloven*) concerning price ceiling and the provisions in the statutory order on landfilling of waste in relation to recovery of phosphorus resources in ashes from incineration of sludge.

As to the provisions of the Water Sector Act concerning price ceiling the following problems were discussed:

- One consequence of the price ceiling is that wastewater utilities are allowed to change technology as long as the price does not exceed the price of the solution currently in use. The secretariat in charge of supervision of the wastewater utilities may exempt from the price ceiling, if a wastewater utility wishes to prioritize both drinking water supply, security of supplies, and food security by using an overall better solution, which utilizes the scarce resources better but also requires some investments.
- The introduction of technological solutions which result in higher operating costs must therefore be justified in an application for exemption. This is due to the fact that the wastewater utilities must comply with the price ceiling and that it is currently not possible to obtain a supplement to the price ceiling for this type of solutions.
- One of the focus areas of the discussion was that revenues, if any, from the sale of surplus heat and electricity resulting from a combustion solution for sludge are not allowed to affect the turnover ceiling, if it is considered to be a related activity.
- The participation in development projects is hampered by the price ceiling, since participation in development projects must be financed as part of the normal operating costs. Consequently, the activities are subject to the same efficiency requirements as other operating costs. Even though the legislation does, in fact, allow for opportunities to exempt from the price ceiling so that development project, for example, should not be considered in relation to the price ceiling, this does not happen very often. Benchmarking is considered by the wastewater utilities to be an economic limitation, removing the incentive for technology development.
- The price ceiling may have a negative impact on the choice of solution made by the wastewater utilities.

The following steps should be considered in order to stimulate the development of technology and utilization of phosphorus in sewage sludge:

- Within the Water Sector Act, to enable the recovery of phosphorus from ashes that are landfilled, for example by transferring the costs for disposal of sludge to 1:1 costs.
- To set national targets for the utilization of phosphorus in sewage sludge.
- To include development activities in the price ceiling, like for instance environmental and service targets, for example by introducing innovative targets.

Regarding the provisions and possibilities of the statutory order on landfilling of waste in relation to utilization of phosphorus in sludge, the following subjects were discussed:

- The requirement for basic characterization testing of waste and evaluation of whether the waste can be recycled or utilized prior to any disposal might be an incentive for utilization or recycling.
- The classification of waste acceptable for landfilling (i.e. as inert, mineral, mixed, or hazardous waste) may be a barrier or an incentive, depending on the result of the classification.
- The acceptance criteria for landfilling of inert and hazardous waste seem to act as an incentive to avoid disposal and instead find other solutions such as recycling/utilization.
- Expenses for landfilling (the part which is not tax) vary from landfill to landfill, but in combination with the taxes they constitute an incentive to avoid disposal and instead recycle the resources (seen from the waste producer's point of view). Seen from the point of view of the landfill owners the uncertainty about the duration of the aftercare period (or the knowledge of the actual duration) and the involved expenses may lead to increased landfilling prices, which will become another incentive for the producer to recycle/utilize the resources. However, charges for the disposal of any treatment residue from the recycling/utilization process must be taken into account.

For a political objective to increase the use of the phosphorus resource in wastewater and sewage sludge it has to be ensured that this does not result in an inadequate flow/output of phosphorus to the environment. Recommendations from the Livestock Control Committee include a proposal for a regulation, which is general but at the same time differentiates the level of protection both geographically and in relation to the vulnerability of the individual areas. This means that a survey is conducted on the vulnerability or robustness of the areas compared to for example phosphorus.

If the recommendations from the livestock regulatory committee regarding a vulnerability differentiated area regulation is followed by specific legislation, it should be considered whether the regulation of utilization of sewage sludge and maybe other types of waste, too, ought to be included as part of the overall regulation of adding fertilizers and soil conditioners to agricultural land.

1. Indledning

I december 2011 blev innovationspartnerskabet for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam etableret. I opstartsmødet deltog ca. 60 aktører, bl.a. spildevandsforsyninger, gødningsproducenter, producenter af fosforfældende kemikalier, leverandører af miljøteknologi, rådgivere, videninstitutioner og myndigheder. Partnerskabet er oprettet som led i regeringens affaldsstrategi 2010 og implementeringen af regeringens miljøteknologiske handlingsplan (2010-2011), "Miljøteknologi – til gavn for miljø og vækst".

Formålet med partnerskabet er at skabe en ny platform for strategisk samarbejde om genvinding og nyttiggørelse af fosfor i affald og særligt fosfor i spildevand og spildevandsslam. Der er tale om spildevand og slam fra spildevandsforsyningerne, mens industrielle spildevands- og slamstrømme ikke indgår. Partnerskabet har i første omgang fokus på følgende overordnede aktiviteter:

- Udvikling af teknologi, herunder bl.a. identificering af behovet for videreudvikling af eksisterende teknologi og udvikling af ny teknologi.
- Markedsudvikling, herunder etablering af et grundlag for vurdering af det markedsmæssige potentiale for eksisterende direkte fosforanvendelse og for alternative teknologier. Desuden er målet med denne aktivitet at afdække barrierer og fremme betingelserne for markedsudviklingen.
- Udvikling af regulering, herunder undersøgelse af muligheden for opstilling af målsætninger til øget genanvendelse af fosforressourcer i spildevand og spildevandsslam. Dette omfatter bl.a. at afdække miljø-, sundheds- og lovgivningsmæssige barrierer samt at fremme betingelserne for genanvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam.

På opstartsmødet for partnerskabet har mødedeltagerne defineret visionen og målsætningen for partnerskabet. Selvom partnerskabet ikke tror på, at der kan opnås 100 % genanvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam inden for 10 år, er visionen for partnerskabet, at der:

- Skabes en bæredygtig håndtering af ressourcen spildevand/spildevandsslam, og at der sikres national uafhængighed/selvforsyning ved at recirkulere fosfor fra spildevand og spildevandsslam på en bæredygtig måde.
- Skabes en regulering, som støtter op omkring selvforsyning og teknologiudvikling for at opnå højere effektivitet og minimalt træk på primære fosforressourcer.
- Udvikles danske systemløsninger baseret på danske og udenlandske erfaringer og udviklingsprojekter.

I forbindelse med opstartsmødet blev der nedsat tre arbejdsgrupper – reguleringsudvikling, markedsudvikling, teknologiudvikling – og gruppernes arbejdsgrundlag blev defineret.

1.1 Teknologiuudvikling

Målsætningen for arbejdsgruppen vedr. teknologiuudvikling var, at der etableres et innovationskonsortium for udvikling af teknologi til optimal genanvendelse af fosfor. Målsætningen var desuden, at aktørerne på området erkender nødvendigheden af, at der er behov for mere end én teknologi.

Målet for det første års arbejde var at udarbejde en liste over lovende teknologier, en oversigt over teknologiske behov (evt. en bruttoliste og en shortliste) samt en skitse af et innovationskonsortium.

1.2 Markedsudvikling

Målsætningen for arbejdsgruppen vedr. markedsudvikling var at fremme dialogen mellem aktørerne på markedet samt at skabe et overblik over potentielle markeder i relation til afsætning af teknologi for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam, salg af oparbejdede P-produkter, tiltrækning af spildevand/slam til oparbejdning i Danmark og begrænsning af eksport af værdifulde ressourcer, som f.eks. fosfor, i spildevand og slam.

Målet for første års arbejde var at skabe et videngrundlag for at kunne udvikle systemløsninger til eksport eller for at kunne etablere systemløsninger i Danmark til gavn for danske og udenlandske interessenter. Desuden skulle der skabes dialog mellem aktørerne på området for at sikre tilliden til de produkter, som systemløsninger kan levere. På baggrund af den opsamlede viden skulle der udpeges områder, hvor der er behov for aktiviteter og metoder for at markedsføre danske løsninger.

1.3 Reguleringsudvikling

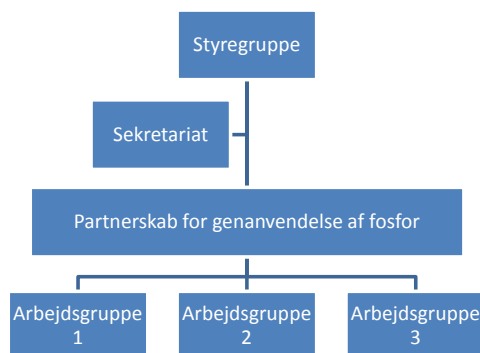
Målsætningen for arbejdsgruppen for reguleringsudvikling var at belyse og synliggøre de regulatoriske rammer for anvendelse af fosfor med fokus på at forbedre fosfor-genanvendelsen til rette formål. Målsætningen var endvidere at afdække uhensigtsmæssige overlap på tværs af lovgivningen (miljø, husdyr).

Reguleringen på området virker for kompleks, og der er tilsyneladende store overlap på tværs af reguleringen, f.eks. for miljø og husdyr. Målsætningen er at lægge op til en mindre kompleks og mere fleksibel regulering. Samtidig skal det sikres, at de regulatoriske rammer er defineret således, at fosforressourcen mht. ressourceværdien altid udnyttes optimalt under hensyntagen til lokale forhold (dvs. økonomisk og miljømæssigt fornuftigt), og at de høje krav til kvaliteten af produktet (dvs. grænseværdier for spildevandsslam) opretholdes for at kunne opretholde tilliden til produktet.

Målet for første års arbejde var at fremlægge forslag til en forbedret og mindre kompleks regulering på området samt at give forslag til, hvordan reguleringen bør udformes for at sikre optimal og høj udnyttelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam.

1.4 Opbygning og struktur af partnerskabet

Partnerskabets organisatoriske struktur er vist i Figur 1.1. Partnerskabet er ledet af en styregruppe (med Miljøstyrelsen som formand), der samtidig har støttet sekretariatets arbejde. Sekretariatet har fungeret som initiativtager og drivende kraft i forbindelse med igangsættelse og gennemførelse af partnerskabets aktiviteter. Sekretariatets arbejde blev finansieret via et tilskud fra puljen for miljøeffektiv teknologi, administreret af Miljøstyrelsen.



Figur 1.1 Organiseringen af innovationspartnerskabet

Selve partnerskabet har fungeret som en platform, hvor alle interessenter i forhold til genanvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam blev bragt sammen. I løbet af partnerskabets første år har ca. 90 aktører på området fulgt arbejdet i partnerskabet.

Partnerskabet har også fungeret som fundament for etablering af de tre arbejdsgrupper, som har beskrevet de egentlige udviklingsaktiviteter inden for teknologi-, markeds- og reguleringsudvikling. I Bilag 1: ses en oversigt over de aktører, som har deltaget i arbejdsgruppernes aktiviteter, og som med deres tid, viden og kompetencer har bidraget til inspirerende og konstruktive diskussioner i partnerskabet samt til udarbejdelse af denne rapport.

1.5 Rapportens opbygning

Selvom arbejdet i partnerskabet er forgået i tre arbejdsgrupper, er aktiviteterne af fælles interesse for deltagerne – for deres fremtidige forretningsgrundlag, for forskning, innovation og udvikling. Partnerskabets aktiviteter vedrørende teknologiudvikling har været rettet imod behovet for identificering og evt. udvikling af ny teknologi til at opnå et højt genanvendelsesmål for fosfor fra spildevand og spildevandsslam. Aktiviteterne vedrørende markeds- og reguleringsudvikling fungerer som samlende elementer i partnerskabet. Baseret på viden om lovgivningsmæssige og økonomiske rammer og evt. barrierer samt markedsforhold kan det teknologiske udviklingsbehov identificeres.

Dette blev også meget tydeligt i forbindelse med de tre arbejdsgruppemøder, som der blev afholdt i hver arbejdsgruppe i løbet af partnerskabets første år. På møderne blev arbejdet i gruppen tilrettelagt, delopgaver fordelt, input diskuteret, etc. Diskussionen på et udviklingsområde inkluderede som regel også diskussion af mindst et af de andre udviklingsområder.

Arbejdsgrupperne valgte derfor at samle resultaterne af deres arbejde i én samlet rapport, hvor:

- Kapitel 2 giver en kort introduktion til fosfor som ressource
- Kapitel 3 giver en oversigt over fosforkilder i spildevand og beskriver processer til behandling af spildevand og -slam på rensningsanlægget
- Kapitel 4 beskriver eksisterende teknologier i Danmark til behandling af organisk affald, herunder spildevandsslam
- Kapitel 5 beskriver nye teknologier til fosforgenvinding fra spildevand og spildevandsslam
- Kapitel 6 beskriver markedssituationen for såvel eksisterende som nye teknologier
- Kapitel 7 giver et overblik over reglerne på området.

Se i øvrigt Figur 1.2.

Inputtet til rapporten er kommet i form af f.eks. teknologibeskrivelser, oplæg og partsindlæg, udarbejdet af deltagerne i de respektive arbejdsgrupper. I løbet af partnerskabets arbejde har det været nødvendigt at foretage nogle afgrænsninger for projektet, hvorfor det ikke har været muligt at inkludere alle input eller dele heraf. Til trods for et stort redigeringsarbejde kan det ikke undgås, at rapporten i et vist omfang bærer præg af, at mange forskellige har bidraget til dens tilblivelse.

Der er visse problemstillinger i forbindelse med anvendelsen af spildevandsslam på landbrugsjord, som ikke fuldt ud kunne rummes i projektet. Bl.a. de krav til afgang af spildevandsslam, som der stilles uden for EU. Partnerskabets fokus i forhold til udbringning og anvendelse af spildevandsslam på landbrugsjord ligger i Danmark. Det er relevant (og inkluderet i rapporten for andre EU-lande) at få et overblik over andre landes krav til spildevandsslam til jordbrugsformål. Derimod blev det vurderet, at eksportmarkeders krav til fødevarer ligger uden for partnerskabets fokus.

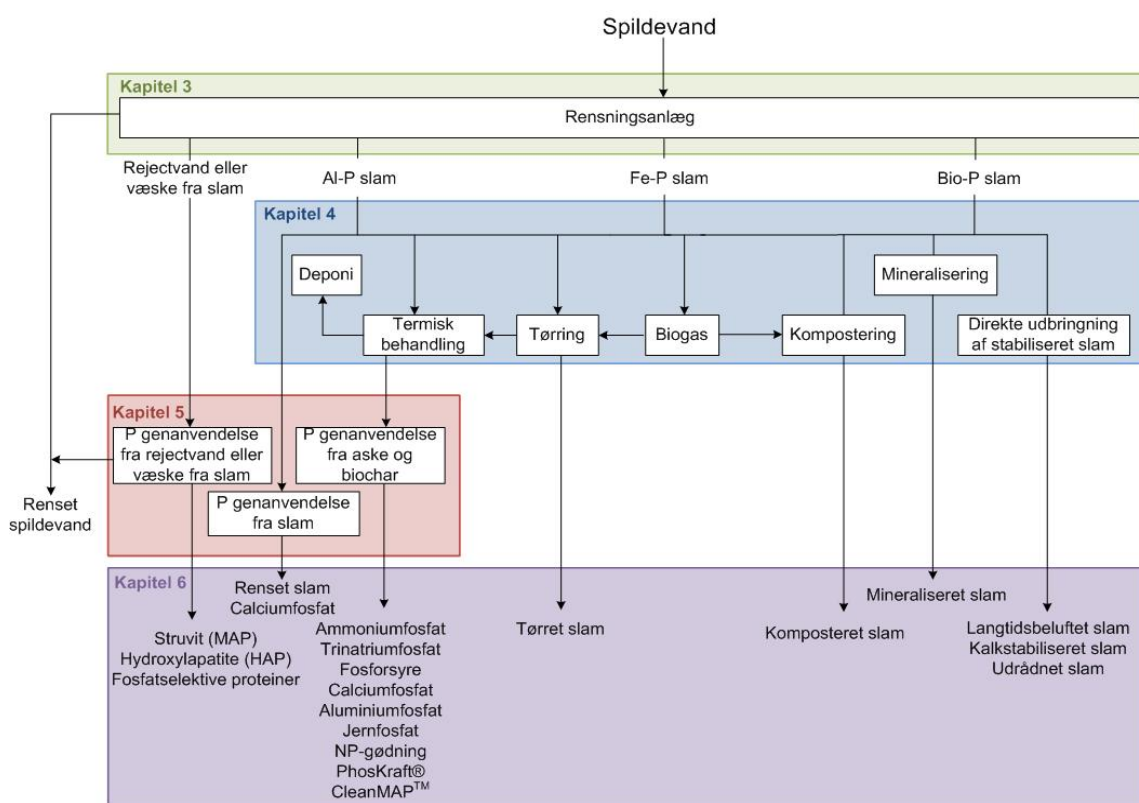
Det er blevet påpeget af deltagere i partnerskabet, at Dansk Fødevarerexport hos visse aftagerlande er udsat for importrestriktioner. Selv om aftalerne under World Trade Organisation (WTO) har til formål at fjerne handelsbarrierer, anvendes bl.a. veterinære forhold og tilsyn som en handelsbe-grænsning. De fødevarer, der primært rammes af importrestriktioner, er fødevarer som ferske og

røgede kødvarer, og USA, Kina og Japan nævnes som de lande, der har benyttet veterinære forhold til importbegrænsning. Forhold, der kan føre til restriktioner, er:

- at spildevand og -slam i en række lande ikke må anvendes til fødevareproduktion, og at det derfor vil skabe mistilid til dansk fødevareeksport, når der udbringes slam på landbrugsjord. Dette kan imødekommes ved forædling af slam til gødning, kompost eller lignende;
- at de enkelte landes veterinærmyndigheder (USA, Mellemosten m.fl.) fremfører, at det ikke kun er varens "renhed", men også produktionsprocessen, der skal fokuseres på, som f.eks. brug af veterinærmedicin, foderproduktionens sikkerhed, råvarens renhed.

Det vurderes, at følgende kan imødekomme de nævnte betænkeligheder:

- Det vil være forebyggende at lade produkter, der anvendes til gødningsformål, blive underlagt gødningsbestemmelserne, hvorved slam definitionsmæssigt kan blive til gødning.
- De dyrkningsforbehold, der ligger i slambekendtgørelsen (f.eks. anvendelse til rodfrugter, human-ernæringsprodukter, tidsforbehold), kan overføres eller duplikeres til et produktkrav.
- Slammet skal ikke alene være kontrolleret for risikoindhold, men selve behandlingsprocessen skal indeholde sikkerhed for afskæring af risici (varmebehandling, desinfektion mm.) og underlægges kontrolleret hygiejniserung.
- Hygiejnekontrollen bør udbygges til som minimum at omfatte samme kontrolbestemmelser som vores handelspartnere (f.eks. vedrørende nematoder).
- Et gødningsprodukt skal have en forædlingsgrad, som kan produktansvarsforsikres og ligestilles med andre gødningsprodukter.



Figur 1.2 Oversigt over teknologier og produkter, der er omfattet af rapportens kapitler 3 til 6

2. Fosfor som ressource

Fosfor er en begrænset ressource, hvor de globalt kendte reserver af mineralsk fosfor anslås at dække efterspørgselen i 50 til 400 år – afhængigt af kilde (f.eks. Lars Stoumann Jensen, KU-Life, IFDC, 2010). Et globalt stigende befolkningstal m.m. skaber et større behov for fosfor. Forsyningshorisonten på kun 50 år kan blive en realitet (Copenhagen Resource Institute, 2012).

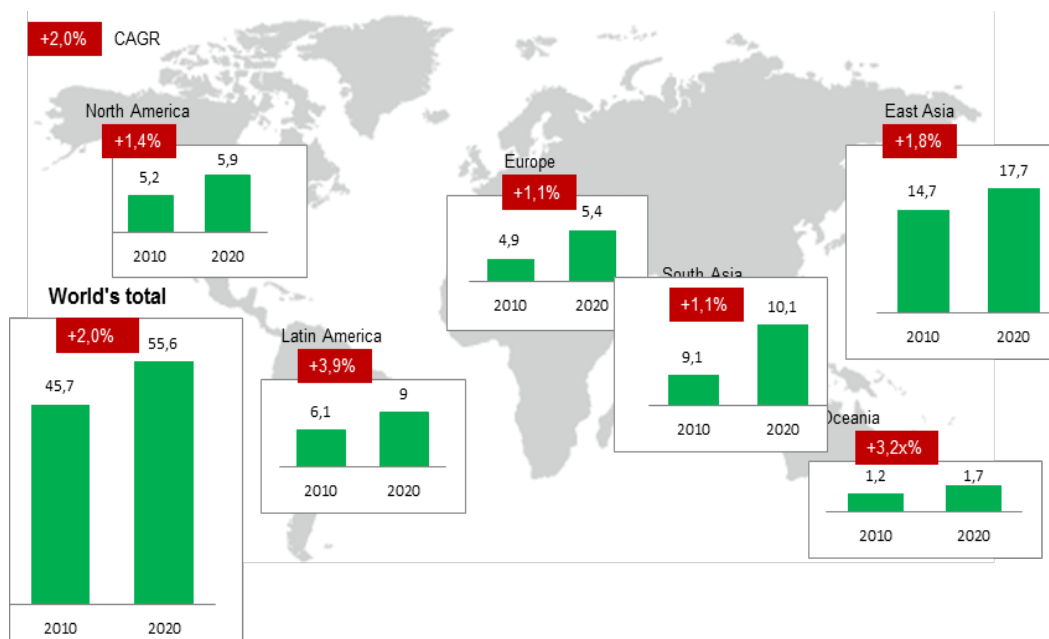
Primærproduktion af planter og alger kræver fosfor, og modsvarer tilgængeligheden ikke behovet, vil resultatet være sult. De naturlige fosforforekomster er dog begrænset til nogle få lande - fosforen brydes i lande som Kina, Canada, Marokko og Rusland. Det vurderes, at Marokko i dag sidder på mere end halvdelen af verdens fosforressourcer, og at Marokko vil være eneleverandør inden for 50-75 år set ud fra de kendte fosforressourcer. Der er således efterspørgsel af metoder til udvinding af fosfor på markederne. Efterspørgslen forventes at stige med en kalkuleret gennemsnitlig vækstrate CAGR³ på ~2 % over de næste 8 år.

Marokko er gennem det privatejede OCP (www.ocpgroup.ma) den største leverandør af fosfor og sidder i dag på 14% af verdensmarkedet for fosfatsten. Omkring 22% af markedet for råfosfat (fosfatsten) er fordelt på ca. 5 spillere ud over de 14%. Markedet er domineret som oligopol med en trend imod, at Marokko som land bliver eneleverandør på fosfatsten.

Figur 2.1 De globale fosforreserver (oplagt i mia. tons) (Kommunekemi, data fra CRU markedsrapporter, 2012 www.crugroup.com)

Nedenstående kort viser udviklingen i markedernes efterspørgsel. Efterspørgslen korrelerer med efterspørgslen på NPK (nitrogen, fosfor (fosfat) og kalium), MAP (monoammoniumfosfat) og DAP (diammoniumfosfat) i landbruget. Efterspørgslen er især stigende i Sydamerika og Australien/Sydøst Asien.

³ Calculated annual growth rate



Figur 2.2 Markedernes efterspørgsel efter fosfor i 2010 og forventet efterspørgsel i 2020 (Kommunekemi, data fra CRU markedsrapporter 2012, www.crugroup.com)

Fosfor bliver dyrere og kan på sigt blive en mangelvare. Det bliver stadig vigtigere at genanvende alle væsentlige kilder til fosforgødning. Den absolut væsentligste kilde til fosforgødning i Danmark er husdyrgødning, der har et højt fosforindhold og findes i stor mængde. Væsentlige andre danske fosforkilder vurderes at være (fosfor i handelsgødning undtaget): kød- og benmel, spildevandsslam, organisk dagrenovation samt grønne dele af planteaffaldet og organiske restprodukter fra industrien. Husdyrgødning indeholder ca. 45.000 tons fosfor om året (Danmarks statistik, 2011; Landbrug & Fødevarer, 2009), mens andre strømme fra husholdninger og erhverv tilsammen vurderes at indeholde ca. 10.000 tons fosfor, hvoraf de største kilder findes i spildevandsslam (ca. 4.500-5.600) samt kød- og benmel (ca. 3.000 tons).

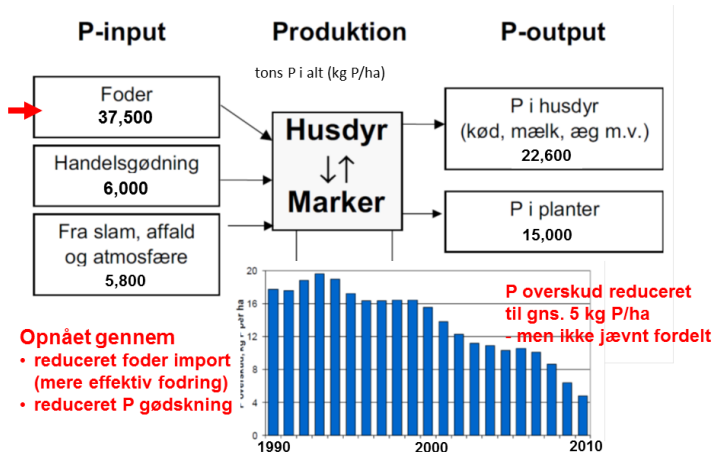
Gødskningsmæssigt er kemisk fældet fosfor tilført med spildevandsslam tungt opløseligt og mindre tilgængeligt på kort sigt, uanset om der bruges jern eller aluminium ved fældning på rensesanlæggene. Men på lidt længere sigt vil dette fosfor formentlig også indgå i jordens fosforpulje på lige fod med andet gødningsfosfor. Generelt anses Al-bundet fosfat dog for mindre tilgængeligt end Fe-bundet fosfor⁴.

2.1 Fosforkredsløbet i Danmark

Af nedenstående figur (Figur 2.3), der viser fosforkredsløbet i Danmark, ses det, at fosforoverskuddet i Danmark i 2010 er reduceret til 5 kg P pr. ha (røde tal). Det er en reduktion fra et overskud på 13,4 kg P pr. ha i 2000, som primært er opnået ved at reducere brugen af såvel handelsgødning som fosfortilsætning til foder.

⁴ Jern og aluminium benyttes ved fældning af fosfor (i form af fosfationer) fra spildevand på rensningsanlæg. Fosfationerne bindes hhv. til jern- og aluminiumionerne fra fældningskemikalierne.

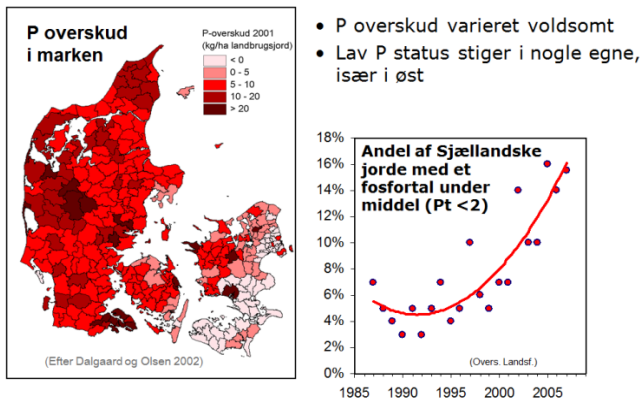
DK landbrugs P balance (år 2010)



Figur 2.3 Danmarks landbrugs fosforbalance for 2010 (Lars Stoumann Jensen, KU-Life, præsentation ved opstartsmøde for innovationspartnerskab for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam, december 2011)

Selvom der er et fosforoverskud i Danmark, er overskuddet meget ujævnt fordelt, som følge af en stor husdyrproduktion i Jylland. Det betyder, at der er et fosforoverskud i Jylland og et fosforunderskud på Sjælland, hvor der primært er planteavl, som det ses af nedenstående Figur 2.4.

DK P overskud – lokale forskelle?



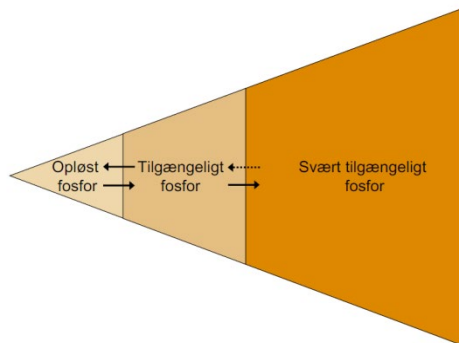
Figur 2.4 Fosforoverskud i Danmark – lokale forskelle (Lars Stoumann Jensen, KU-Life, præsentation ved opstartsmøde for innovationspartnerskab for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam, december 2011)

Der er et stigende og ændret behov for fødevarer - præferencen for animalske produkter øges med stigende velstand, og befolkningstilvæksten vil kræve en øget planteproduktion. Dette betyder, at der vil være et øget behov for NPK-gødningsprodukter (kvælstof-fosfor-kalium-gødning). Stigende behov for bioenergi (biodiesel, bioethanol fra biomasse) som erstatning for fossil energi sætter yderligere pres på efterspørgslen på NPK-gødning (Stoumann, 2011).

2.2 Fosfortilgængelighed

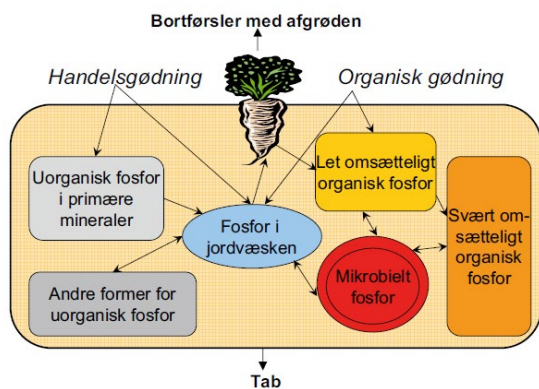
I princippet er al fosfor i jorden bundet til organiske stoffer eller kemisk bundet til jern, aluminium eller calcium. Før planterne kan optage fosfor, skal den i jorden bundne fosfor omsættes til vandopløselige fosfationer, som kan optages af planterne (Figur 2.5). Planter deltager i denne omsætning ved frigivelse af syrer fra deres rødder. Desuden indeholder jorden forskellige mikrober (bakterier,

svampe, vira, etc.), som sammen med den kemiske forvitring spiller en vigtig rolle i at gøre tæt bundne jordminerale tilgængelige for planterne (Figur 2.6).



Figur 2.5 Jordens uorganiske fosfor (Rubæk et al., 2005)

Når jorden ikke indeholder tilstrækkeligt plantetilgængeligt fosfor, skal fosforen tilføres i form af gødning. Erfaringen viser, at den største del af fosfor, som afgrøderne optager, stammer fra jordens fosforpulje, mens ca. 15 % stammer fra tilført fosforgødning (Rubæk et al., 2005). Da det kun er opløselige fosfationer i jordvæsken, som er direkte plantetilgængelige, fylder plantetilgængeligheden af fosfor meget i diskussionen om, hvilken type fosforgødning (f.eks. fosfor i spildevandsslam, handelsgødning fra råfosfat, gødningsprodukter fra slammaske) der sikrer den mest optimale gødning. Da jordbundens funktioner er komplicerede, er det svært at angive mængden af plantetilgængeligt fosfor, f.eks. i spildevandsslam. Selvom det kun er de opløselige fosfationer, som er tilgængelige, angives resultaterne normalt som mængden af fosfor ekstraheret i en svag syre (dvs. forholdsvis lav pH værdi sammenlignet med pH i jordvæsken), f.eks. citratopløselig fosfor (Linderholm, 2011).



Figur 2.6 Fosforomsætning i dyrket jord (Rubæk et al., 2005)

3. Fosforkilder fra spildevandsrensning



Rensningsanlæg Lynetten, Maj 2012 (Janus Kirkeby)

I Danmark indeholder husholdningsspildevand i størrelsesordenen 7-8 mg fosfor /l, som potentielt kan genvindes. Gennem de sidste 20 år er der sket en væsentlig reduktion af fosformængden i spildevandet og slammet, dels som følge af en reduktion af udledningen hos kilden (udfasning af fosfor i vaskemidler m.v.⁵), dels som følge af implementeringen af BAT⁶ hos virksomheder. Hovedparten af danske ejendomme er kloakerede og tilknyttet et kloaksystem, som transporterer spildevandet til et rensesanlæg. På rensesanlæggene anvendes mekaniske, mikrobiologiske og kemiske processer til reduktion af indholdet af forurenende stoffer i spildevandet, herunder fosfor. Langt størstedelen af fosfor fra spildevandet ender i slammet. I 2009 har Miljøstyrelsen opgjort denne samlede mængde slam fra danske rensesanlæg til ca. 140.000 tons årligt, og dette tal antages uændret i 2012 (MST, 2012). Ved et fosforindhold på ca. 3-4 % i slammet kan der potentielt genvindes ca. 4.200 til 5.600 tons fosfor årligt fra danske rensesanlæg. Til sammenligning importeres ca. 15- 20.000 tons fosfor årligt (NaturErhvervstyrelsen, 2012).

I 2009 fordelte afsætning af slammet sig som følger: 52 % blev udspredd på landbrugsjord, 12 % blev tilført mineraliseringsanlæg, 24 % blev sendt til forbrænding, 1 % endte på deponi, 7 % blev eksporteret og 4 % blev anvendt til andre formål (MST, 2012a). Der findes i dag en målsætning om, at 50 % af spildevandsslam skal udspreddes på landbrugsjord. Ved anvendelse af spildevandsslam på landbrugsjord efter slambekendtgørelsen sker en recirkulering af fosfor som gødning. Fosforindholdet i det spildevandsslam, der i dag anvendes som gødnings- eller jordforbedringsmiddel til jordbrugsformål, svarer til ca. 2.400 tons årligt jf. (MST, 2012a). Det er ikke nødvendigvis 100 % af fosforen i spildevandsslam, som jorden og afgrøderne kan udnytte som gødning, bl.a. fordi der kan ske et tab af fosfor som resultat af udvaskning via regnvand.

⁵ Regulation (EU) No 259/2012 of the European Parliament and of the Council of 14 March 2012 amending the Regulation (EC) No 648/2004 as regards the use of phosphates and other phosphorus compounds in consumer laundry detergents and consumer automatic dishwasher detergents – Forordningen reducerer brug af fosfater i vaskeprodukter. Mindre fosfor i spildevand og slam kan på sigt blive en realitet.

⁶ BAT – Best available techniques

En nyere undersøgelse, baseret på data fra 2011/2012, viser, at 77 % af spildevandsslam i dag udbringes til jordbrugsformål (direkte på landbrugsjord eller biologisk behandlet med efterfølgende anvendelse til jordbrugsformål) (Sckerl, 2012). I referencen angives, at procentindsatsen er fremkommet ved en opgørelse af de faktisk producerede mængder af slam pr. rensesanlæg sammenholdt med den løsning, der er valgt på det enkelte rensningsanlæg. Indregnet i genanvendelsesprocenten er slam afsat direkte til jordbrugsformål, slam afsat til jordbrugsformål i Tyskland, slam afsat til biogasfællesanlæg og gårdanlæg (hvor slammet udrådnes med gylle for efterfølgende at blive afsat til jordbrugsformål) samt slam, der komposteres sammen med haveparkaffald m.v. for efterfølgende at blive afsat til jordbrugsformål. Den samlede procentangivelse er behæftet med en usikkerhed på ± 5 %. HedeDanmark A/S oplyser, at andelen af slam, som afsættes til Tyskland, er i størrelsesordenen 1,5 %.

De to opgørelsesmetoder kan ikke direkte sammenlignes, idet det ikke kan vurderes, om de to undersøgelser dækker de samme rensesanlæg.

I de efterfølgende afsnit præsenteres indledningsvis en oversigt over danske rensesanlæg. Herefter følger en kort introduktion om fosforfjernelse på danske rensesanlæg, inklusiv beskrivelse af slambehandlingsmetoder og mulighed for efterfølgende genvinding af fosfor.

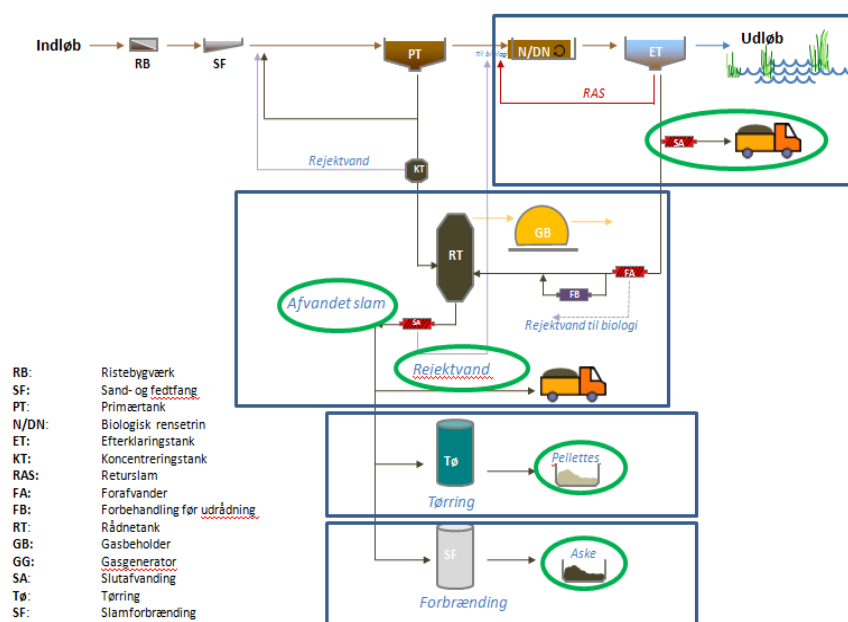
3.1 Oversigt over danske rensesanlæg

En oversigt over danske rensesanlæg kan findes i Naturstyrelsens opgørelse over Punktkilder fra 2010. Heraf fremgår det, at der findes 1030 rensesanlæg med en belastning og kapacitet, som angivet i Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kapacitet og belastning i PE (Naturstyrelsen, 2011)

	Antal anlæg	Belastning i PE	Kapacitet i PE
I alt	1.030	7.565.515	12.605.765

Nedenstående Figur 3.1 viser den typiske opbygning af et større danske rensesanlæg og indikerer, hvor på rensesanlægget fosforkilderne kan findes (grøn markering).



Figur 3.1 Typisk opbygning af større danske rensesanlæg samt fosforkilder på rensesanlæg (grøn markering), skitse ved Envidan A/S

Baseret på Miljøstyrelsens opgørelse over punktkilder i 2010 behandles ca. 33 % af spildevandet på mindre renseanlæg uden rådnetank, svarende til procesløsningen markeret i den øverste firkant. På de mindre anlæg findes fosforkilden i det afvandede slam.

I Danmark findes 67 renseanlæg med en kapacitet på over 50.000 PE, se Tabel 3.2. Disse renseanlæg behandler tilsammen ca. 67 % af spildevandet og har inkluderet en rådnetank til gasproduktion i renseprocessen. Dette betyder, at der opstår en mulighed for også at genvinde fosfor fra rejektivand ved afvanding af udrådnet slam på disse renseanlæg. Dette er indikeret i den midterste firkant på Figur 3.1.

På nogle af de største danske renseanlæg behandles slammet yderligere enten ved tørring eller forbrænding, hvilket er markeret i de to nederste firkanter i figuren. Der findes 4 renseanlæg med tørringsanlæg og 3 renseanlæg med slamforbrænding. På disse anlæg findes fosforkilden i rejektivand fra afvanding af udrådnet slam, i det tørrede slam eller i asken fra slamforbrænding.

Tabel 3.2 Oversigt over størrelsesfordeling på danske renseanlæg (Naturstyrelsen, 2011)

Anlægskapacitet	Antal renseanlæg	Belastning i % af belastning på alle anlæg
≥ 30 PE	1030	100
≥ 500 PE	561	97
≥ 2.000 PE	411	96
≥ 5.000 PE	273	92
≥ 15.000 PE	143	82
≥ 50.000 PE	67	67
≥ 100.000 PE	37	51

3.2 Introduktion til fosforfjernelse på danske renseanlæg

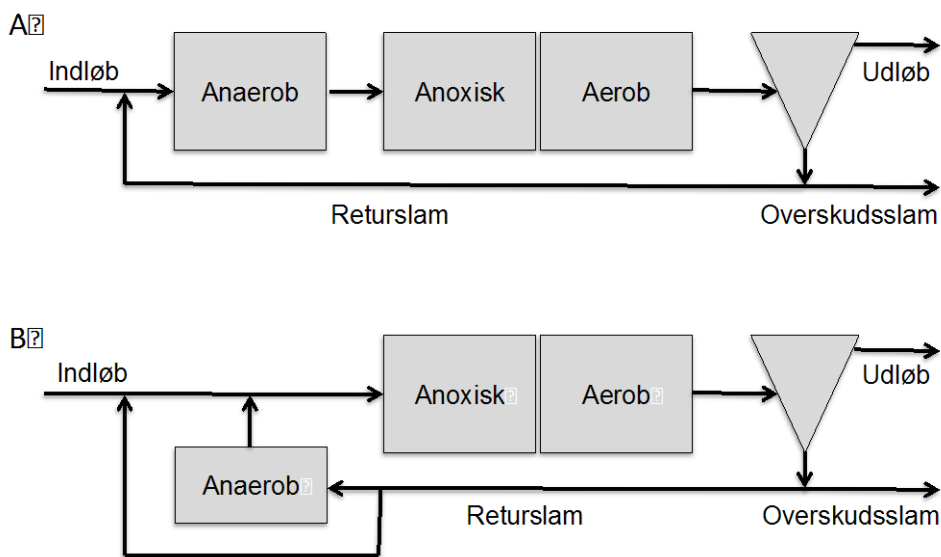
I dette kapitel beskrives biologisk og kemisk fosforfjernelse.

3.2.1 Biologisk fosforfjernelse

Biologisk fosforfjernelse (Bio-P) eller enhanced biological phosphorus removal (EBPR) er en metode til at fjerne fosfor fra spildevand i aktivt slamanlæg ved hjælp af bakterier uden brug af fældningskemikalier. Polyfosfat-akkumulerende bakterier (PAO) kan optage ortofosfat og lagre dette inde i cellerne som polyfosfat, således at fosforen kan fjernes med overskudsslam. P er bundet i en tilgængelig form, som let frigøres i rådnetanke, på landbrugsjord eller ved at benytte specielle stripningsmetoder.

Et velfungerende anlæg kræver en anaerob fase (eller tank), hvor PAO optager letomsætteligt substrat (f.eks. eddikesyre) fra spildevand eller hydrolysetank og oplagrer dette som "fedt". Dette benyttes i følgende anoxiske (denitrificerende) eller aerobe (nitrificerende) tanke til vækst og til at optage ortofosfat fra vandfasen. Mikrobiologien i Bio-P processen er nogenlunde kendt, og mindst 3 forskellige bakteriearter med lidt forskellig levevis udfører processen på de danske renseanlæg.

To typiske anlægsdesign for danske renseanlæg med Bio-P fjernelse er vist i Figur 3.2. A viser et hovedstrømsanlæg med anaerob fortank, denitrificerende (anoxisk) tank og en aerob, nitrificerende tank. B viser et anlæg med sidestrømshydrolyse. Den anaerobe fortank er erstattet af en anaerob tank, hvor en del af returslammet (typisk 20-35 %) opbevares ca. 1 døgn, inden det returneres til denitrifikationstanken. Herved dannes letomsætteligt stof ved hydrolyse og fermentation, noget som understøtter en god biologisk fosfor- og kvælstoffjernelse.



Figur 3.2 Typiske anlægsdesign for danske anlæg med Bio-P fjernelse (Vollertsen et al, 2006)

Bio-P processen kan i sig selv rense spildevandet til under 1 mgP/l, men de fleste anlæg har alligevel lidt støttedosering i form af Fe eller Al-salte (se kapitel 3.2.2). Som tommelfingerregel må molforholdet mellem tilsat Fe og total-P i spildevandet ikke være over 0,5, hvis en effektiv Bio-P aktivitet skal opretholdes. I perioderne efterår, vinter og forår tilsættes mange anlæg Al-salte (polyaluminiumklorid) for at kontrollere uønsket vækst af trådformede bakterier, som kan give bundfældnings- eller skumproblemer. Dette formodes ikke at give problemer med Bio-P aktivitet, men en del P bindes som Al-fosfat.

I Danmark renses tæt på 90 % af spildevandet ved anvendelse af biologiske renseprocesser kombineret med kemisk fældning (Naturstyrelsen, 2011). Antallet af Bio-P anlæg i Danmark og udlandet er stigende.

3.2.2 Kemisk fosforjernelse

Den kemiske fosforjernelse kan ske flere steder i et renseanlæg. Processen kaldes forfældning, når den sker i kombination med mekanisk rensning, og simultanfældning, når kemikalierne tilsættes til den biologiske rensning. I begge tilfælde dannes en større mængde kemisk slam, som fjernes sammen med det slam, renseprocesserne i øvrigt producerer. Hvis der efter den biologiske-kemiske rensning stadig er behov for at fjerne fosfor, kan dette ske ved tilsætning af yderligere fældningskemikalier før filtrering i sandfilter eller en filterdug (såkaldt kontaktfiltrering).

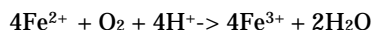
Den kemiske fosforjernelse sker ved, at opløst fosfor udfældes som partikler ved tilsætning af typisk jern- eller aluminiumsalte. Typiske fældningskemikalier er:

- Jern(II)sulfat
- Jern(III)klorid
- Aluminiumsulfat
- Polyaluminiumklorid

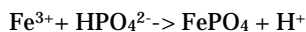
Fældningsprocesserne er ved anvendelse af jern- og aluminiumsalte næsten identiske, idet den opløste fosfor bindes til den trivalente metalion. Samtidig vil en del af det tilsatte metalsalt udfældes som metalhydroxid, der befordrer sedimentationen af svært bundfældige partikler.

Nedenfor er vist de overordnede kemiske ligninger ved fældning med jernsalte.

Ferro (Fe^{2+}) jernsalte bruges ofte som fældningsmiddel i forbindelse med simultanfældning. Ved tilsætning til luftningstanke vil ferro-ionerne blive iltet:

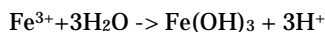


Det er ferri-ionerne (Fe^{3+}), der er aktive ved udfældningsprocessen, som foregår efter nedenstående reaktionsskema:



Ovennævnte fældningsreaktion er dog meget simplificeret. Reelt vil det udfældede materiale indeholde calciumioner og i visse tilfælde også karbonationer. Det udfældede ferrifosfat er tungtopløseligt.

Ved fældning med såvel jern- som aluminiumsalte sker der en parallel proces efter følgende reaktionsskema (vist med jern):



Jernhydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) vil virke som koaguleringsmiddel. Som det ses, dannes der også brintioner (H^+), så pH-værdien sænkes. Da den samtidige biologiske iltningproces også kan sænke pH, bør man i den forbindelse være opmærksom på, at den optimale pH-værdi for de biologiske processer ligger omkring 7. Det kan derfor være nødvendigt med tilsætning af alkalinitet (typisk kalk) for at sikre de biologiske processer.

I renseanlæg med ren kemisk fosforfældning tilsættes typisk fældningskemikalier i et molforhold på mellem 1 - 1,5 mol aktivt Fe eller Al per mol fosfor. Benyttes det som støttedosering på anlæg med Bio-P, tilsættes typisk fældningskemikalier i et molforhold på mellem 0,3 - 0,5 mol aktivt Fe eller Al per mol fosfor. For enkelte anlæg med meget velfungerende biologisk fosforfjernelse kan doseringen dog være helt nede på 0 - 0,2 mol metal per mol fosfor. Dette er typisk for anlæg med meget "gunstigt industrielt spildevand" med et højt indhold af letomsætteligt kulstof.

3.2.3 Kombination af biologisk og kemisk fosforfjernelse

Størstedelen af fosforfjernelsen fra spildevandet i Danmark sker ved en kombination af biologisk og kemisk fosforfjernelse, idet næsten alle større anlæg, og også mange mindre anlæg, er blevet bygget eller ombygget til biologisk fosforfjernelse, men der er stadig behov for en vis støttedosering af fældningskemikalier for at kunne overholde rensekravene. Det er p.t. kun enkelte anlæg, der drives med rent biologisk fosforfjernelse.

Gødskningsmæssigt er kemisk fældet fosfor tilført med spildevandsslam som nævnt tungt opløseligt og mindre tilgængeligt på kort sigt, uanset om der bruges jern eller aluminium ved fældning på renseanlæggene, men på lidt længere sigt vil dette fosfor formentlig også indgå i jordens fosforpulje på lige fod med andet gødningsfosfor. Generelt anses Al-bundet fosfat dog for mindre tilgængeligt end Fe-bundet fosfor.

Hvis fosfat skal udvindes direkte på renseanlægget, sker det typisk ved fældning som struvit fra rejktvand fra rådnetanke, hvor overskudsslam og primærslam fra renseanlæggene omsættes til metan. For at holde fosfat på opløst form, så det kan udfældes fra rejktvand, må der ikke være for meget jern eller aluminium i slammet (og i rådnetanken).

Hvis slammet, enten overskudsslam eller udrådet slam fra rådnetanke, videre afvandes, tørres og forbrændes, kan fosfat også udvindes. Her er det også en fordel at undgå tilstedeværelsen af metal-salte, især aluminium, som vanskeliggør udvinding af fosfor fra aske.

Fokuseres alene på optimal fosforanvendelse, er det således en fordel at fjerne fosfor fra spildevand med biologiske metoder og undgå brug af kemikalier. Anvendes kemikalier, bør der anvendes jern (ikke aluminium) og i mindst mulig mængde. Det vurderes, at det vil være muligt at optimere den biologiske fosforfjernelse yderligere på de danske renseanlæg, og at der er behov for en øget forskning og udvikling omkring forbedret biologisk fosforfjernelse.

3.3 Slambehandlingsmetoder og fosfor

Som omtalt i de foregående afsnit fjernes fosfor fra spildevandet fra vandfasen og overføres til slamfasen. Traditionelt kan slammet opdeles i flere fraktioner og typisk udtages enten biologisk overskudsslam, udrådet slam og på større renseanlæg tørret slam eller aske fra renseanlæggene. Hver af disse slamfraktioner har forskelligt indhold af fosfor afhængigt af, om der benyttes biologisk, kemisk eller kombineret fældning af fosfor på renseanlægget.

Slamafvanding og -bortskaffelse er en stor udgiftspost på renseanlæg. Den udgør 15-30 % af de samlede driftsomkostninger og er en væsentlig driver for økonomiske og udstyrsmæssige beslutninger. En 10 % reduktion af slammængden ved eksempelvis optimeret afvanding eller overgang fra kemisk til biologisk fosforfjernelse kan eksempelvis have betydelig økonomisk konsekvens. Besparelser kan ofte betale for nye tekniker.

I de efterfølgende afsnit præsenteres slambehandlingsmetoder, og der er fokuseret på muligheden for efterfølgende at genvinde fosforen. De enkelte renseanlæg kan anvende en eller flere af proces-trinnene.

3.3.1 Forafvanding

Primærslam udtages fra forklaringstanke og kan forafvandes i koncentreringsstanke, tromleafvandre eller centrifuger. Slammet har et højt indhold af organisk stof og overføres derfor typisk til en rådnetank for produktion af biogas. Indholdet af fosfor i denne slamfraktion er begrænset, men kan øges, hvis renseanlægget anvender primærfældning.

Overskudsslam udtages ofte fra klaringsstanke placeret efter de biologiske procestanke. Tørstofindholdet i overskudsslam, ved udtag fra klaringsstankene, ligger typisk i intervallet 1-2 % TS. Biologisk overskudsslam indeholder i størrelsesordenen 1,5 til 4 % fosfor, afhængigt af dosering af fældningskemikalie til kemisk fosforfjernelse.

Denne efterfølgende håndtering af overskudsslam er forskellig fra anlæg til anlæg. De mest almindeligt benyttede metoder er mineralisering på slambede eller forafvanding inden yderligere slambehandling.

Ved mineralisering på slambede pumpes overskudsslammet direkte fra udtaget til et slambed, hvor det efterfølgende oplagres over en årrække.

Tromle eller centrifuger kan anvendes til opkoncentrering af slammet til 4-8 % TS. Koncentrationen af fosfor i rejektvand fra forafvanding er typisk lav og anses dermed ikke for en interessant fosforkilde.

3.3.2 Forbehandling (ultralyd, ex Ultralyd, CAMBI⁷, Exelys⁸, Westcome enzyme⁹)

Såfremt slammet ønskes udrådnet, kan der indledningsvis udføres en forbehandling af slammet med henblik på at øge produktionen af biogas.

Ultralyd i en kontakt tank kan medvirke til at åbne slammet og øge omsætteligheden og afvandigheden af slammet efter en udrådning. Det er en relativt enkel proces, som næppe påvirker slammets indhold af fosfor, som dog vil være bundet i en fraktion med højere uorganisk indhold, da mere organisk stof bør være omsat.

Andre processer (såsom CAMBI, Exelys, Westcome enzyme) opvarmer slammet til høje temperaturer, hvorved slammet efterfølgende vil kunne blive lettere omsætteligt, og biogaspotentialet og reduktionen af organisk materiale i slammet vil blive øget. Såfremt slammet opvarmes til 70°C i en time, betragtes behandlingen af slammet som kontrolleret hygiejniseret, og slammet kan anvendes til gødsning uden hygiejniske restriktioner.

Det er muligt at tilsætte enzymer, som øger omsætteligheden af det organiske stof i en efterfølgende udrådning. Fordelen ved dette vil ligeledes være mulighed for en mindre mængde til bortskaffelse samt et højere biogaspotential. Der er ikke så mange danske erfaringer med denne metode.

Umiddelbart kan den mængde fosfor, som er bundet biologisk, blive frigivet i større omfang under den efterfølgende udrådning.

3.3.3 Udrådning (mesofil, termofil)

Afvandet primærslam og biologisk overskudsslam viderebehandles på de større danske anlæg i rådnetanke, hvor slammets indhold af organisk stof omsættes, og der produceres biogas. I Danmark har ca. 67 renseanlæg installeret rådnetanke. Almindeligvis omsætter udrådningsprocessen 30-40 % af det indgående organiske tørstof til biogas. Den producerede biogas bliver brugt til opvarmning af rådnetankene til omkring 30-37°C (mesofil proces) eller til 50-57°C (termofilproces). Udrådning reducerer mængden af slam og øger afvandigheden, og dermed reduceres omkostningerne til slambortskaffelse. Den termofile proces kan øge kapaciteten af eksisterende tanke, men kan resultere i et slamprodukt, som kan være vanskeligt at afvande.

Udrådnet slams indhold af fosfor udgøres primært af den mængde, der indbygges i selve biomassen, samt af svært opløselige fosfatforbindelser dannet ved kemisk fældning under spildevandsrensningen.

Såfremt der er et relativt højt molforhold mellem jern og måske calcium, vil fosfor fra den biologiske fosforfjernelse fortsat kunne bindes i slamfasen.

Typisk vil en del af den fosfor, som er bundet biologisk, blive frigivet til vandfasen ved udrådning svarende til en koncentration på 150 mg/l. Fosforindholdet i vandfasen kan genvindes ved anvendelse af forskellige teknologier, f.eks. ved kontrolleret struvituddfældning. Det er måske 10-20 % af den tilledte mængde fosfor, der kan fjernes som struvit.

I dag oplever nogle renseanlæg problemer med ukontrolleret udfældning af struvit, som kan tilstoppe rør. Det kan være et ganske stort problem, som kræver, at der bliver installeret et anlæg til at fjerne struvit kontrolleret, hvilket kan give en betydeligt øget omkostning i anlæg og til drift.

Tørstofindholdet efter udrådning ligger almindeligvis i intervallet 3-5 % TS.

⁷ <http://www.stowa-selectedtechnologies.nl/Sheets/Sheets/Cambi.Process.html>

⁸ <http://www.veoliawaterst.com/exelys/en/>

⁹ <http://www.westcome.com/index.php/en/home>

3.3.4 Slutfavning

Mængden af biologisk overskudsslam eller udrådet slam reduceres ved forskellige slutfavningsmetoder inden bortskaffelse for at mindske håndteringsomkostningerne. Slamafvandingsudstyr i form af centrifuge, sibåndspresse, kammerfilterpresse, skruepresse, tromleafvanderer og slammineraliseringsanlæg reducerer slammets vandindhold, så der opnås en betydelig volumenreduktion på 60-95 % og et mere håndterbart produkt (tørstofindhold på 5-35 %). Et slamprodukt med et højt tørstofindhold kræver mindre lagerkapacitet i forbindelse med direkte udbringning på landbrugsjord og vil samtidigt øge brændværdien, hvis slutdeponering er forbrænding.

Mekanisk afvanding kræver tilsætning af en organisk polymer, som samler slampartiklerne og gør slammet afvandeligt. I Tyskland er der ud fra et forsigtighedsprincip et mål om at udfase anvendelsen af polymerer ud fra en mere eller mindre dokumenteret antagelse om, at der kan være rester af monomer i slammet efter afvanding.

Rejektvandet fra slutfavning af slam efter udrådning er en særligt interessant fosforkilde, idet koncentrationen af fosfor i denne strøm afhængigt af tørstofkoncentration kan være 150 mg/l.

3.3.5 Tørring

På en håndfuld anlæg i Danmark benyttes tørring af slutfavnet biologisk slam og/eller udrådet slam. Der findes flere metoder til slamtørring, og udformningen af de benyttede tørreanlæg og selve tørreprincipet varierer fra anlæg til anlæg. Mere information om tørring af slam findes i kapitel 4.4.

Generelt for selve tørringsprocessen er, at slammet efter afvanding til 20-30 % TS opvarmes til 100-200°C og med en opholdstid på 1-1,5 time tørres til omkring 85 % tørstof. Et tørret produkt sparer transport af vand. Tørret slam kan pelleteres og kan være lettere at afsætte end vandholdigt slam.

Tørring af slammet øger brandværdien, og det kan åbne for en ekstra afsætningskanal, da det er mindre vanskeligt at finde forbrændingsanlæg, som kan forbrænde et tørret produkt.

Det afdampede vand kondenseres, og rejektvandet fra tørringsprocessen indeholder en del ammonium samt en række forskellige andre organiske komponenter, der frigives fra slammet under tørringsprocessen. Rejektet ledes tilbage i renseanlægget og bidrager dermed med en intern belastning.

Slammets indhold af fosfor er stort set upåvirket af tørringsprocessen.

3.3.6 Forbrænding

På tre danske renseanlæg er der installeret forbrændingsovne - se kapitel 4.5 for en kort beskrivelse af forbrændingsprocessen.

Askeproduktionen fra traditionel slamaftørring indeholder al den fosfor, der oprindeligt var bundet i slammet. De traditionelle forbrændingsmetoder medfører, at fosforen vil være meget hårdt bundet i den aske eller slagge, som forbrændingen producerer.

3.4 Eksempel på driftsøkonomi ved øget andel af biologisk fosforfjernelse

Nedenstående følger 2 beregningseksempler for driftsøkonomien på 2 forskellige renseanlæg, der begge gradvist øger andelen af fosfor, der fjernes biologisk. Formålet med eksemplerne er at vise betydningen af de nuværende afgifter på fosfor i udløbet fra renseanlæggene.

Det skal dog bemærkes, at der er tale om to eksempler, og at det grundet skærpede krav til udledning i en række tilfælde ikke vil være muligt at øge udledningen af fosfor i udløbene fra renselanlægene fra det anførte 0,3 til 1,0 mg/l.

Renselanlæg 1

Renselanlægget er et 1 trins anlæg belastet med 50.000 PE og kendetegnet ved at være et typisk dansk aktiv slam anlæg uden primærrensning, hvor overskudsslammet afvandes direkte og køres til slutanbringelse på landbrugsjord (se Figur 3.3).

Renselanlægget er belastet med følgende gennemsnitlig forurening:

Spildevandstype	Normalt sammensat husspildevand
Spildevandsmængde	15.000 m³/d
Fosfor (Total-P) i indløbet	120 kg/d

Renselanlægget betaler følgende enhedspriser for ressourceforbruget, eksklusiv energiforbrug mv.:

Jernklorid (JKL)	1.000 DKK/t	Kemisk fosforfældning
Polymer	30 DKK/kg	Afvanding
Grønne afgifter	165 DKK/kg	Fosfor i udløbet
Slamdisponering	350 DKK/t	Landbrugsjord

I tabellen på Figur 3.3 ses fosforbalancen for et 1 trins renselanlæg, forbruget af JKL og polymer samt slamproduktionen, når anlægget gradvist går fra 0 % BIO-P til maks. BIO-P, dvs. uden brug af jernklorid. Assimileret fosfor (Ass. P) beskriver den fraktion af fosfor, der er indbygget ved biologisk assimilering i slammet (heterotrof bakterievækst).

Desuden viser figuren en tabel, hvor driftsøkonomien af tiltagene fremgår. Som det fremgår af tabellen, reduceres driftsudgifterne (fra ca. 1,3 mio. til ca. 0,7 mio. DKK/år), indtil der etableres 60 % biologisk fosforfjernelse. Her øges driftsudgifterne, så de igen stiger til ca. 1,0 mio. DKK, hvorved en væsentlig del af de opnåede besparelser ophæves.

Årsag til den forøgede driftsudgift kan tilbageføres til antagelsen om, at fosforkoncentrationen i udløbet stiger fra ca. 0,3 til 1,0 mg Tot-P/l, når der ikke doseres JKL. Udgiften til de grønne afgifter øges herved enormt. Dette er ikke et urealistisk scenarie og er en del af forklaringen på, at de fleste danske renselanlæg som regel anvender en støttfældning med kemikalier.

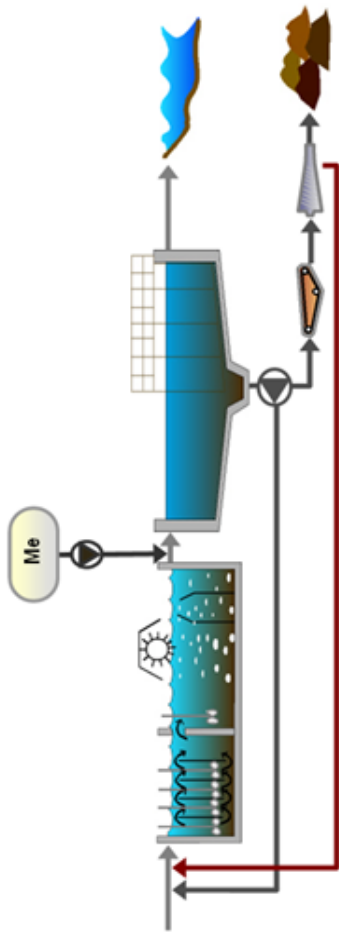
1 trins renselanlæg uden rådnetank

50.000 PE

Normal sammensat husspildevand

15.000 m³/d

120 kg Total-P i indløb



	Fosforbalance					Kemikalier					Slamproduktion					
	P ind [mg/l]	P ud [mg/l]	P i slam [% af SS]	Ass. P [% af P]	BIO-P [% af P]	Kemisk P [% af P]	JKL [kg/d]	Polymer [kg/d]	Kemisk [kgTS/d]	BIO-P [kgTS/d]	I alt [kgTS/d]	JKL [DKK/år]	Polymer	Slam	Afgifter	Total
0 % BIO-P	8,0	0,3	3,2	38,5	0,0	61,5	1.730	4,4	622	0	622	0	48.000	359.000	271.000	1.309.000
20 % BIO-P	8,0	0,3	3,4	38,5	20,8	40,7	1.144	3,3	412	60	472	418.000	36.000	272.000	271.000	997.000
40 % BIO-P	8,0	0,3	3,5	38,5	41,6	20,0	560	2,6	202	120	322	204.000	28.000	186.000	271.000	689.000
60 % BIO-P	8,0	1,0	3,4	42,3	57,7	0,0	0	1,2	0	151	151	0	13.000	86.000	903.000	1.002.000

Driftsøkonomi [DKK/år]	
JKL	Total
631.000	1.309.000
418.000	997.000
204.000	689.000
0	1.002.000

JKL:	1.000 DKK/t
Polymer:	30 DKK/kg
Afvanding:	22 % TS
Slamdisponering:	350 DKK/t
Grønne afgifter:	165 DKK/kg P

Figur 3.3 Beregnings eksempel 1: Skema over 1 trins renselanlæg uden rådnetank med tabel over fosforbalance, kemikalieforbrug og slamproduktion samt tabel over driftsøkonomi af tiltagene

Renseanlæg 2

Renseanlægget er et 2 trins anlæg belastet med 100.000 PE og kendetegnet ved at være et typisk større dansk aktiv slamanlæg med primærrensning og anaerob behandling af overskudsslammet i en rådnetank. Det antages her, at slammet ikke har den fornødne kvalitet til en slutanbringelse på landbrugsjord, men i stedet må forbrændes (se Figur 3.4).

Renseanlægget er belastet med følgende gennemsnitlig forurening:

Spildevandstype	Normal sammensat husspildevand
Spildevandsmængde	30.000 m³/d
Fosfor (Total-P) i indløbet	240 kg/d

Hvis der ses bort fra slamdisponeringsprisen, så betaler renseanlæg 2 de samme enhedspriser som i eksemplet med renseanlæg 1:

Jernklorid	1.000 DKK/t	Kemisk fosforfældning
Polymer	30 DKK/kg	Afvanding
Grønne afgifter	165 DKK/kg	Fosfor i udløbet
Slamdisponering	600 DKK/t	Forbrænding

I tabellen på Figur 3.4 ses fosforbalancen for et 2 trins renseanlæg, forbruget af JKL og polymer samt slamproduktionen, når anlægget gradvist går fra 0 % BIO-P til maks. BIO-P, dvs. uden brug af jernklorid. Ass. P beskriver den fraktion af fosfor, der er indbygget ved biologisk assimilering i slammet (heterotrof bakterievækst). Desuden viser figuren en tabel, hvoraf driftsøkonomien af tiltagene fremgår.

Det samme billede er kendetegnende for renseanlæg 2 som for renseanlæg 1. Driftsudgifterne reduceres fra ca. 3,1 mio. til ca. 1,5 mio. DKK/år for herefter at stige igen til ca. 2,2 mio. DKK, når der etableres 70 % biologisk fosforfjernelse. Igen en forklaring på, at de fleste danske renseanlæg som regel anvender en støttfældning med kemikalier.

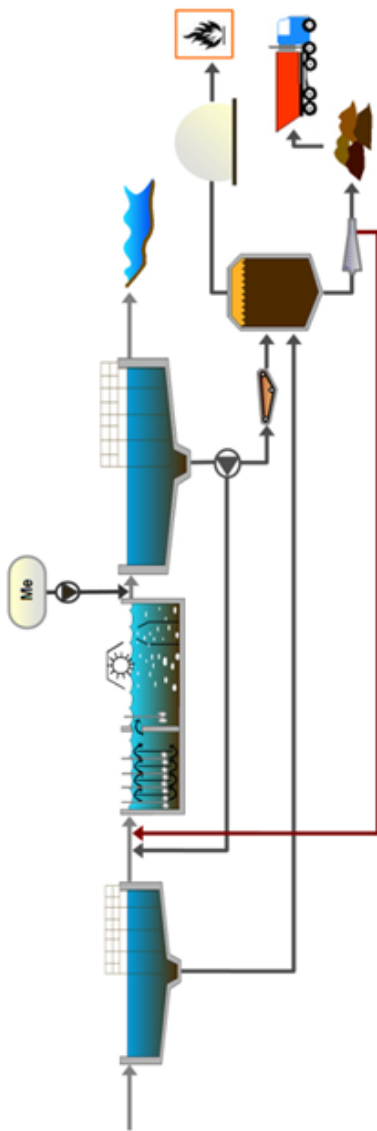
2 trins renselanlæg med rådnetank

100.000 PE

Normal sammensat husspildvand

30.000 m³/d

240 kg Total-P i indløb



	Fosforbalance					Kemikalier			Slamproduktion		
	P ind [mg/l]	P ud [mg/l]	P i slam [% af SS]	Ass. P [% af P]	BIO-P [% af P]	Kernisk P [% af P]	JKL [kg/d]	Polymer [kg/d]	Kernisk [kgTS/d]	BIO-P [kgTS/d]	I alt [kgTS/d]
0 % BIO-P	8,0	0,3	4,4	24,4	0,0	75,6	3.796	10,9	1.366	0	1.366
20 % BIO-P	8,0	0,3	4,8	23,3	22,2	54,5	2.863	9,2	1.030	120	1.150
40 % BIO-P	8,0	0,3	5,3	22,3	42,5	35,1	1.929	7,5	694	240	934
60 % BIO-P	8,0	0,3	5,8	21,4	61,2	17,4	995	5,7	358	360	718
70 % BIO-P	8,0	1,0	5,8	23,0	77,0	0,0	0	3,4	0	423	423

	Driftsøkonomi [DKK/år]			Total
	JKL	Polymer	Slam	
0 % BIO-P	1.386.000	119.000	1.068.000	3.115.000
20 % BIO-P	1.045.000	101.000	900.000	2.588.000
40 % BIO-P	704.000	82.000	732.000	2.060.000
60 % BIO-P	363.000	11.000	561.000	1.477.000
70 % BIO-P	0	37.000	332.000	2.176.000

JKL:	1.000 DKK/t
Polymer:	30 DKK/kg
Afvanding:	28 % TS
Slamdisponering:	600 DKK/t
Gødning afgrøder:	165 DKK/kg P

Figur 3.4 Beregnings eksempel 2: Skema over 2 trins renselanlæg med rådnetank med tabel over fosforbalance, kemikalieforbrug og slamproduktion samt tabel over driftsøkonomi af tiltagene

3.5 Opsummering

Der er kort beskrevet forslag til teknologiske udviklingsbehov, som kan fremme anvendelsen af fosfor. Fokuseres alene på optimal fosforanvendelse, er det således en fordel at fjerne fosfor fra spildevand med biologiske metoder og undgå brug af kemikalier. Anvendes kemikalier, bør jern (og ikke aluminium) anvendes i mindst mulige mængde. Det vurderes, at der er behov for en udvikling af helhedsorienterede løsninger, som sikrer optimale muligheder for at udnytte fosforreserven i såvel spildevandet som i slammet, hvor både spildevands- og slambehandlingen og den efterfølgende slamhåndtering og jordbrugsanvendelse tænkes ind. Det skal blandt andet fastlægges, hvor det meste af fosforen findes, og hvor man kan udvinde den.

Der skal etableres et bedre overblik over tilgængeligheden af fosfor (dvs. gødningsværdien) ved forskellige behandlingsmetoder, og der er behov for en forbedret eller ny analysemetode for fosfortilgængelighed. Følgende forhold er nærmere uddybet.

Forbedring af den biologiske fosforfjernelse: En øget og mere effektiv og stabil biologisk fosforfjernelse vil reducere den mængde fosfor, der er bundet kemisk og vil derfor forøge den umiddelbare tilgængelighed af fosforen, når den udbredes på landbrugsjord. Forbedring af den biologiske fosforfjernelse kan både ske ved en forbedring i selve spildevandsbehandlingen, hvor der sikres optimale forhold for optagelse af fosfor, samt i slambehandlingen, hvor det skal sikres, at der ikke sker en ukontrolleret og uhensigtsmæssig frigivelse af den biologisk bundne fosfor, som giver en forøget intern belastning (dvs. på rensningsanlægget) og dermed nedsætter den samlede effektivitet af den biologiske fosforfjernelse.

Behandling af rejeckt vand: Der findes allerede teknologier til udvinding af fosfor fra rejeckt vand, hvor fosforkoncentrationen typisk er meget høj. Det kunne derfor være hensigtsmæssigt med en undersøgelse af, hvorledes det sikres, at mest muligt fosfor føres over til rejeckt vandet, hvor der kan foretages en kontrolleret udfældning med eksempelvis kemikalier, der ikke binder fosforen så hårdt. Særskilt behandling af rejeckt vandet vil sandsynligvis også forbedre den biologiske fosforbehandling.

Det vurderes som relevant at undersøge struvit- og HAP-teknologien på de større danske rensningsanlæg, der ikke genanvender fosfor som gødning, f.eks. via demonstrationsprojekter/udredninger.

4. Eksisterende teknologier

I dette kapitel beskrives de eksisterende behandlingsteknologier, der findes i Danmark til behandling af organisk affald, herunder spildevandsslam. Med eksisterende teknologier menes fuldskala anlæg, der er etablerede, velfungerende og kommercielt bæredygtige. Detaljerede beskrivelser af teknologierne findes i Bilag 2:

4.1 Direkte udbringning af stabiliseret slam

Ved direkte udbringning af spildevandsslam på landbrugsjord menes, at der ikke sker en yderligere behandling af slammet efter, at det har forladt rensningsanlægget og inden udspredning på landbrugsjord. De næringsstoffer og det kulstof, der er i slammet, recirkuleres til jorden.

På rensningsanlægget renses, stabiliseres og i nogle tilfælde hygiejniseres spildevandsslammet (se kapitel 3). Stabilisering af slammet kan ske ved udrådning, beluftning eller kalkstabilisering.

4.1.1 Udrådnet slam

En lang række renseanlæg har i dag rådnetanke, hvor spildevandsslammet nedbrydes under iltfrie forhold. Forud for udrådning kan der af kapacitetsmæssige årsager foretages forafvanding, og af hygiejnemæssige årsager hygiejniseres slammet, jf. slambekendtgørelsen. Tørstofindholdet er typisk ca. 3–5 % ved indpumpning til rådnetanken (biogasreaktoren).

I rådnetanken opvarmes slammet til enten ca. 35-37 grader (mesofil proces) eller ca. 52-54 grader (termofil proces), hvilket har betydning for nedbrydningsprocessens fart og følsomhed. Typisk sker udrådning ved mesofil drift på danske renseanlæg. Den termofile drift er hurtigere end den mesofile, da en højere temperatur fremskynder nedbrydningen, men den er samtidig mere følsom over for kvælstofindholdet. Opvarmningen sker med brug af en del af den biogas, som produceres i rådnetanken, og derfor er yderligere energi til opvarmning ikke nødvendig.

Efter opvarmningen pumpes blandingen gennem et lukket rørsystem over i en reaktortank, hvor den egentlige gasproduktion foregår. I den iltfrie reaktor foregår den biologiske nedbrydningsproces ved hjælp af bakterier, og opholdstiden er to-fire uger.

Slammets tørstof reduceres ved anaerob nedbrydning, og ca. 20-50 % af tørstoffet omsættes til energi og lidt vand. Den resterende del afvandes til 20–30 % tørstof alt efter udrådningsgrad, afvandingsmetode, polymervalg, mv..

Det afgassede materiale indeholder typisk 5 % kvælstof, 2,5 % fosfor og 1 % kalium i forhold til tørstof. Det svarer til ca. 11 kg N, 6,0 kg P og 0,4 kg K pr. tons i det afvandede og afgassede slam. Det skal bemærkes, at der ved afvanding af udrådnet slam føres en vis mængde opløst fosfor tilbage til renseanlægget med rejktvandet og går dermed tabt i slammet.

4.1.2 Beluftning

Spildevand, som er befriet for papir, større bestanddele, sand og evt. primærslam, ledes til en luftningstank med mikroorganismer (aktiv-slam). Mikroorganismene nedbryder og evt. fortærer de forurenende stoffer. Nedbrydningen foregår i et aktiv-slamanlæg under aerobe forhold, og det er derfor nødvendigt at belufte blandingen af aktiv-slam og spildevand.

Beluftningen af aktiv-slamanlæg sker som regel med overfladebeluftere (rotorer, turbiner) eller bundbeluftere (diffusorer) (Undervisningsministeriet, 2011).

4.1.3 Kalkstabilisering

Ved kalkstabilisering tilsættes hydratkalk, hvorved pH hæves til over 12. Der tilsættes hydratkalk i en mængde svarende til 50 % af tørstofindholdet i det afvandede slam. Det svarer til ca. 100 kg hydratkalk pr. ton slam med TS 20 %. Ved tilsætning af denne mængde kalk er pH-værdien i slammet højere end 12 i 3 måneder, svarende til hygiejnisering, jf. Slambekendtgørelsen (se kapitel 7). Det betyder, at patogene bakterier inaktiveres, og lugtgener reduceres (Simon Moos Maskinfabrik A/S, 2012).

Ved at tilsætte kalk får spildevandsslammet et højere tørstofindhold, som kan være en fordel ved den efterfølgende håndtering af slammet samtidig med, at landbrugsjorden får et kalktilskud sammen med slamudbringningen.

Kalkstabilisering foregår kun i begrænset omfang.

4.1.4 Udbringning

Hvis analyserne for tungmetaller og miljøfremmede stoffer i slammet overholder de angivne grænseværdier i bekendtgørelse nr. 1650 af 13. december 2006 om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen), jf. kapitel 7, må spildevandsslammet udbringes på landbrugsjord. Meget slam overholder i dag de gældende grænseværdier i Slambekendtgørelsen. Derudover kræves det, at en række administrative og dyrkningsmæssige forhold også overholdes.

I nogle få måneder om året – typisk i forbindelse med etablering af afgrøderne forår og efterår – er det muligt at transportere slammet direkte fra rensningsanlægget ud på den mark, hvor slammet skal udsprede. Transporten sker med lastbil.

I de øvrige måneder af året mellemlagres spildevandsslammet i miljøgodkendte lagre, som ofte består af eksisterende gyllebeholdere. Her opbevares slammet, til det skal udsprede på marken. Under mellemlagringen vil der afgives ammoniak. Det er ikke undersøgt hvor meget, men det vurderes, at de væsentligste kilder til emission af ammoniak er fra udspredning og en evt. forudgående kompostering (Ingvertsen et al., 2010). Få dage før udspredningen skal ske, grabbes slammet fra lageret over i en lastbil, som efterfølgende transporterer det ud på den mark, hvor det skal udsprede.

Selve udspredningen sker med en speciel traktortrukken slamspreder, som er designet til bl.a. at sprede spildevandsslam i et jævnt lag ud over marken. Slammet skal være indarbejdet i jorden indenfor 6 timer efter udspredningen – enten med pløjning eller med harvning. For den optimale udnyttelse af næringsstofferne er spreedeffektiviteten afgørende. Jo mindre slamklumper jo mere effektiv udnyttelse af næringsstofferne. Der findes i dag spredere, der neddelser slammet til klumpstørrelse på under 1 cm for 85 % af mængden og maksimal størrelse på under 5 cm og spreder det jævnt, når der køres bevidst med passende overlæg.

4.2 Kompostering af slam

Kompostering er en behandlingsproces, hvor organisk materiale som f.eks. kildesorteret organisk husholdningsaffald, spildevandsslam eller lignende omdannes til kompost (humus) gennem en biologisk nedbrydning under tilstedeværelsen af ilt (aerob proces).

Der har i de sidste 30 år været stærk fokus på komposts bekæmpende virkning på plantesygdomme. Det er især udforsket i USA, men også i enkelte andre lande. Der foreligger et righoldigt litteraturmateriale, som beskriver den udførte forskning og afprøvning, ligesom der er beskrevet flere praktiske projekter især inden for gartneri. US-EPA har ligeledes fremlagt en oversigt og beskrivelse af de foretagne undersøgelser og muligheder (se f.eks. US EPA, 1997 og Zinati, 2005). Fordelen ved kompostanvendelse har været en væsentlig reduktion i brugen af såvel bekæmpelsesmidler som pesticider, herbicider og desinfektionsmidler, ligesom der på flere afgrøder er fremvist øget produktivitet og udbytte.

Hvor det af forskellige grunde ikke er muligt at anvende slam direkte på markerne, kan det være en mulighed at bruge kompostet spildevandsslam. Kompostet slam har ikke de samme lugtgener som rå slam, hvilket har betydning for spredning i områder, der ligger tæt på bebyggelse. Der findes en række undersøgelser, som dokumenterer, at komposteringsprocessen er med til at nedbryde en række miljøfremmede stoffer (Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, 2005; Ingvertsen et al., 2010).

Komposteringen kan foregå ved forskellige processer. Den mest anvendte til slamkompostering i Danmark er milekompostering, men komposteringen kan også finde sted i lukkede processer, som f.eks. containerkompostering.

Der findes endvidere en metode, som kombinerer komposteringsprocessen med produktion af biogas. Beskrivelse af denne metode er ligeledes omfattet i det efterfølgende.

4.2.1 Anlægsspecifik beskrivelse for milekompostering

Der findes 6-8 anlæg til milekompostering af spildevandsslam i Danmark, mens tallet for resten af verden kommer over 1000 anlæg.

Ved milekompostering forstås, at det organiske materiale bliver udlagt i lange bunker i trapezform, kaldet miles. En mile er typisk 4-7 meter bred og 2-4 meter høj. Inden udlægningen bliver det organiske materiale blandet med have-parkaffald for at opnå den rette struktur og evt. med andre fraktioner for at få det ønskede forhold mellem kulstof og kvælstof. Inden blanding bliver have-parkaffaldet knust i en såkaldt neddeler, så det bl.a. får en tilpas størrelse.

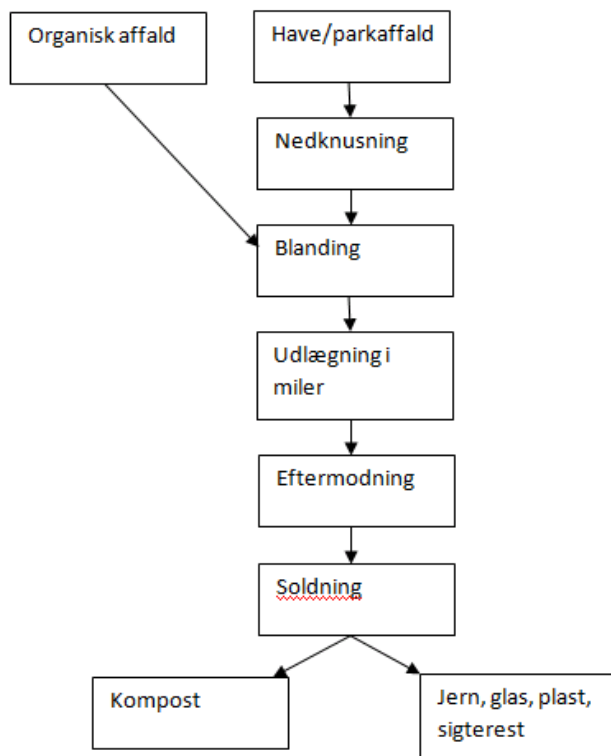
Milen vendes løbende af en såkaldt milevender, der trækker det yderste lag mod midten, og samtidig opbygges der hulrum for at sikre tilstrækkelig naturlig forsyning af ilt. Miles kan også beluftes mekanisk og f.eks. overdækkes med et biofilter eller en geotex membran for at beskytte den mod nedbør og hindre lugtgener. Opsamlet luft kan evt. ledes til biofilter og/eller N-scrubber.

De forskellige tiltag har til formål at vedligeholde den mikrobiologiske aktivitet, og temperaturen inde i milen kan som følge heraf nå 60-80 grader. Herved bliver materialet varmebehandlet, typisk som kontrolleret kompostering, jf. Slambekendtgørelsen. Under komposteringsprocessen frigives ammoniak. Frigivelsen af ammoniak under komposteringen styres af temperatur og pH, men også C/N forholdet i slammet og de andre organiske materialer, det komposteres med, vil have en indflydelse på risikoen for ammoniaktab under komposteringen; jo højere C/N forholdet er (og dermed jo mindre N indholdet er), jo lavere er risikoen for ammoniaktab (Ingvertsen et al., 2010).

Selv den mest aktive kompostering tager 4-12 uger, og derudover skal materialet eftermodne i 2-4 måneder, alt efter anvendelse. Som det sidste skal komposten soldes. Det sker først i en tromlesigte

og på nogle anlæg efterfølgende i en stjernesigte, hvor soldet er større. Jern fjernes med en magnet, mens plast suges fra i en vindsigte. Det færdige kompostprodukt kan anvendes i haver, på landbrugsjord, som jordforbedringsmiddel og som vækstmedie ved blanding med spagnum (afhængigt af graden af hygiejnisering, jf. Slambekendtgørelsen).

Processen illustreres i nedenstående procesdiagram (Figur 4.1).



Figur 4.1 Procesdiagram – milekompostering (DAKOFA)

4.2.2 Anlægsspecifik beskrivelse for kompostering i lukkede processer

Container-kompostering er en komposteringsmetode, som foregår i lukkede containere under naturlig tilførsel af ilt (aerob proces). Metoden kan bl.a. håndtere spildevandsslam og have-park affald. Anlægget består af en overdækket plads med båse til de forskellige affaldsfraktioner, så lugtgener og ukontrolleret vandtilførsel kan undgås.

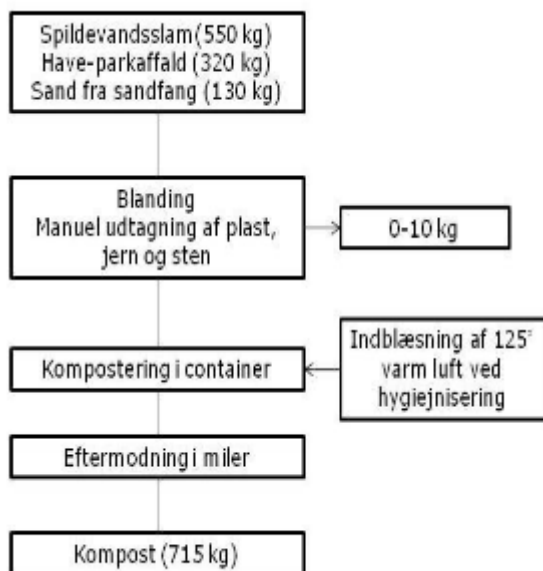
En frontlæsser fører affaldet hen til et blandedanlæg, hvor det lægges i lag. Eventuelle urenheder som sten og plast fjernes manuelt. Blandeanlægget er forsynet med vejeceller, der holder øje med, hvor meget af hver fraktion der kommer i blanderen, så der opnås en optimal sammensætning. Transportbånd fører det sammenblandende materiale frem til en container, hvor den egentlige kompostering foregår.

Containeren er forsynet med en pyramideformet, dobbelt hulpladebund. Opbygningen gør det muligt at lade luft, der kommer ind gennem rør i bunden, passere frit op gennem materialet. Trådløse målere logger temperaturen hver halve time. Temperaturen ligger på ca. 60 grader, og logningen bruges til at dokumentere, at temperaturen for hygiejnisering overholdes.

Efter 10-15 dage bliver komposten således hygiejniseret ved, at der indblæses 125 grader varm luft, således at temperaturen holdes på 70 grader i en time. Hygiejniseringen betyder, at komposten må anvendes uden restriktioner.

Efter 28 dage lægges materialet ud i miler. Her eftermodner materialet, inden det som kompost udbringes på bl.a. landbrugsjord og som jordforbedringsmiddel. Den samlede gennemløbstid er typisk to måneder.

Processen illustreres i nedenstående procesdiagram.



Figur 4.2 Procesdiagram – kompostering i lukkede processer (container) (CompSoil Danmark Aps)

4.3 Mineralisering af slam

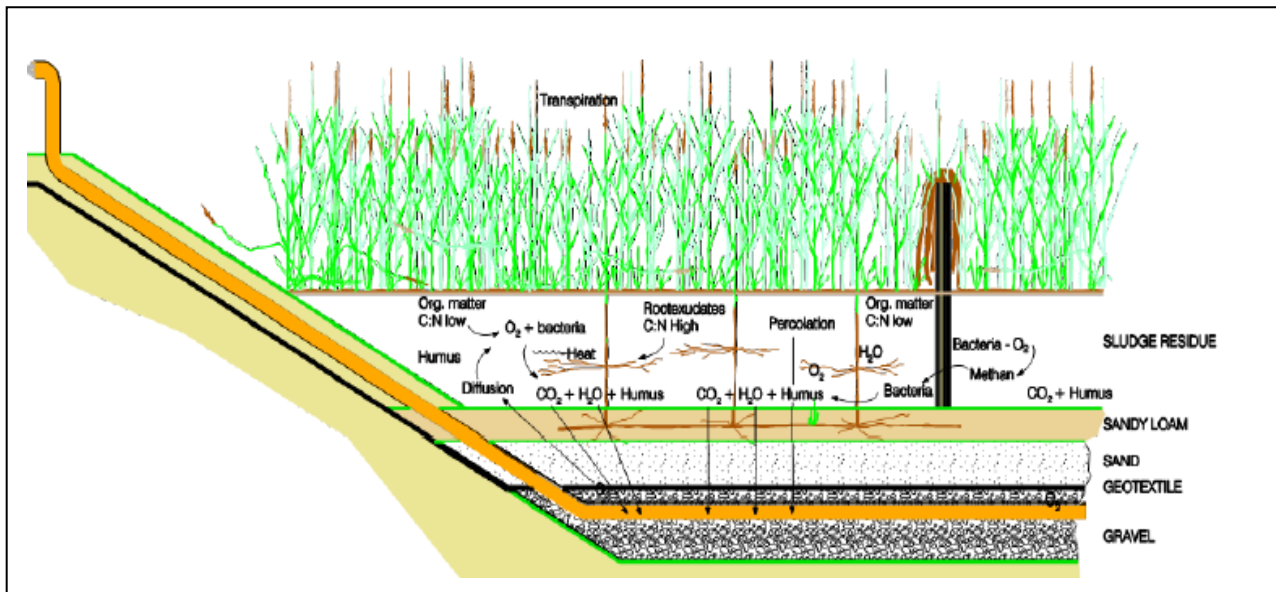
I et biologisk slammineraliseringsanlæg reduceres slammængden på to måder, dels ved afvanding og dels ved omsætning – mineralisering - af det organiske materiale i slammet. Et slammineraliseringsanlæg består af et antal bassiner, oftest jordbassiner med et filterlag, som er tilplantet med tagrør, hvortil slam fra renseanlægget tilledes og fordeles jævnt. Der findes forskellige typer slammineraliseringsanlæg. Nedenfor gives et eksempel på en procesbeskrivelse.

Fra renseanlæggene pumpes slammet ud på bassinernes overflade, slamrestoverflade. Ved afvandingen filtreres slammets indhold af tørstof – også kaldet suspenderet materiale - fra på overfladen, mens vandet afdrænes lodret ned gennem den slamrest, der tidligere er spredt ud i anlægget, og via et filter i bunden af anlægget. Desuden sker der en stor fordampning direkte fra slamrestens overflade samt af det vand, der optages i tagrørerne. Fordampning fra planteoverfladen (evapotranspiration) er 5 til 6 gange så stor som fordampning fra slamrestens overflade. Plantefordampningen kan dermed suge vand ud af slammet og således bidrage til mineralisering (Andersen et al., 1992).

Mineralisering – eller omsætning – af slamresten foretages af de mikroorganismer (bakterier, svampe og mikroskopiske dyr), der naturligt findes i slambassinene. Mineraliseringen omfatter også nedbrydning af miljøfremmede organiske stoffer, således at slamkvaliteten forbedres. Disse processer medfører, at den næringsrige slamrest får karakter af tørvejord.

Bassinerne tømmedes med cirka 10 års intervaller, og det næringsrige slam anvendes som gødning på landbrugsjord.

Processen illustreres i nedenstående procesdiagram.



Figur 4.3 Procesdiagram – slammineralisering (Steen Nielsen, Orbicon)

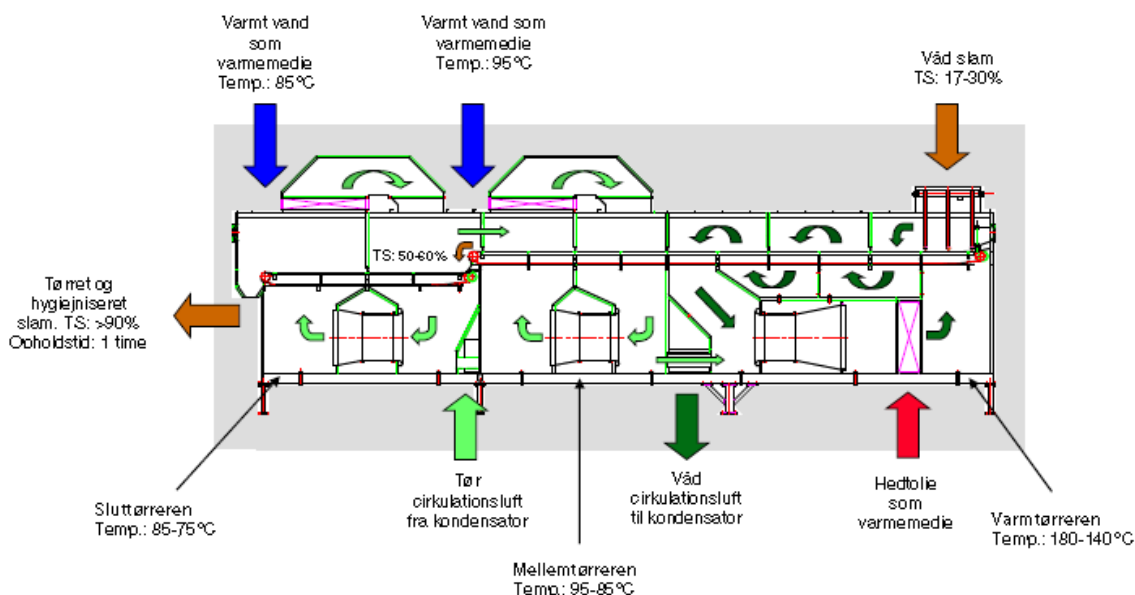
4.4 Tørring

Udrådnat spildevandsslam kan tørres ved hjælp af forskellige metoder, og det tørrede slam anvendes til forskellige formål. Nedenfor gives en kort beskrivelse af slamtørningsanlægget hos Randers Centralrenseanlæg og Aalborg Renseanlæg Øst.

Selve tørringsprocessen på Randers Centralrenseanlæg foregår ved, at det udrådnede spildevandsslam afvandes til ca. 20 % tørstof, f.eks. på sibåndspresere på renseanlægget. Anlæg, der f.eks. anvender højtryksdekantere, kan opnå slamafvanding til omkring 30 % tørstof.

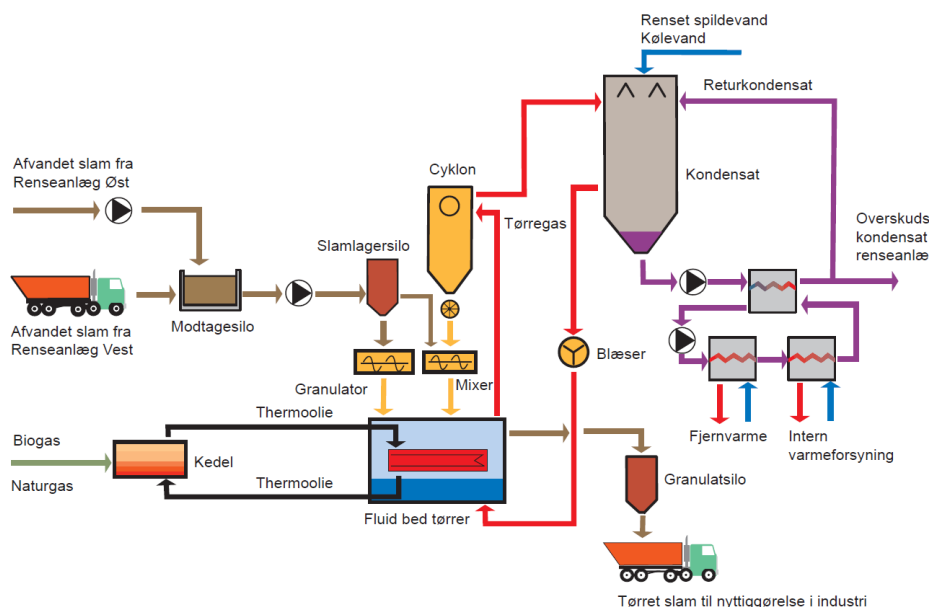
Hvis tørreanlægget er beliggende ved renseanlægget, pumpes det afvandede slam direkte til tørreanlæggets slamsilo fra sibåndspreserne. Fra slamsiloen pumpes slammet til tørreanlæggets slamudlæggere, som har til formål gennem gummidyser at fordele slammet jævnt på tørrerens rustfrie trådbånd, så slammets overflade bliver så stor som mulig.

Tørringen af slammet foregår ved, at der cirkuleres varm luft gennem båndet og slammet, således at slammet til sidst når op på et tørstofindhold på ca. 90 %. Under tørreprocessen kontrolleres temperaturer og opholdstid løbende, således at slammet samtidig hygiejniseres. Tørret slam har en brændværdi på ca. 12 MJ/kg ved 90 % tørstof. Tørringsprocessen illustreres i nedenstående procesdiagram (Figur 4.4).



Figur 4.4 Procesdiagram – tørring af spildevandsslam (Randers Spildevand A/S, 2012)

På Aalborg Renseanlæg Øst (se Figur 4.5) benyttes et fluidbed slamtøringsanlæg. Slammet tørres i fluidbed ved indirekte tørring, og processen foregår i et lukket system. Slammet afvandes til 28-30 % tørstof, inden det tørres til 90-95 % tørstof. I fluidbed tørreeren holdes slammet "svævende" i en opadstrømmende, varm tørregas. Opholdstiden i fluidbed tørreeren er min. 2 timer ved 90 °C. Under tørreprocessen hygiejniseres slammet. Overskudsvarmen fra tørreprocessen nyttiggøres til proces- og rumvarme. Det tørrede slam er granulat (kugler med en diameter på 2-5 mm). Granulatet afsættes som CO₂-neutralt brændsel og råstof til industrien i ind- og udland.



Figur 4.5 Procesdiagram – slamtøringsanlæg Aalborg renselanlæg Øst (Pedersen, 2012)

Normalt opbevares det tørrede slam i en tørslam-silo, hvorfra det kan køres bort i løs vægt, i store sække eller container.

Slammets høje tørstofindhold giver mange muligheder for anvendelse:

- Er indholdet af miljøfremmede stoffer ikke for stort, dvs. ikke over grænseværdierne, kan det tørrede slam anvendes som gødning på landbrugsjord.
- Det tørrede slam kan også brændes i dedikerede slamforbrændingsanlæg og udnyttes til energiproduktion. Asken indeholder fosfor, som kan udvindes og anvendes til gødningsproduktion (se kapitel 5).
- Det tørrede slam kan samforbrændes i (kraft)varmeværker, idet energiindholdet i tørret spildevandsslam kun er en smule mindre end indholdet i f.eks. træflis. Da det tørrede slam brændes sammen med andre brændselstyper, er det ikke muligt at udvinde fosforen fra asken, hvorfor den tabes.
- Tørret spildevandsslam kan også anvendes i forskellige industrielle processer som brændsel og råmateriale f.eks. til cement- og Leca® produktion. Da der i fremstillingsprocesserne opnås temperaturer på over 900°C, destrueres alle organiske forbindelser. Asken indgår herefter i produktet og består primært af silicium, calcium og jern. Slammaske kan anvendes i produktion af isoleringsmateriale, f.eks. hos Rockwool, hvor slamasken benyttes i stedet for andre råmaterialer, såsom basalt. Krav til kvaliteten af den slammaske, som benyttes i processen, er af produktionsmæssige årsager og af hensyn til produktkvaliteten begrænset til indhold af tungmetaller. Erfaringen viser dog, at indholdet af tungmetaller typisk ikke er noget problem i forhold til produktkrav. Derimod er f.eks. modtagekapacitet og forsyningsikkerhed kriterier, der vægtes højere end andre kriterier. Ved industrielle anvendelser af slamasken tabes fosforen i udgangspunktet, da den indlejres i produktet.

4.5 Slamforbrænding i fluid bed anlæg

Ved forbrændingen tilføres materialet ilt, som derved sikrer en fuldstændig forbrænding. Da spildevandsslam i Danmark forbrændes på slamforbrændingsanlæg ved hjælp af fluide bed teknologien, er det kun denne behandlingsform, der er beskrevet i detaljer.

Fluid bed (eller fluidized bed) er en behandlingsteknologi, der håndterer affald ved afbrænding oven på et "flydende sandlag". Navnet kommer af, at der blæses luft ind under sandlaget, som derpå bringes til at svæve. I denne tilstand opfører sandet sig principielt som en flydende væske.

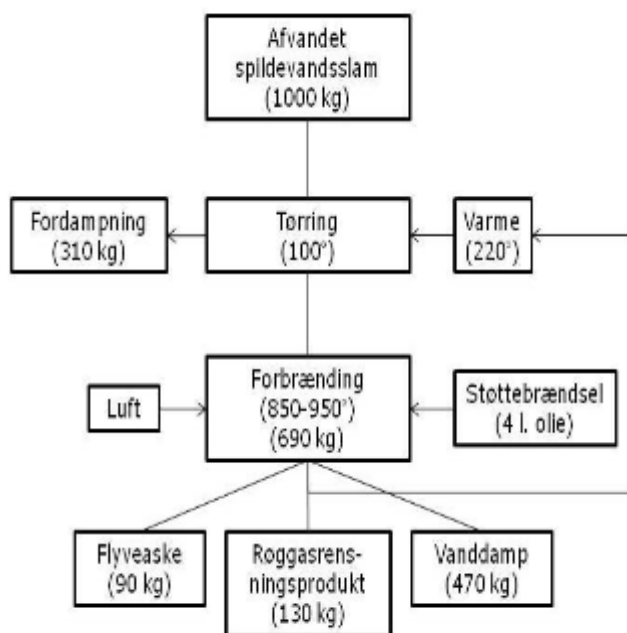
Ved denne tilgang forudsættes der en neddeling af materialet og dermed en hurtigere og bedre forbrænding. I Danmark er det udelukkende spildevandsslam, der behandles på denne måde.

Inden slammet kan forbrændes, skal det først afvandes, eksempelvis i en centrifuge, og derpå tørres. I slamtørreren opvarmes slammet til kogepunktet ved hjælp af en over 100 grader varm omrører. Varmen hertil kommer fra overskudsvarme fra forbrændingen. Når slammet har nået det nødvendige tørhedsniveau, kan det indføres via ovnsiden, hvor det skubbes ind med et stempel. Bunden af fluid bed-ovnen består af et ca. 50 cm højt sandlag. Ophedet forbrændingsluft blæses med stor hastighed gennem en dysebund under sandet, som derved opvarmer det og får det til at svæve (fluidisere). Affaldets gennemløbstid er 3-4 timer.

Temperaturen i ovnen ligger på 850-950 grader. Det glohede og svævende sand virker som sandpapir på slammet og medfører, at det sønderdeles til partikler. Partikelformen gør, at slammet udbrænder nærmest øjeblikkeligt.

På grund af den opadgående luftstrøm suges asken og røggassen ud af toppen på ovnen. Her løber det gennem et elektrofilter, hvor asken sætter sig, mens røggassen fortsætter gennem posefiltre og et såkaldt skrubbetårn, hvor de miljøskadelige stoffer opfanges.

Processen illustreres i nedenstående procesdiagram (Figur 4.6). Behov for støttebrændsel kan eksempelvis opstå ved opstart af processen efter vedligeholdelse af anlægget. Behovet for støttebrændsel vil generelt være afhængigt af procesdesign.



Figur 4.6 Procesdiagram – slamforbrænding (DAKOFA)

4.6 Deponi/mellemlagring

I det omfang spildevandsslam ikke kan anvendes til jordbrugsanvendelse, eller slamasken fra forbrænding af slammet ikke kan genanvendes, kan deponering være den eneste mulighed, skønt det er den lavest prioriterede disponeringsmetode. Hertil kommer at deponering af spildevandsslam er omfattet af deponeringsafgiften, hvilket gør deponering til en dyr løsning sammenlignet med andre løsninger.

Afvandet slam kan deponeres sammen med andet affald, men slammets konsistens gør, at det er vanskeligt at håndtere på de fleste deponier. Komposteret slam kan dog anvendes som afdækningsmateriale på deponierne.

På Danmarks største renseanlæg Lynetten findes et depot med særskilt oplagring af aske fra slamforbrændingsanlægget. Det anslås, at fosformængden i dette depot udgør ca. 30.000 tons fosfor i 2011.

I Danmark deponeres ca. 3 % af slamasken. Herved går fosforindholdet i asken typisk tabt, med mindre den fosforholdige aske deponeres kontrolleret og midlertidigt, indtil der er udviklet teknologier til at udvinde fosforen fra asken. Som ved udnyttelse af energien i spildevandsslammet gennem en dedikeret forbrænding, slamforbrænding eller forgasning, er det væsentligt, at den deponerede aske håndteres separat og ikke blandes op med andre asker eller fragmenter. Ellers vil det ikke være muligt at oparbejde fosforen i askerne i den vaskemiske proces. Der er i dag flere forskellige deponier både i Danmark og i udlandet f.eks. Tyskland, hvor disse asker er deponeret separat.

Livsforløbet for et egentligt deponeringsanlæg er betydeligt længere end den periode, hvor der tilføres affald. Mange år efter anlægget er ophørt med at modtage affald, skal der fortsat ske en efterbehandling (håndtering af perkolat) og monitoring på deponeringsanlægget (Miljøministeriet, 2007; DANVA, 2009; Kommunekemi A/S).

4.7 Opsummering

Der eksisterer forskellige teknologier i Danmark, som benyttes til behandling af organisk affald, herunder spildevandsslam. Teknologierne har ikke til formål at udvinde fosfor fra spildevandsslam, men at udnytte gødningsværdien i slam – herunder værdien af fosfor. Disse eksisterende teknologier er fuldskalaanlæg, der er etablerede, velfungerende og kommercielt bæredygtige. Håndtering af spildevandsslam skal ske på en bæredygtig måde – og her menes både økonomisk og miljømæssigt bæredygtig.

For de biologisk baserede behandlingsmetoder (kompostering, mineralisering, biogas og direkte udbringning) er der intet tab af fosfor i behandlingsprocessen, og det færdigbehandlede slam anvendes til gødnings- og jordforbedringsformål under forudsætning af, at Slambekendtgørelsens krav er overholdt. Det er ikke nødvendigvis 100 % af fosforen i spildevandsslam, som jorden og afgrøderne kan udnytte som gødning, bl.a. fordi der kan ske et tab af fosfor som resultat af udvaskning via regnvand.

Ved en biogasproces produceres energi i form af biogas, og det afgassede materiale kan efterfølgende anvendes til gødnings- og jordforbedringsformål. Komposterings-, mineraliserings- og biogasprocesserne har derudover den fordel, at der sker en vis hygienisering af slammet. Der sker en nedbrydning/reduktion af en række miljøfremmede stoffer i komposterings- og mineraliseringsprocessen. Nogle miljøfremmede stoffer vil muligvis nedbrydes under biogasprocessen (Uellendahl & Ahring, 2008).

Der har i de sidste 30 år været fokus på komposts bekæmpende virkning på plantesygdomme. Det er især udforsket i USA, men også i enkelte andre lande. Fordelen ved kompostanvendelse har været en væsentlig reduktion af brugen af bekæmpelsesmidler såsom pesticider, herbicider og desinfektionsmidler, ligesom der på flere afgrøder er fremvist øget produktivitet og udbytte. Det vil være særdeles relevant at få fremlagt de virkningsmuligheder (f.eks. bekæmpende virkning på plantesygdomme), som kan fremkomme ved kompostering af affald og slam.

Fosfor i spildevandsslam, der anvendes som brændsel, vil blive tabt med den nuværende teknologi, hvor slamasken deponeres. Hvis slamasken kommer fra dedikerede slamforbrændingsanlæg og deponeres kontrolleret, vil det således være muligt at udnytte fosforindholdet, når teknologien her til er udviklet.

5. Udviklingsteknologier til fosforgenvinding fra spildevand og spildevandsslam

I dette kapitel beskrives udviklingsteknologier til genvinding af fosfor fra spildevand og spildevandsslam. Der vil blive beskrevet nye danske og udenlandske teknologier samt eksisterende udenlandske teknologier.

5.1 Fosforudfældning fra rejktvand eller væsken i spildevandsslam

Rejktvand produceres, når overskudsslam fra spildevandsrensningen på et renseanlæg behandles med det formål at øge tørstofkoncentrationen. Alt rejktvand fra slambehandlingen ledes tilbage til renseanlæggets spildevandsbehandling.

Almindeligvis inkluderer betegnelsen "rejktvand" ikke den vandfase, der frigøres ved en eventuel afvanding af primærslam, men omfatter udelukkende vand, der separeres fra afvandingen af biologisk/kemisk slam (herunder også udrådet slam).

Årsagen til, at overskudsslam fra spildevandsrensningen afvandes, er slammets høje vandindhold på 97-99,5 %. Af hensyn til driftsøkonomien på renseanlægget er det hensigtsmæssigt at afvande slammet mest muligt, inden det indgår i en videre behandling eller slutdisponeres.

Afvandingen kan ske i koncentreringstanke, i mekanisk afvandingsudstyr (presser, centrifuger og lign.) eller f.eks. i slambede. Hvis tørstofkoncentrationen øges i en koncentreringstank, anvendes sommetider benævnelsen "supernatant", idet vandfasen, der separeres fra slammet, udtages i topen af tanken.

Mest almindeligt er det at anvende mekanisk afvandingsudstyr. Processen er forbundet med et polymerforbrug, der anvendes til at konditionere slammet, så afvandingsgraden øges.

Nedenstående er opsummeret de almindeligste kilder til rejktvand:

- Forafvanding – betegner typisk en afvanding af biologisk/kemisk slam før en anaerob behandling i rådnetanke. Afvandingsgraden ligger med mekanisk udstyr typisk på 5-8 % TS. Polymerforbruget udgør ca. 5-7 kg/t TS. Anvendes en koncentreringstank, opnås normalt en afvandingsgrad på 2-4 % TS, og der er normalt intet polymerforbrug tilknyttet.
- Slutafvanding betegner typisk den sidste afvanding, før slammet køres bort fra anlægget, enten til direkte slutdisponering eller til en viderebehandling (tørring, forbrænding eller lign.). Hvis der er tale om mekanisk afvanding af biologisk/kemisk slam, ligger afvandingsgraden typisk på 17-23 % TS. Polymerforbruget varierer meget og ligger ofte omkring 4-10 kg/t TS. Udrådet slam opnår generelt en højere afvandingsgrad, der typisk vil ligge på 25-30 % TS. Mindre renseanlæg anvender sommetider en koncentreringstank til slutafvanding af det biologi-

ske/kemiske slam. Ligesom ved forafvandingen i en koncentreringstank opnås normalt en afvandingsgrad på 2-4 % TS, og igen er der normalt intet polymerforbrug tilknyttet.

Rejektvandet består hovedsageligt af hulrumsvand samt en del af det kapillarbundne vand, der befinder sig i overskudsslammet. Sammensætningen af rejevtvandet er meget afhængigt af, om der afvandes biologisk/kemisk slam eller udrådnat slam:

- Rejevtvand fra slamafvandning af biologisk/kemisk slam indeholder kun ganske små mængder opløste forureningskomponenter (COD, NH₄-N og PO₄-P), der normalt er i samme størrelsesorden som det rensede spildevand i udløbet fra renseanlægget. De miljøfremmede stoffer er knyttet til det partikulære stof (slammet) og følger derfor dette tilbage i det aktive slam, når rejevtvandet returneres, uanset at dette måske har passeret en struvitfældning. Herudover indeholder rejevtvandet ca. 500-1.000 mg SS/l (SS – suspended solids), der dog ikke udgør nogen ekstra forureningsbelastning af renseanlægget, da der er tale om aktivt slam (bakterier), der ledes retur til spildevandsrensningen.
- Rejevtvand fra slamafvandning af udrådnat blandslam (primærslam og biologisk/kemisk slam) eller udelukkende biologisk/kemisk slam indeholder relativt høje koncentrationer af opløste stoffer. På samme måde som for afvandning af biologisk/kemisk slam indeholder rejevtvandet også en vis mængde suspenderet stof. Her er der dog tale om suspenderet stof, der udgør en mindre forureningsbelastning af renseanlægget.

Rejevtvand fra slutaftvanding af biologisk/kemisk slam, der har gennemgået anaerob behandling i rådnetanke, har typisk følgende gennemsnitlige sammensætning (erfaringsværdier, spildevandsforsyninger Danmark).

SS	5-1.500 mg/l
COD	500-2.000 mg/l
Total-N	500- 2.500 mg/l
NH ₄ -N	400- 2.200 mg/l
P-Total	50-400 mg/l
PO ₄ -P	30-350 mg/l

Koncentrationen af ammonium (NH₄-N) i rejevtvandet afhænger af andelen af biologisk slam i forhold til primær slam og kemisk slam; mere biologisk slam giver højere ammoniumkoncentrationer.

Koncentrationen af fosfor i rejevtvandet afhænger af andelen af biologisk slam i forhold til primær slam og kemisk slam samt af, hvor meget af fosforen der er indbygget via biologisk fosforfjernelse; jo højere andel af biologisk slam med biologisk indbygget fosfor, desto højere koncentration af orthofosfat (PO₄-P).

Ved genanvendelse af fosfor fra rejevtvand er der stor forskel på kvaliteten af slutproduktet, specielt hvad angår indholdet af organisk stof. Der findes løsninger, hvor slutproduktet er 100 % uorganisk (sterilt) og derfor ikke er klassificeret som affald, og der findes løsninger, hvor slutproduktet er urent og indeholder organisk stof, herunder også små mængder af miljøfremmede organiske stoffer. Sidstnævnte er klassificeret som affald og kan indeholde smitstoffer, som har overlevet spildevands- og slambehandlingsprocessen. Urene fosforprodukter udvundet fra rejevtvand kan ikke efterfølgende varmebehandles med det formål at sterilisere produktet, da der vil ske en spaltning til newberyit (MgHPO₄:3H₂O) og ammoniak ved temperaturer over ca. 80°C. Et rent fosforprodukt kan kun opnås i forbindelse med valget af en teknologiløsning for fosforudvinding. Gældende for alle produkter, der er udvundet fra rejevtvandet, er et lavt indhold af tungmetaller – et indhold der

ligger væsentligt under indholdet i handelsgødning og under grænseværdierne i Slambekendtgørelsen (se Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Resultater fra Aaby renseanlæg 2011 – tungmetallindhold i slamprøve og struvit sammenlignet med grænseværdier for slam, jf. Slambekendtgørelsen

		Slamprøve*	Struvit_1 15/2	Struvit_2 25/3	Grænseværdi For slam
TS	%	23,7			
N	%af TS/prøve	5,4			
P	%af TS	3,22			
N	%af prøve		5,7**	5,7**	
P	%af prøve		12,7	12,8	
Mg	%af prøve		10,1	9,98	
Cd	mg/kgTS	0,9	0,05	0,06	0,8
Hg	mg/kgTS	0,5	<0,1	<0,1	0,8
Pb	mg/kgTS	23	<0,2	<0,2	120
Ni	mg/kgTS	24,4	0,4	0,5	30
Cr	mg/kgTS	17,1	4,7	4,5	100
Zn	mg/kgTS	580	5	7,4	4000
Cu	mg/kgTS	230	3,7	0,8	1000
Cd	mg/kgP	28	0,39	0,47	100
Hg	mg/kgP	16	0,79	0,78	200
Pb	mg/kgP	714	1,57	1,56	10000
Ni	mg/kgP	758	3,15	3,91	2500

*: samleprøve fra d. 4/1, 11/1, 23/1, 1/3 og 9/3/2011

** : gennemsnit af analyser udført på Åby rens.

Der vil ikke forefindes kulstof i fosforprodukterne udvundet fra rejeftvand, da kulstoffet hovedsageligt følger det afvandede slam.

5.1.1 MAP – Magnesiumammoniumfosfat (struvit)

Struvit kan udfældes kontrolleret eller ukontrolleret på et renseanlæg. Det er specielt renseanlæg, hvor der anvendes en kombination af biologisk fosforjernelse (BIO-P) og anaerob slambehandling, som kan opleve større eller mindre problemer med ukontrolleret struvit udfældning (Figur 5.1).

De ukontrollerede udfældninger er som regel forbundet med større driftsmæssige og økonomiske gener for renseanlægget. Alt afhængigt af hvor udfældningerne forekommer, kan det medføre, at rørledninger og varmevekslere i slambehandlingen lukker til og derfor skal udskiftes jævnlige.



Figur 5.1 Ukontrolleret struvitudfældning i rørledninger på renselanlæg

Hvis udfældningen forløber i selve rådnetanken, kan dette i yderste konsekvens medføre, at renselanlægget bliver nødt til at tømme rådnetanken – hvilket er en meget kostbar proces (Figur 5.2).



Figur 5.2 Ukontrolleret struvitudfældning i en rådnetank

Den vigtigste forudsætning for struvitudfældning i forbindelse med spildevandsrensning er tilstedeværelsen af magnesium, ammonium og fosfat, hvor magnesium vil være den begrænsende faktor. Så længe renselanlægget ikke kombinerer biologisk fosforfjernelse (BIO-P) med anaerob slamudrødning, vil der ikke forefindes et potentiale for struvitudfældning.

Ammonium og fosfat i spildevandet udgør en væsentlig bestanddel af den kvælstof- og fosforfraktion i spildevandet, der ønskes reduceret, før det rensede spildevand ledes til recipienten. Magnesium er naturligt forekommende i vores grundvand/drikkevand og findes derfor også i spildevandet. Magnesium forårsager ingen forurening af recipienten.

Helt overordnet må det konstateres, at der uden en anaerob slambehandling ikke vil være potentiale for udfældning af struvit, da koncentrationerne af ammonium og fosfat i løbet af slambehandlingen ikke bliver høje nok. På renselanlæg med anaerob behandling af det biologiske slam (sekundært slam) vil der derimod i forbindelse med den anaerobe nedbrydning af slammet og metanproduktionen blive frigivet ammonium og fosfat. Koncentrationerne af ammonium og fosfat er som regel høje og ligger typisk omkring 1-2.000 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ og 50-300 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$.

Høje koncentrationer af ammonium og fosfat er imidlertid ikke alene nok til at igangsætte en struvituddfældning. Magnesium mangler. Hvis renseanlægget ikke benytter sig af biologisk fosforfjernelse (BIO-P), vil der almindeligvis kun forefindes ganske små mængder af magnesium i det biologiske slam. Stort set alt magnesium i spildevandet ledes direkte igennem renseanlægget og ender i udløbet.

Hvis renseanlægget derimod har en velfungerende BIO-P proces kørende, vil de bakterier, der er ansvarlige for den biologiske fosforfjernelse (PAO'erne), bruge en del af spildevandets magnesium til at binde fosfor i cellen som polyfosfat. Herved flyttes magnesium fra spildevandet til det biologiske slam, og således er der introduceret en magnesiumkilde til den anaerobe slambehandling, hvorfor udfældning af struvit nu potentielt er muligt.

Når både magnesium, ammonium og fosfat er til stede i de tilstrækkelige koncentrationer, kræves udelukkende et bestemt pH interval i slammet/vandfasen for at få disse tre opløste stoffer til at blive udfældet som struvit. Jo højere pH, desto større sandsynlighed er der for, at de 3 stoffer reagerer og udfældes som struvit.

En ukontrolleret struvituddfældning vil derfor potentielt kunne forekomme et sted i slambehandling, hvor koncentrationen af magnesium, ammonium og fosfat er høj nok (i og efter en rådnetank med PAO'er i slammet), og hvor pH værdien stiger, f.eks. ved stripping af CO₂ (ændrede trykforhold i ledningerne) eller ændrede procesforhold (iltning af det anaerobe slam).

Ved udfældningen kan det udnyttes, at struvit kan agglomerere (de enkelte krystaller kan samles i granuler) i en fluidiseringsproces, hvorved der bliver produceret runde partikler på 1- 4 mm størrelse, der let lader sig afvande, tørre og pakke – direkte til gødningsformål.

Udfældningen af struvit fra rejktvand kan alternativt ske i en omrørt reaktor (CSTR), hvor partiklerne holdes suspenderet af et system af beluftning og/ eller mekanisk omrøring. Partiklerne skal i dette tilfælde sorteres/separeres i et system af riste og cykloner.

Renset rejktvand ledes tilbage til renseanlægget, mens struvit udtages på forskellig vis afhængigt af proces-layout. Da processen kan udføres direkte på spildevandsslam - foruden på rejktvand - kræves der i dette tilfælde en separation i hydrocykloner, evt. efterfulgt af skylning, dræning og tørring. Struvit udtaget efter udfældning i slam har typisk en mere uens kornstørrelse og et højere indhold af slampartikler.

Frigivelsen af fosfor og kvælstof fra struvit er forholdsvis ensartet, og varigheden af frigivelsen afhænger af struvit granulernes størrelse og form. Jo større granuler, desto længere frigivelsesperiode. Typisk varierer kvælstof- og fosforfrigivelsen på 6-9 måneder; dog vil dette være meget afhængigt af, om der er tale om store eller små struvitgranuler.

Hvem anvender teknologien

En lang række firmaer har anvendt og markedsfører processer til struvituddfældning. I Tabel 5.2 er listet de mest kendte. Mange universiteter og forskningsinstitutioner har derudover publiceret resultater med forskellige laboratorieanlæg. En mere grundig beskrivelse af de enkelte processer findes i Bilag 3:

Der er stor forskel på, hvorledes processerne og produkterne markedsføres, men det er bemærkelsesværdigt, at flere af processerne har eksisteret i mange år, uden at de er blevet mere udbredt.

Tabel 5.2 Oversigt over de meste kendte processer til struvitfældning

Procesnavn	Firma/referencer	Type/skala	Produkt
NuReSys®	NuReSys/2 fuldskala-anlæg	CSTR/ fuldskala	Struvit gødning til landbruget
Anphos®	Hydroitalia-Colsen	CSTR/ fuldskala-pilotforsøg	Struvit gødning til landbruget
Ostara's Pearl® proces	Ostara/> 10 fuldskala-anlæg	Fluidbed uden luftindblanding/ fuldskala	"Crystal Green®" gødning
Phosnix®	Unitika Ltd./ ca. 4 fuldskalanlæg	Fluidbed med lufttilførsel/ fuldskala	Struvit gødning til landbruget og private
Phospaq®	Paques/ ca. 3 fuldskala-anlæg	CSTR med aktiv slam og cyklon /fuldskala	Struvit gødning til landbruget
Airprex®	P.C.S. GmbH/ 2 fuldskalaanlæg	CSTR i udrådnet slam med cyklon/fuldskala	Struvit gødning til landbruget
Multiform Harvest	Multiform Harvest/ flere pilotanlæg	Fluidbed i konisk reaktor/ pilotskala	Struvit eller blandet med andet til specialgødning til gartnerier
"Struvit-udfælder"	Norconsult/ 2 pilotanlæg	Fluidbed med lufttilførsel/ pilotskala	Struvit gødning til landbruget/ gartnerier

Eksempelvis er Ostara's Pearl®-processen installeret og kører i fuldskala 7 steder i USA (bl.a. Portland, Oregon, Suffolk, Virginia, York og Pennsylvania) samt i London i England. Flere anlæg er p.t. under opførelse. Samme "spildevandsforsyning" har, pga. gode erfaringer med den første PEARL® installation, valgt at investere i flere PEARL® enheder til andre renseanlæg.

Input og output

Input i processen er rejektivand fra slamafvanding eller udrådnet slam (før afvanding). Der tilsættes magnesiumsalt ($MgCl_2$, $Mg(OH)_2$ eller havvand) og foretages en pH-justering med natriumhydroxid. Denne pH-justering kan suppleres med en stripping af CO_2 , der findes i overmættet koncentration i udrådnet slam og i rejektivand.

Ud over rensat rejektivand er outputtet struvit (også kaldet MAP - magnesiumammoniumfosfat), som er et farveløst eller gråbrunt mineral med den kemiske sammensætning $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$. Produktets massefylde er på 1,7 kg/l, mens dens hårdhed er på 2, hvilket er hårdt. Struvit krystalliserer rombist hemimorft, dvs. at krystallen mangler et af de tre symmetriplaner, som findes i en orthorombisk krystal. Resultatet er, at struvit er pyro- og piezoelektrisk.

Næringsstoffer - herunder fosfor

Struvit indeholder fosfor, kvælstof og magnesium i molforholdet 1:1:1 samt ca. 50 % krystalvand ($NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$). Struvitudfældningen udføres normalt således, at der udvindes næsten 100 % rent struvit. Gødningsmæssigt indeholder struvit 10 % magnesium, 5,5 % ammonium-kvælstof og 12,5 % fosfor.

Set ud fra rejektivandet sker der en udvinding af næsten alt fosfor og ca. 10 % af rejektivandets indhold af kvælstof. Rejektivandets indhold af fosfor og kvælstof udgør 15-35 % af renseanlæggets indkomne mængder og udgør kun en mindre del af næringsstofferne - forudsat at renseanlægget ikke ændrer processerne. Struvitudfældning kan dog optimeres sammen med renseanlæggets processer, således at en større del omlægges til biologisk P-fjernelse, og derved kan op mod 50-60 % af det indkommende fosfor udvindes som struvit.

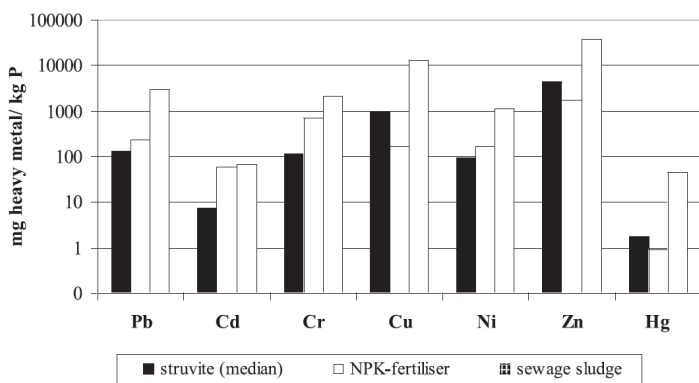
Struvit (MAP- magnesiumammoniumfosfat) er et velegnet gødningsprodukt til afgrøder med behov for langsom frigivelse af fosfor og kvælstof (Struvit må i gødningssammenhæng ikke forveksles med monoammoniumfosfat, de to ikke har samme gødningsmæssige værdi). Monoammoniumfosfat er mere letopløseligt end struvit, og derfor er der større mulighed for hurtigt optag og fare for tab af P til afstrømning. Desuden er der intet magnesium i dette produkt. Det er vigtigt at skelne, fordi samme forkortelse bruges om begge produkter – men de 2 "MAP" er kemisk forskellige og har forskellige egenskaber.

Urenheder – herunder tungmetaller

Tungmetaller i slam udfældes ikke sammen med struvit i processen. Dels er det meste af slammets tungmetaller bundet til slampartiklerne – og følger det afvandede slam – dels er de proceskemiske forhold ikke egnede til udfældning af opløste tungmetaller. Analyser på struvit viser da også 10-50 gange mindre tungmetalindhold pr. fosfor sammenlignet med afvandet slam. I Tabel 5.3 ses indholdet af fosforbaserede tungmetaller i struvit fra Åby renseanlæg, mens der på Figur 5.3 ses en illustration af det fosforbaserede tungmetalindhold i struvit, sammenlignet med handelsgødning og spildevandsslam.

Tabel 5.3 Indhold af tungmetaller i struvit fra Åby renseanlæg 2011 (forsøg med kontrolleret struvitfældning udført af Aarhus Vand i samarbejde med Norconsult)

Struvit		
Bly	mg/kg P	<1,5
Cadmium	mg/kg P	0,4
Krom	mg/kg P	37
Kobber	mg/kg P	29
Nikkel	mg/kg P	3,4
Zink	mg/kg P	39
Kviksølv	mg/kg P	<0,8



Figur 5.3 Indholdet af udvalgte tungmetaller i struvit, sammenlignet med tysk slam fra kommunale renseanlæg og almindelig NPK gødning (Montag et al., 2012).

Som det fremgår af Figur 5.3 indeholder struvit generelt mindre fosforspecifikke tungmetaller end både spildevandsslam og gødningsprodukter. Specielt cadmium og krom i struvit ligger langt under indholdet af cadmium og krom i hhv. NPK-gødning og spildevandsslam. Kobber og zink ligger dog en smule over det niveau, man finder i handelsgødning. Værdier for Åby renseanlæg viser lavere værdier af alle tungmetaller sammenlignet med kunstgødning og spildevandsslam (se Tabel 5.1).

Energi

Energiforbruget ved struvitudfældning begrænser sig til pumpning af rejktvand gennem reaktoren samt evt. omrøring eller tilførsel af luft til stripping af CO₂. Der kan derudover være et mindre luftforbrug til tørring af slutproduktet – afhængigt af aftagerens ønsker.

Energiforbrug til pumpning af 200 m³ rejktvand/d ved en løftehøjde på f.eks. 10 meter vil ligge på ca. 5000 kWh/år. Udbyttet af fosfor vil typisk være 10.000 kg P/år med et energiforbrug på 0,5 kWh/kg P.

Der er ikke målt energiforbrug på et fuldskala anlæg, så angivelserne er skønnede/beregnete værdier. Det angivne omfatter alle forventede energi-input til pumpning af rejktvand gennem en udfældning. Selve udfældereren bruger ikke anden energi - udover meget små mængder til kemikaliedo-
sering, ventiler og transportører.

5.1.2 HAP – Hydroxylapatit

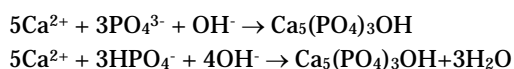
I naturen forekommer forbindelserne HAP bl.a. i den råfosfat, der graves op i verdens fosforminer. HAP er også en vigtig bestanddel af vore knogler, hvilket forklarer nødvendigheden af at indtage rigeligt med calcium (og fosfor) i de år, hvor vi vokser.

I spildevand findes mange forskellige amorfe calciumfosfater såsom brushit (CaHPO₄·2H₂O), octa calciumfosfat (Ca₄H(PO₄)₃·2,5H₂O og calciumfosfat Ca₃(PO₄)₂. Calciumfosfater kan krystalliseres ved høje fosfatkoncentrationer, som kan opstå i anaerobe procestanke på et renseanlæg, herunder bl.a. BIO-P procestanke og rådnetanke.

De fleste af krystallerne er ikke stabile og vil opløses igen. Dette er dog ikke tilfældet for HAP, der er mere termodynamisk stabilt og dermed tungtopløseligt. HAP bliver den dominerende calciumfosfat ved stigende pH; ved pH tæt på 9 vil HAP være det altdominerende calciumfosfat. Et stigende pH vil således omdanne de mindre stabile calciumfosfatkrystaller til tungtopløseligt HAP.

Et stigende pH vil typisk forekomme i forbindelse med en anaerob slambehandling i en rådnetank, hvorfor det også er her på renseanlægget, at HAP typisk dannes.

Den mest almindelig HAP dannelse, der forekommer i væskefasen på udrådnet slam under alkali-
ske forhold, kan beskrives ved følgende reaktionsligninger (Zhenhua, 2010):



Fosfat, der bindes som HAP, vil forblive bundet og forblive i slammet under almindelige driftsfor-
hold på et renseanlæg. I modsætning til MAP udfældes HAP ikke på overflader, og HAP er derfor
ikke som MAP årsag til driftsproblemer i form af tillukning af rør, varmevekslere og lignende. HAP
forbliver i slammet, hvor det tages ud sammen med overskudsslammet.

Udfældningen som HAP foregår meget langsomt, hvis pH falder til under 9,0 (Vanotti & Szogi,
2009). Dette skyldes primært, at formationen af calciumcarbonat (og dermed forbruget af hydroxy-
lionen, OH⁻) er høj, når pH falder til under 9,5. Dette medfører et fald i pH, hvorfor der skal kom-
penseres med NaOH for at opretholde pH > 9,5. Foretages intet, ligger fjernelsesgraden af fosfor
som HAP på kun 20 % (Zhenhua, 2010).

Der findes ingen praktisk viden om, hvorvidt HAP opløses ved termofil slamhydrolyse (> 150 °C ; >
5 bar) og derved tilbageføres til renseanlægget i den efterfølgende afvandingsproces.

Der findes i udlandet en række mere eller mindre forskellige processer, som enten er patenterede eller benytter registrerede varemærker. Det er kun PhoStrip®, der er undersøgt nærmere (se også Bilag 4). Denne fosforsepareringsteknologi udnytter mikrobielle samfunds evne til at optage fosfor under aerobe forhold (i biomasse), som efterfølgende frigives under anaerobe forhold. Processen integreres i et konventionelt spildevandsbehandlingsanlæg med aktiveret slam trin: En delmængde af slam (rigt på fosfor) fra den sekundære sedimentationstank (efter aktivt slam anlæg) føres til den anaerobe tank (anaerobic completely stirred tank reactor, CSTR) for fosforfrigørelse (anaerob stripping). Denne frigørelse af fosfor til væskefasen kan evt. forøges ved tilsætning af eddikesyre. Efter separation (bundfældning) føres væskefasen til reaktionstanken, hvor der tilsættes kalk (Ca(OH)_2), og det opløste fosfor bundfældes som calciumfosfat. Slamfasen (nu fattig på fosfor) føres tilbage til aktiv slam anlægget. PhoStrip har været anvendt og anvendes muligvis stadig på mindst fire fuldskaalaanlæg i USA.

Input og output

Ind i processen kommer enten rejektivand eller sekundær slam. Hvis det er nødvendigt, tilsættes lidt eddikesyre for at øge opløsningen af fosfor i væskefasen. For at øge pH tilsættes der kalk.

Ud af processen kommer HAP. HAP (hydroxylapatit, hydroxyapatit, calciumfosfat eller calciumhydroxid fosfat) er et naturligt forekommende mineral bestående af calcium og fosfat med den kemiske sammensætning $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. HAP krystalliserer hexagonalt og er slutproduktet i den komplekse apatit gruppe og er i sin rene form hvidt. Ofte ses mineralet dog som glasagtigt med et grønligt skær, idet HAP er blandet med flourapatit.

5.2 Termisk behandling af slam og aske

I dette afsnit beskrives forskellige termiske behandlingsteknologier. Fælles for disse teknologier er, at

- størstedelen af slammets kulstof omsættes til energi
- vandet fordampes, så produktet bliver lagerstabil, og vægten minimeres
- størstedelen af slammets nitrogen forsvinder på gasform
- biproduktet er en aske indeholdende mere eller mindre svært nedbrydeligt kulstof
- behandlingen ændrer sammensætningen af fosforforbindelser, hvilket kan have betydning for planteoptageligheden af fosforet.
- under den termiske behandling hygiejniseres slammet
- alle eller de fleste miljøfremmede stoffer nedbrydes, mens nye kan dannes.

5.2.1 Pyrolyse og termisk forgasning

Pyrolyse og termisk forgasning er to metoder til at omdanne forskellige affaldsfraktioner til en brændbar gas, som kan bruges til produktion af el og varme. Processerne foregår ved lavere temperaturer end forbrænding, hvilket øger planteoptageligheden af fosforforbindelserne i asken i forhold til aske fra fuldt forbrændt slam.

Processen kan opdeles i tre trin: tørring, pyrolyse og forgasning. Tørringen forløber ved, at slammet opvarmes. Opvarmningen sker ved hjælp af røggas fra den videre proces.

Når temperaturen kommer op omkring 200 grader, starter pyrolysen, såfremt slammet holdes i et iltfrit miljø. De flygtige bestanddele (brint, metan, kulilte og tjærestoffer) afdrives og bliver til pyrolysegas. Pyrolysen er således en destillation, som adskiller slammet i en tjæreholdig pyrolysegas og en koks. Koksen består hovedsageligt af kul, lidt tjære, aske samt mineralerne fra slammet.

Ved 600 grader begynder den egentlige forgasning. Det sker ved, at kulstoffet og tjæren reagerer med forgasningsmidlet, normalt vanddamp eller ilt. Herved produceres der en forgasningsgas, som består af en blanding af kulilte (CO), brint (H_2) og lidt metan (CH_4).

Hvis temperaturen hæves til over 1000 grader, er det muligt at opnå en fuldstændig omsætning af koks og tjære til kul og brint.

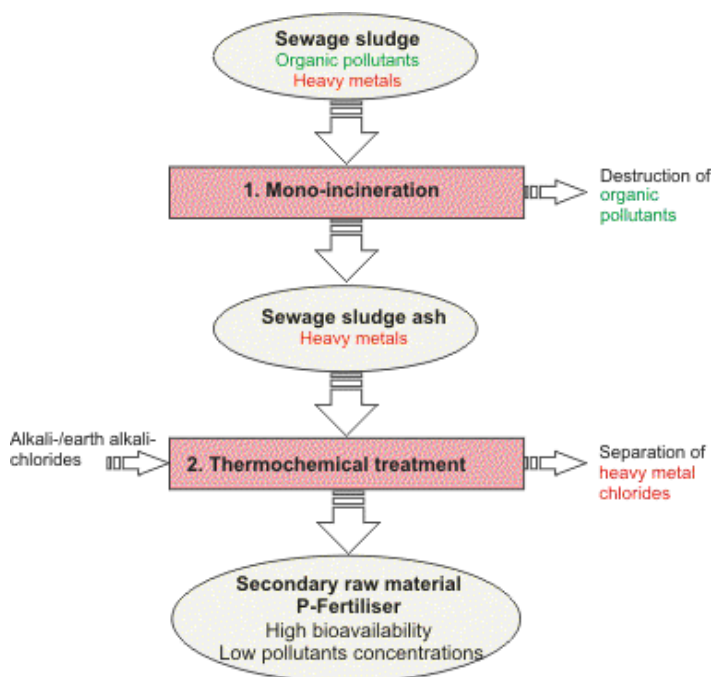
Gasserne fra pyrolyse og forgasning kan efterfølgende brændes af i en gasmotor eller i en kedel, og derved producere el og varme. Gennem en kemisk proces kan forgasningsgassen også omdannes til metanol eller syntetisk dieselolie.

De faste stoffer, der er tilbage, kan være industrielt eller jordbrugsmæssigt interessante.

5.2.2 Termisk-kemisk behandling af aske

Termisk-kemisk behandling af asken er en proces, der foregår i to trin. Forudsætningen for behandling af asken er, at slammet i det første procestrin forbrændes. Asken fra denne termiske behandling indeholder tungmetaller og fosfor, hvor fosforen primært er bundet til jern eller aluminium.

I det andet procestrin gennemføres en såkaldt termokemisk behandling af slamasken. Ved tilsætning af kemiske tilsætningsstoffer (CaCl_2 eller MgCl_2) til asken og efterfølgende termisk behandling af den ved høj temperatur, kan det opnås, at tungmetallerne reagerer med tilsætningsstofferne og forflygtiges som tungmetalklorider, samt at fosforen bindes til et andet kemisk stof, f.eks. calcium – herved vil fosforen være mere tilgængelig for planterne i form af citratopløselig fosfor.

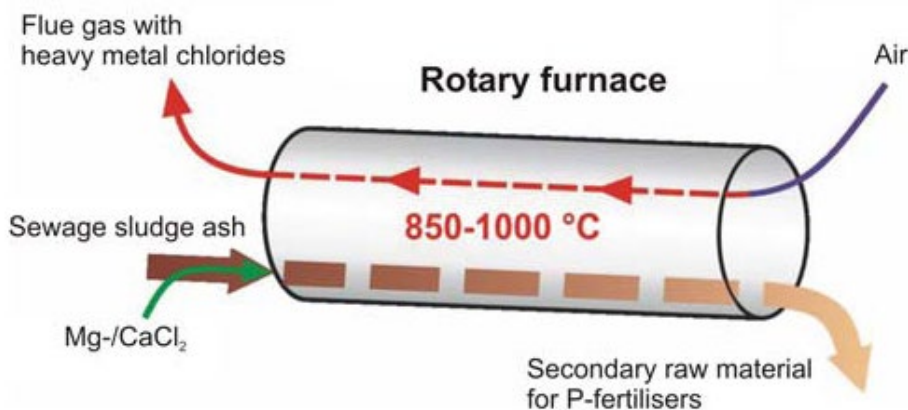


Figur 5.4 Flowdiagram over monoforbrænding af slam, efterfulgt af en termisk-kemisk behandling af asken (Susan, 2012).

Hvem anvender teknologien

Der kendes kun til én virksomhed, som anvender teknikken til genanvendelse af fosfor fra aske. Processen kaldes Ash Dec, og teknologien ejers af Outotec Ouj (Susan, 2012).

Slamasken (1000 kg/h) tilsættes additiverne CaCl_2 eller MgCl_2 (50 kg/h) og gødningssalt (220 kg/h), hvorefter blandingen pelleteres. De pelleterede piller behandles herefter termisk ved 850 – 1000 °C i en rotéovn. Under behandlingen forflygtiges tungmetallerne og forlader ovnen som tungmetalklorider på gasform, som illustreret nedenfor.



Figur 5.5 Illustration af grundprincippet i Ash Dec processen

Efter afkøling blandes råmateriale med næringssaltene NH_4NO_3 , K_2SO_4 eller KCl (400 kg/h), og den færdige NPK gødning pelleteres (1460 kg/h). Røggassen kondenseres for fjernelse af urenheder og tungmetaller (35 kg/h).

Udviklingsarbejdet omkring Ash Dec processen er foregået i et "specific targeted research project" under EU's 6. rammeprogram og er beskrevet i flere detaljer i projektets slutrapport¹.

Ash Dec processen har i to år fungeret i pilotskala med kontinuerlig behandling af 300 kg aske i timen ifølge den nuværende ejer af teknologien, Outotec Oyj. Hvorvidt opskalering til industriel skala vil finde sted, er under beslutning. Outotec oplyser, at de arbejder med to potentielle kunder til et industriskala anlæg.

Input og output

Ind i processen kommer slamaske, additiver og energi. Ud af processen kommer et gødningsprodukt (der ikke indeholder tungmetaller), et tungmetaltholdigt restprodukt og røggas.

Næringsstoffer – herunder fosfor

Fosforudbyttet er højt i processen. Ash Dec oplyser, at 98 % af askens fosfor ender i gødningsproduktet, mens kun 2% fordampes og tilbageholdes i luftrensningssystemet. Samtidig oplyser virksomheden bag Ash Dec processen, at 25 % af fosforen i deres gødning er vandopløselig, mens 70 % af fosforen er citratopløselig. Dog består PhosKraft®, som er Ash Dec's gødningsprodukt, af 2/3 gødningsaske og 1/3 tilsat gødnings salt. Tilsætning af saltgødning vil således have forbedret gødningens indhold af vandopløselig fosfor.

Urenheder – herunder tungmetaller

Efter den termisk-kemiske behandling reagerer op til 99 % af tungmetallerne (typisk cadmium, bly, zink, kobber og kviksølv) med tilsætningsstofferne og fordampes.

Energi

Processen er meget energikrævende. Ud over opvarmning til 850-1000°C i 20 minutter, kræves der energi til opblanding og pelletering før og efter den termiske behandling.

5.2.3 Metallurgisk behandling af slam og/eller aske

En metallurgisk behandling anvendes normalt til genanvendelse af metaller i metalholdige materialer. Når den anvendes på slam eller aske fra forbrænding eller forgasning af slam, er det for at rense slammet for metallerne (f.eks. jern og aluminium). Herved fås et mere plantetilgængeligt produkt i form af citratopløselig fosfor, da fosforen er bundet til calcium frem for til jern- og aluminiumfosfat.

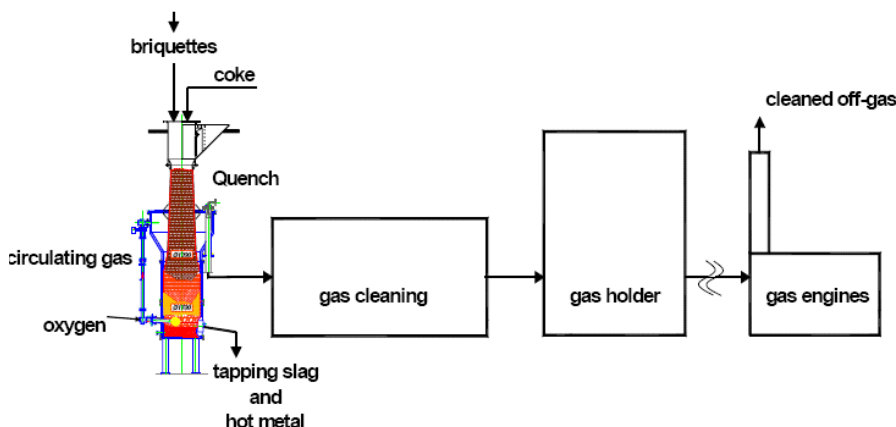
Ved en metallurgisk behandling tilsættes det metalholdige materiale et reduktionsmiddel, som kan reducere metaloxiderne. Reduktionen kan enten foregå elektrisk eller kemisk. Ved en elektrisk reduktion sendes en kraftig strøm gennem den smeltede metaloxid eller en smeltet metaloxidopløsning. Ved en kemisk reduktion anvendes en reducerende kemisk forbindelse, som kan ændre metallets oxidationsgrad, f.eks. kul eller koks, som er et kulstof. Når kul eller koks bliver blandet med metaloxider og opvarmet, vil ilten flytte sig fra jernet over på kulstoffet. Metallet bliver reduceret, og samtidig dannes der CO₂ og kulilte.

Hvem anvender teknologien

Teknologien anvendes primært af metalindustrien til udvinding af metaller fra malm. Der kendes kun til én virksomhed, som anvender teknikken til genanvendelse af fosfor fra slam og aske. Denne virksomhed hedder Ingitec, og de kalder deres proces for Mephrec (Ingitec, 2012).

Mephrec processen er en speciel metalbehandlingsteknik, hvor slam først laves til briketter og efterfølgende forgasses og smeltes i en Mephrec reaktor. Reaktoren udgøres af en oxygen betjent skaktovn, der anvender koks som energikilde. Ved 1450 °C tappes en flydende masse ud af ovnen. Massen består af smeltet slagge og en smeltet metallisk fase. Den flydende masse granuleres i et vandbad, hvorefter den granulerede slagge let kan adskilles fra metalklumperne. Metalklumperne repræsenterer en form for råjern/støbejern, mens slaggen blandt andet består af calciumfosfat.

Processen er testet i et forsøgslaboratorium i Saxony i Tyskland, som har en kapacitet på 300 kg briketter pr. time. I nogle forsøg er anvendt spildevandsslam fra Nürnberg, mens der i andre forsøg er anvendt en kombination af spildevandsslam fra Nürnberg og slamaske fra monoforbrænding af spildevandsslam i München. Der tilsættes desuden 15-20 % bindemiddel i form af cement til slammet/asken for at lave briketter.



Figur 5.6 Illustration af Mephrec processen

Input og output

Input i smelten er aske eller en kombination af aske og slam - enkelte steder forbrænder eller forgasser de selv slammet inden smeltningen. Desuden tilsættes et reduktionsmiddel og ilt. Output er en slagge, der indeholder calciumfosfat, samt metalklumper, som repræsenterer en form for råjern/støbejern.

Næringsstoffer - herunder fosfor

Råmaterialeets indhold af fosfor ender i slaggen, hvor den forefindes som calciumfosfat. Slaggen vil ud over calciumfosfat også indeholde forskellige oxider (fx CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, FeO og Fe₂O₃) og dermed kun have et fosforindhold på omkring 1-3 % (Tabel 5.4). Calciumfosfat er ikke vandopløselig, men analyser har vist, at den er 93-94% citratopløselig (Mephrec, 2009).

Tabel 5.4 Indholdet af næringsstoffer i fosforslagge fra Mephrec processen

	CaO [%]	MgO [%]	SiO₂ [%]	Al₂O₃ [%]	Fe- oxider [%]	P₂O₅ [%]
100 % slam fra Nürnberg	49,0	3,5	21,0	17,5	3,2	4,6
60 % slam fra Nürnberg og 40 % aske fra München	32,5	3,8	27,6	19,9	3,3	10,5

Urenheder – herunder tungmetaller

Slammets indhold af tungmetaller vil være at finde i fosforslaggen (Tabel 5.5) foruden letflygtige tungmetaller som kviksølv, der gasser af under den termiske behandling.

Tabel 5.5 Indholdet af urenheder i fosforslaggen fra Mephrec processen

	Tungmetaller i [mg/kg]							
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	U
100% slam fra Nürnberg	<5,0	<0,4	68	123	13	<0,1	11	<5
60% slam fra Nürnberg og 40% aske fra München	<5,0	<0,5	116	133	6	<0,2	101	<5

Energi

Processen er meget energikrævende, da asken skal opvarmes, til den smelter. Ved at forbrænde eller forgasse slammet samme sted, som asken smeltes, kan energien fra forbrænding eller forgasning af det tørrede slam overføres til syntesegassen, som eksempelvis kan anvendes til kraftproduktion i en gasmotorer.

5.3 Genanvendelse af fosfor fra slam

5.3.1 Termisk hydrolyse af slam kombineret med kemisk ekstraktion

Det er almen kendt, at slam kan behandles ved en termisk hydrolyse. Termisk hydrolyse er en proces, hvor slam bliver behandlet ved høj temperatur under tryk. Formålet er at omdanne det svært nedbrydelige biologiske materiale til let omsættelige forbindelser, så man kan producere mere biogas fra den samme mængde slam.

Ved en termisk hydrolyse sker der ingen direkte genanvendelse af slammets fosfor, men ved at kombinere termisk hydrolyse med andre processer kan der opnås en genanvendelse af fosfor i slammet.

Hvem anvender teknologien

Der kendes kun til én virksomhed, der anvender teknologien. Virksomheden hedder Kemira, og de kalder deres proces for KREPRO-processen (Figur 5.7). Processen er udviklet af Kemira selv tilbage i slutningen af 80'erne. Da teknologien blev udviklet, var der ikke et marked for den, hvorfor Kemira ikke har arbejdet med processen de seneste år.

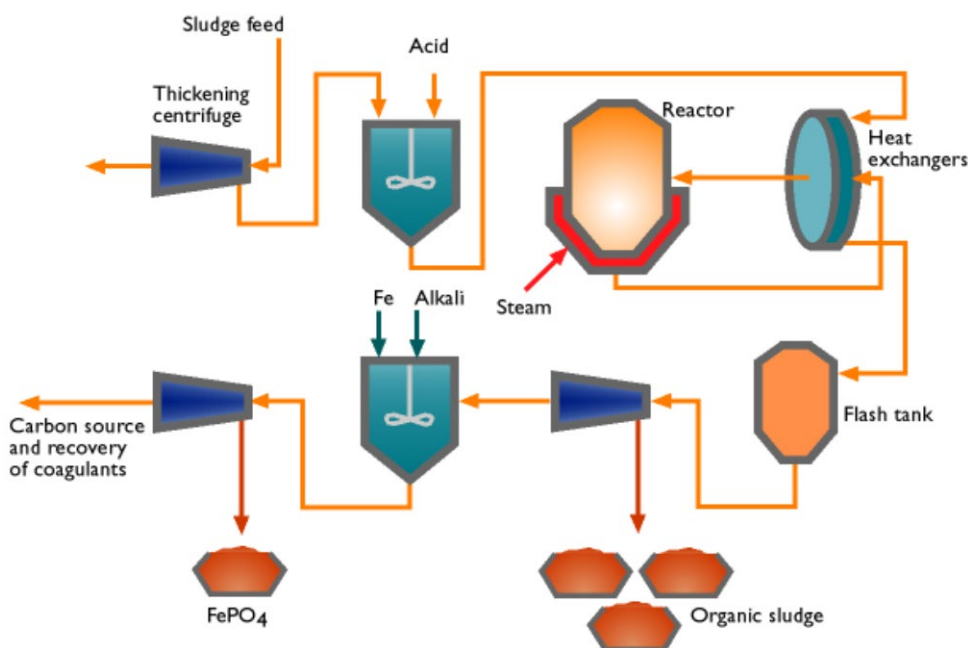
Processen kan håndtere rådnet eller urådnet slam. Hvis TS-indholdet i indgående slam er lavt, vil det første step være en fortykkelse af slammet til cirka 6 % TS.

I næste step tilsættes svovlsyre for at opløse fosfor og nogle tungmetaller. Derefter forøges temperaturen til cirka 100-110°C i en varmeveksler. Efter varmeveksleren overføres slammet til en reaktor, som ved hjælp af damp opvarmer slammet til cirka 140 °C.

I reaktoren opløses de fleste af de uorganiske salte, og det organiske materiale hydrolyseres. Dog er det ikke alt organisk materiale, der bliver hydrolyseret. F.eks. er cellulosefibre meget intakte. Opholdstiden er 30-60 minutter.

Efter reaktoren køles slammet ned i den varmeveksler, der opvarmer den indkommende slam til reaktoren. Derefter udlignes trykket i en tank. I denne tank er der en blanding af opløst fosfor, opløst COD, organiske partikler, få uorganiske partikler og opløste samt uopløste tungmetaller.

I næste step adskilles de organiske partikler (organisk fiberfraktion) i en centrifuge. TS indholdet bliver cirka 45 %, og energiindholdet er lige så højt som i træflis. Denne fraktion kan anvendes som biobrændsel. I denne fraktion findes også det meste af det indkommende kviksølv, kobber og organiske indikatorstoffer. Man kan, hvis det ønskes, lede de andre tungmetaller over til denne faste fraktion ved hjælp af en fældningsproces. Ellers kan disse adskilles i en separat enhed, som ikke er med i nedenstående flowdiagram.



Figur 5.7 Flowdiagram af KREPRO processen

Rejektet fra den organiske centrifuge indeholder opløst fosfor og let omsætteligt organisk materiale (COD). Fosforen adskilles nu gennem en udfældning af jernfosfat ved lav pH. På denne måde sikres det, at meget lidt af de resterende tungmetaller havner i fosforfraktionen.

Rejektet fra fosfatcentrifugen indeholder nu opløst COD samt eventuelt udfældningskemikalier (det kommer an på valget af teknik). Disse kan returneres til rensningsanlægget for at udfælde fosfor fra vandet og for at bidrage som kulstofkilde i nitrogenrensningssprocessen. Der findes også en mulighed for at udrådne kulstofkilden.

Et anlæg på 16000 ton TS koster ca. 150-250 MSEK. Driftsomkostningerne er ca. 1500-2000 SEK/ton TS. Indtægt og besparelse på 500-1000 SEK/ton TS.

Input og output

Input kan være både råslam (primærslam, sekundærslam) eller rådnet slam med eller uden udfældningskemikalier og typisk med et lavt tørstofindhold. Ud over slammet anvendes varme (damp), elektricitet, svovlsyre, polymer, magnesiumoxid, natriumhydroxid, ferri-salt eller hydrogenperoxid.

Ud af processen kommer der jernfosfat, en organisk fiberfraktion (kan anvendes som biobrændsel) og let omsætteligt organisk materiale, der kan anvendes som kulstofkilde eller i biogas.

Hvis ikke udsugningsluften renses, opstår der lugtgener på anlægget. Rensning er en del af designet. Rejektvandet indeholder en del mere NH₄ end konventionelt rejektvand. Output er også aske fra forbrænding af den organiske fraktion. Denne er dog cirka ¼-1/3 af den mængde, som dannes ved forbrænding af konventionelt slam.

Næringsstoffer - herunder fosfor og kulstof

Omkring 75-80 % af slammets fosfor genanvendes i jernfosfatet. De resterende 20-25 % går tabt i fiberet. Det er påvist, at fosforen i jernfosfatet er tilgængelig for rajgræs, og at den derfor bør kunne anvendes som slow release gødning af blandt andet græsplæner.

Kulstoffet ender i det organiske fiberet, der anvendes som biobrændsel – efter forbrænding af biobrændslet vil kulstoffet gå tabt.

Urenheder – herunder miljøfremmede stoffer, hygiejniser og tungmetaller

Slutproduktet er hygiejniseret (dvs. uden smitstoffer), og redueringen af de organiske stoffer er på 94-99 % sammenlignet med konventionelt slam. Desuden er slutproduktets indhold af tungmetaller meget lavt. Medicinrester og hormoner er ikke undersøgt, men burde ligge på samme lave niveau som øvrige organiske stoffer (se Tabel 5.6 og Tabel 5.7).

Tabel 5.6 Indholdet af miljøfremmede stoffer i jernfosfat fra KREPRO processen

		Råslam	Jernfosfat
PCB	mg/kg TS	0,15	<0,01
PAH	mg/kg TS	1,5	<0,3
Toluen	mg/kg TS	30	<1
Nonylfenol	mg/kg TS	70	0,31
Dioxin	mg/kg TS	5000 pb	462 pb
PBDB	mg/kg TS	0,5	0,036

Tabel 5.7 Indholdet af tungmetaller i jernfosfat fra KREPRO processen

		Råslam	Jernfosfat	Handelsgødning
Cadmium	mg/kg P	30-100	<5	37
Kviksølv	mg/kg P	30-100	<0,5	0,5
Bly	mg/kg P	1980	100	100
Krom	mg/kg P	825	170	784
Nikkel	mg/kg P	825	125	130
Kobber	mg/kg P	21450	50	135
Zink	mg/kg P	19800	850	1200

Energi

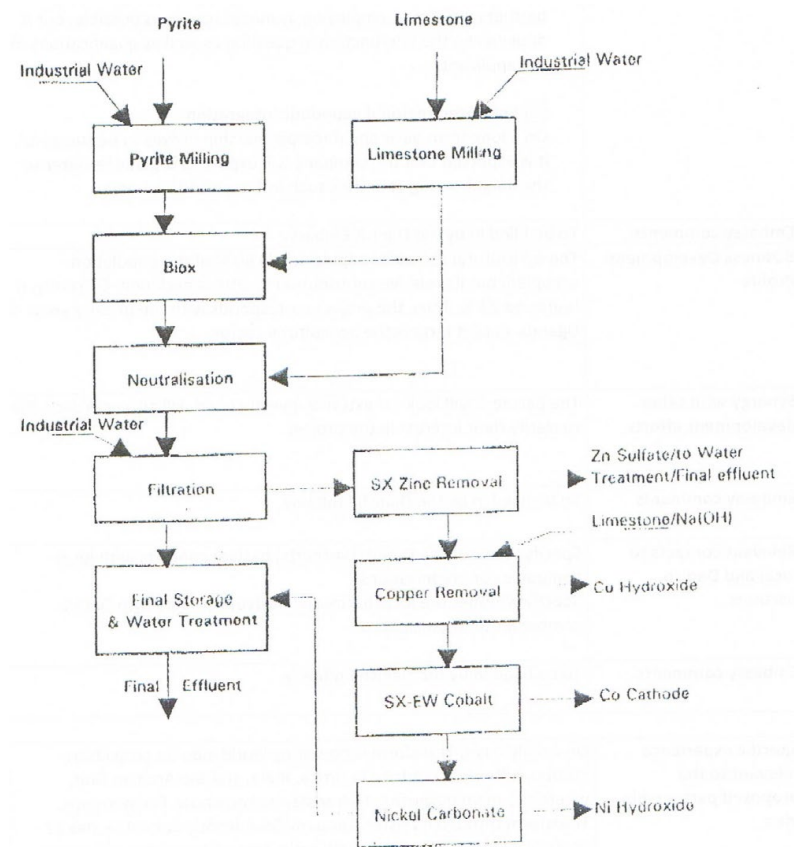
Den energi, der bliver benyttet i processen, svarer til 550 kWh/ton TS som varme og 260 kWh/ton TS som elektricitet. Den energi, der kommer ud af processen, svarer til 1000 kWh/ton TS som varme og 500 kWh/ton TS som elektricitet. Størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst

er 450 kWh/ton TS som varme og 240 kWh/ton TS som elektricitet. Den overskudsenergi, der dannes i forbrændingsanlægget, kan distribueres ud på el- og fjernvarmenettet.

5.3.2 Biologisk fældning af tungmetaller i slam

Inden for mineindustrien er der i de sidste 20-30 år udviklet metoder til biologisk fældning af metaller som erstatning/afløsning for smeltning. Udviklingen er for en stor del sket i det tidligere franske statslige mineselskab BRGM, Frankrig (Ollivier et al., 2007). Metoden er i fuldskala anvendelse i Chile, Kina, Uganda, Sydafrika, USA m.fl. lande. Den bruges bl.a. til udtræk af restmetaller fra mineslam (tailings). Metoden er billigere og mindre energikrævende end smeltning og dermed også mere miljøvenlig. Den har yderligere den fordel, at metallerne kan udfældes med større renhed end ved smeltning, og udfældning kan ske ved lave koncentrationsforekomster. Biologisk fældning kan derfor også være en mulighed i rensning og udtræk af tungmetaller fra spildevandsslam og aske.

Metallerne i malm og mineslam er bundet til svovl i form af sulfider og pyrit mm. For at frigøre metallerne og gøre dem opløselige tilsættes oxiderende mikroorganismer (thiobacilli, leptospirillum m.fl.). Disse mikroorganismer trives i et meget surt miljø, pH 1-2. Materialet neutraliseres og filtreres, hvorefter metallerne trinvis udfældes kemisk og ekstraheres ved elektrolyse. Fosfor kan ligeledes udfældes.



Figur 5.8 Flowdiagram for biologisk fældning af tungmetaller

Hvem anvender teknologien

Teknologien anvendes i stigende omfang i mineindustrien til udvinding af metaller, der forekommer i lave koncentrationer. Teknologien må forventes at kunne udnyttes til udvinding af tungmetaller fra slam, aske og jord indeholdende tungmetaller, da processen er velegnet til udvinding af metaller fra materialer som disse med lav metalkoncentration.

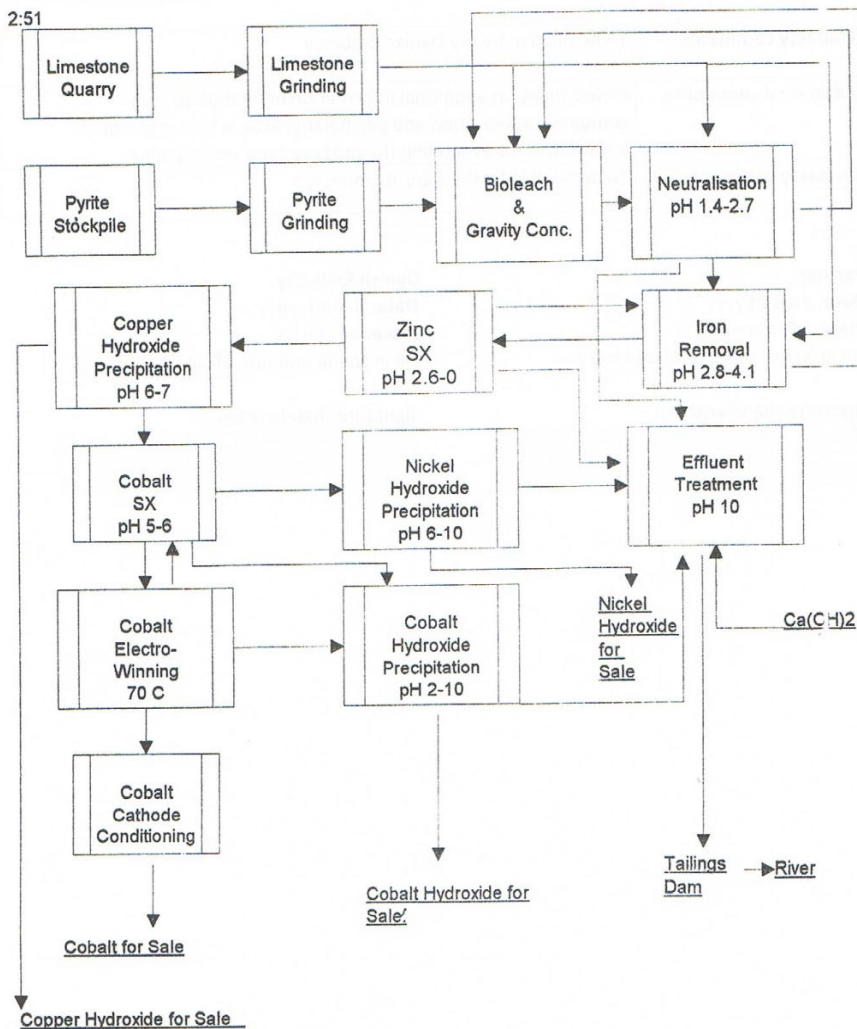
Processen starter med finmaling af slam (pyrit) og kalk. Det gælder om at få en stor overflade og sikre en frisk overflade, der blotlægger metallerne. Dette fremmer reaktionen. Herefter iblandes hydrocyclon, og pulpen lagres i fortykker. Den dekanterede væske genanvendes til opslæmning.

Bio-oxidering sker ved tilsætning af biomasse indeholdende den kultur af mikroorganismer, der opløser metallerne og de nødvendige næringsstoffer. For at sikre en eksponential vækst af mikroorganismene forløber processen i en serie af beholdere, som tilsættes den nødvendige luft for ilttilførsel og køling.

Forudsætninger er:

- Temperatur: 38-42°C
- Opholdstid i serien af beholdere: 120 timer
- Tørstofindhold: 20 %
- Lufttilførsel: 0,1-0,4 m³/min/m³
- Iltningsandel: 85-95 %

Efter oxidering neutraliseres med kalk til pH 2,8, hvor jern udfældes over 10 timer i en serie beholdere. Efterfølgende fældes de enkelte metaller.



Figur 5.9 Eksempel på procesdiagram fra udvinding af tungmetaller fra mineslam fra Kasese Cobalt Plant (Baingana-Baingi et al., 1993)

Input og output

Processen kan behandle slam og aske. Som hjælpestoffer indgår næringsholdig sur bio-kultur med aktive mikroorganismer, ilt, kalk og kemiske fældningskemikalier. Ud af processen kommer rene metalopløsninger og/eller rene metaller, gips og ikke iltede metalrester samt næringsstofholdig filtreringskage, varme og spildevand. Fosfor er indeholdt i filtreringskagen.

Næringsstoffer – herunder fosfor og kulstof

Der skal tilføres de nødvendige næringsstoffer til opretholdelse af den mikrobielle aktivitet. I spildevandsslam vil der delvis være det nødvendige indhold af kulstof, kvælstof og fosfor. Næringsstofferne vil være indeholdt i filterkagen. Fosfor kan efterfølgende udfældes, eller filterkagen kan anvendes som gødningsprodukt.

Urenheder – herunder miljøfremmede stoffer, hygiejnisering og tungmetaller

Da processen går over en stærk syrebehandling, vil miljøfremmede organiske stoffer formentlig være nedbrudt. Der er ikke umiddelbart kendskab til sikkerhed for denne nedbrydning, eller hvorvidt der kan forekomme miljøfremmede nedbrydningsstoffer. Spildevandet fra processen vil være stærkt basisk og have et højt indhold af svovlforbindelser samt mindre koncentrationer af metaller, da den biologiske fældning og oxidering ligger på 85-95 %.

Miljøvurdering og LCA

Thiobacillus Ferrooxidans er sundhedsmæssigt undersøgt, uden at der har kunnet konstateres negativ påvirkning på fostre og forsøgsdyr. Der foreligger miljøvurdering og LCA fra enkelte mineprojekter og mineslam, men der er ikke kendskab til behandling af spildevandsslam og aske.

Energi

Den biologiske proces afgiver varme og er optimal ved 38-42°C, hvorfor der skal køles eller tilføres luft og ilt for at holde gang i en optimal biologisk proces. Varmen kan udnyttes over varmeveksler.

5.4 Kemisk ekstraktion af fosfor fra slamaske

Når slam forbrændes eller forgasses, vil størstedelen af slammets kulstof og nitrogen gå tabt. Under den termiske behandling sker der en hygiejnisering af slammet samtidig med, at alle miljøfremmede stoffer nedbrydes. Efter forbrænding eller forgasning af slammet ændres fosforens kemiske form, hvorved fosforens plantetilgængelighed falder drastisk.

Hvis fosforen skal genanvendes, er det nødvendigt at få dens kemiske form ændret igen. Dette kan gøres ved en kemisk ekstraktion af asken – hvor asken opløses i eksempelvis syre eller base. Nogle af ekstraktionsmidlerne er mere effektive end andre, hvor syrer – oftest i form af svovlsyre - er mest almindelige.

Efter ekstraktionen forefindes størstedelen af fosforen på opløst form sammen med en stor del af askens tungmetaller og fældningsmetaller (jern, aluminium og magnesium). Ved en separation kan den flydende fase separeres fra den faste fase, som oftest består af sand, jern og evt. fosforgips.

Den flydende fase kan ikke umiddelbart anvendes til gødning eller foder, blandt andet på grund af dens indhold af urenheder. Da fosforen i den flydende fase oftest er bundet som fosforsyre, er det heller ikke muligt at tørre den til et gødnings salt. I det efterfølgende beskrives forskellige teknologier til fjernelse af tungmetaller og fremstilling af fosforprodukter ud fra fosforekstraktionerne.

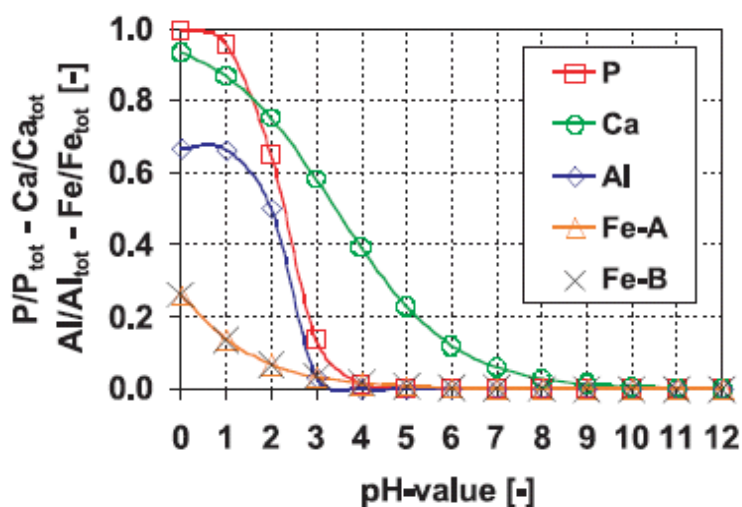
5.4.1 pH fældning

Opløseligheden af salte og metaller er oftest pH afhængig. Ved kendskab til de forskellige salte og metallers pH opløselighed kan man forsøge at styre, hvorvidt en ønsket ion er opløst i væsken eller fældes ud på fastform, som f.eks. et salt eller en metalhydroxid. Det er på denne måde muligt at adskille to forskellige ioner fra hinanden ved at få den ene over på fast form. Nogle gange kan det

være problematisk at få adskilt bestemte ioner fra hinanden, hvis de to pågældende ioner fælder ud med hinanden ved en pH øgning.

De fleste tungmetaller fælder ud ved øget pH foruden de amfotere, som genopløses ved yderligere pH øgning. I nogle tilfælde er en pH øgning nok til at fjerne tungmetaller, i andre er det nødvendigt at anvende et fældningskemikalie som f.eks. sulfid. Herved fældes tungmetallerne som metalsulfider i stedet for metalhydroxider.

Hvilke salte, der fælder ud af en opløsning ved pH øgning, afhænger helt af, hvilken base der anvendes til pH justering, samt hvilke andre ioner der er i væsken. Tages der udgangspunkt i fosfor, som er det interessante i denne sammenhæng, vil den ved pH øgning først og fremmest udfælde med aluminium, jern og calcium, såfremt disse er til stede. Derudover vil den udfælde som ammoniumfosfat ved brug af ammoniumhydroxid, som natriumfosfat ved brug af natriumhydroxid og som kaliumfosfat ved brug af kaliumhydroxid.



Figur 5.10 Udfældning af fosfor, calcium, aluminium og jern ved øget pH (Schaum et al., 2008)

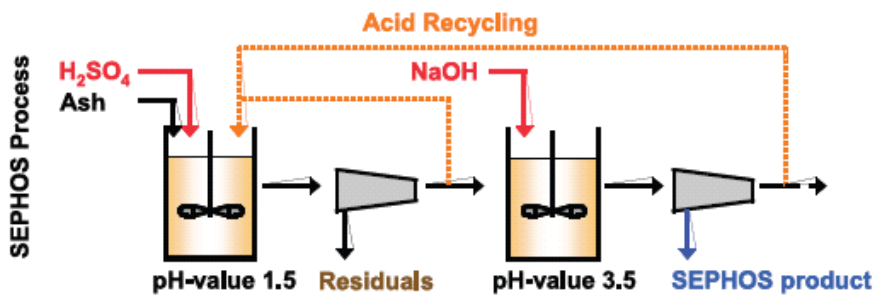
I nogle situationer er opløseligheden af et salt så høj, at det ikke fælder ud af opløsningen ved pH øgning, med mindre der fjernes vand fra opløsningen.

Hvem anvender teknologien

Der kendes til 2 virksomheder, som anvender teknologien – SEPHOS processen, som er tysk, og Kommunekemis proces, som er dansk (Kommunekemi arbejder med 3 forskellige processer).

SEPHOS processen:

Først ekstraheres asken med svovlsyre, hvorefter uopløste rester fjernes. Herefter øges pH til 3,5, hvor aluminiumfosfat fælder ud – de fleste tungmetaller fælder først ud ved højere pH, hvorved fosfor fjernes fra tungmetallerne. Det udfældede SEPHOS produkt filtreres fra syren, som genbruges i næste batch. SEPHOS produktet indeholder aluminiumfosfat, som kan bruges i den elektrokemiske fosforindustri.



Figur 5.11 Procestegning af SEPHOS processen

Fosforproduktet kan viderebehandles efter SEPHOS's avancerede proces, hvor aluminiumfosfatet gennemgår en alkalisk behandling, hvor fosfor adskilles som calciumfosfat, mens aluminium kan genanvendes som fædningsmiddel på rensningsanlæggene (Schaum et al., 2008).

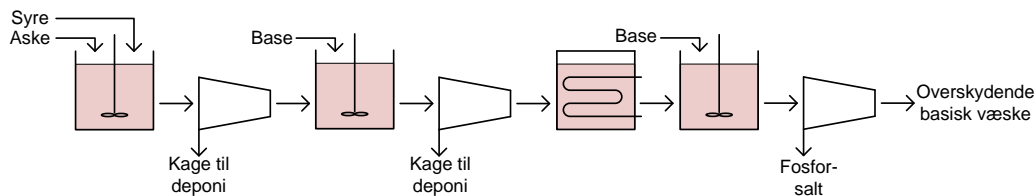
SEPHOS processen er opfundet på et universitet i Tyskland tilbage i 2004 og er endnu kun testet i laboratorieskala.

Kommunekemis processer:

Der arbejdes med 3 forskellige fædningsprocesser på Kommunekemi, hvor der kun anvendes aske fra jern- og biologisk fældet slam – det er ikke muligt at anvende aske fra aluminiumsfældet slam i processerne.

Proces 1:

Asken ekstraheres med syre, hvorefter den uopløselige rest separeres fra (Figur 5.12). Til den flydende fraktion tilsættes base, indtil jernet udfældes. Efter fjernelse af den jernholdige kage, afdampes noget af den overskydende væske i den flydende fase, inden yderligere tilsætning af base. Ved yderligere tilsætning af base udfælder trinatriumfosfat, mens aluminium forbliver opløst i den basiske væske, som i et vis omfang kan recirkuleres i processen. Fosforsaltet skal inden salg igennem en oprensning. På nuværende tidspunkt er der kunder til anvendelse af fosforsaltet i industrien, og muligheden for at anvende produktet i foder er ved at blive undersøgt.



Figur 5.12 Flowdiagram af Kommunekemis proces 1

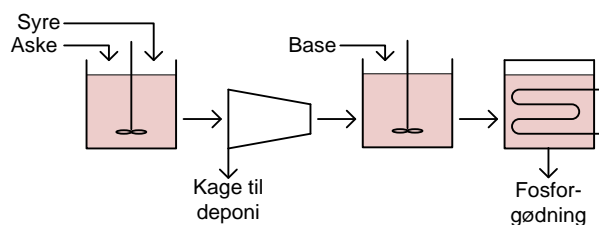
Fosforsaltets indhold af udvalgte metaller og tungmetaller kan ses i Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Proces 1 - Metaller og tungmetaller i Kommunekemis fosforsalt. Produceret af aske fra forbrænding af jernfældet spildevandsslam fra Avedøre renseanlæg

Proces 1		
Vandopløselig P	%	100
Aluminium	mg/kg TS	243
Jern	mg/kg TS	1,7
Nikkel	mg/kg TS	0,27
Bly	mg/kg TS	0,022
Cadmium	mg/kg TS	<0,022
Kviksølv	mg/kg TS	<0,011

Proces 2:

Asken ekstraheres med syre, hvorefter den uopløselige rest separeres fra (Figur 5.13). Til den flydende fraktion tilsættes base, hvorved en del af de opløste ioner udfælder som salte. Den flydende fraktion med delvist udfældede salte inddampes for at få de sidste ioner over på saltform. Produktet består af ammoniumfosfat i et forhold, der minder om MAP (monoammoniumfosfat). Produktet kan både anvendes i industrien og af gødningsproducenter.



Figur 5.13 Flowdiagram af Kommunekemis proces 2a

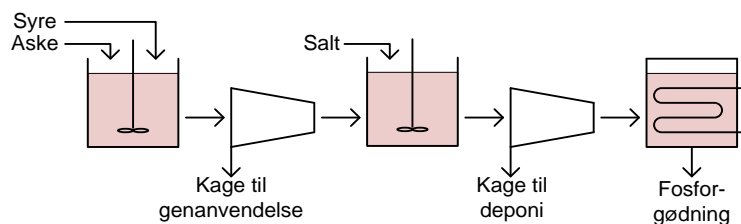
Ulempen ved processen er, at en del af askens jern og aluminium ender i fosforgødningen (Tabel 5.9). Disse metaller kan fjernes ved en separation ved lavere pH, men grundet askernes høje indhold af aluminium mistes op til 40 % af fosforen ved fjernelse af aluminium. Det er derfor en fordel at få spildevandsrensningsanlæggene til at mindske deres brug af aluminium.

Tabel 5.9 Proces 2 - Metaller og tungmetaller i Kommunekemis fosforgødning. Produceret af aske fra forbrænding af jernfældet spildevandsslam fra Avedøre renseanlæg

		Proces 2A	Proces 2B
Vandopløselig P	%	49	92
Aluminium	mg/kg TS	28.400	259
Jern	mg/kg TS	49.500	1.401
Nikkel	mg/kg TS	82,1	-
Bly	mg/kg TS	0,18	-
Cadmium	mg/kg TS	4,5	-
Kviksølv	mg/kg TS	<0,086	-

Proces 3:

Asken ekstraheres med syre, hvorefter den uopløselige rest separeres fra (Figur 5.14). Til den flydende fraktion tilsættes er salt, hvorved der opnås en udfældning af uønskede ioner. Efter separering inddampes den flydende fraktion for at få de opløste ioner på saltform. Produktet er en NP-gødning, som er ved at blive godkendt af en stor gødningsproducent.



Figur 5.14 Flowdiagram af Kommunekemis proces 3a

Ligesom ved proces 2 ender en del af askens jern og aluminium i fosforgødningen (Tabel 5.10). Disse metaller kan fjernes ved en separation ved lavere pH, men grundet askernes høje indhold af aluminium mistes op til 40% af fosforen ved fjernelse af aluminium. Det er derfor en fordel af få spildevandsrensingsanlæggene til at mindske deres brug af aluminium.

Tabel 5.10 Proces 3 - Metaller og tungmetaller i Kommunekemis fosforgødning. Produceret af aske fra forbrænding af jernfældet spildevandsslam fra Avedøre renselanlæg

		Proces 3A	Proces 3B
Vandopløselig P	%	89	>89
Aluminium	mg/kg TS	19.000	59
Jern	mg/kg TS	14.730	9
Nikkel	mg/kg TS	11	23
Bly	mg/kg TS	25	0,2
Cadmium	mg/kg TS	3,1	0,3
Kviksølv	mg/kg TS	2,6	0,4

Input og output

Input i pH fældningsprocesser er, ud over aske og vand, syrer og baser - hvor svovlsyre, salpetersyre, ammoniakvand og natriumhydroxid er de mest almindelige. Ud af processen kommer der et fosforprodukt samt restprodukter, der oftest skal på deponi, og muligvis et restprodukt, der kan genanvendes.

Næringsstoffer - herunder fosfor

Under den kemiske ekstraktion vil 5-40 % af fosforen gå tabt – alt efter ekstraktionsmiddel, reaktionstid og vask af restprodukt. De resterende 60-95 % fosfor ender i fosforproduktet. Hvorvidt fosforen er vandopløselig eller ej, afhænger af selve processen.

Kommunekemi arbejder med forskellige fældningsprocesser, hvor de har eftervist, at det er muligt at fremstille fosforprodukter med en vandopløselig fosfor på helt op til 95 %. Den vandopløselige fosfor er afhængig af, hvorvidt der er fjernet jern, calcium og aluminium fra produktet eller ej. Hvis jern, calcium og aluminium ikke fjernes, falder den vandopløselige fosfor og kan i værste fald være helt nede på 25 %. Dog vil produktets citratopløselige fosfor stor set altid være på minimum 80 %.

Urenheder – herunder tungmetaller

Urenheder i form af jern, calcium, aluminium og tungmetaller vil automatisk blive reduceret under fældningsprocesserne og kan i ønskede tilfælde elimineres fuldstændigt. Dog kan en fjernelse af jern og aluminium også bevirke et øget tab af fosfor.

Miljøvurdering og LCA

Der kendes ikke til nogen miljøvurdering og LCA ved genanvendelse af fosfor fra ekstrakter ved pH fældning. På nuværende tidspunkt er Kommunekemi ved at få lavet en LCA på forgasning af slam efterfulgt af genanvendelse af fosfor fra en ekstraktion ved pH fældning.

Energi

Fældningsprocesserne er i sig selv ikke energikrævende. Til gengæld kræves der ofte en form for inddampning eller tørring af fosforproduktet, som er energikrævende.

5.4.2 Ionbytning

En ionbytter er et stof, der er i stand til at tiltrække og binde opløste ioner i vand og væsker. Ionbyttere findes i naturen, men det der anvendes i industrien i dag er små polystyrenkugler, der har en meget stor indre overflade (50-100 m² /g).

I små ionbytteranlæg (flasketypen) vil vandet blive ledt ind oven i beholderen, og efter en tur gennem ionbyttermassen bliver vandet presset op igennem et rør midt i beholderen. I større anlæg har man ionbyttermassen i nogle "kolonner". Ionbyttermassen inddeles groft i to grupper - kationbyttere og anionbyttere.

Kationbyttere har en negativ spænding og er karakteriseret ved at indeholde et stort antal syregrupper, der binder de positive ioner (kationer). Anionbyttere har en positiv spænding og er karakteriseret ved at indeholde ammoniumioner, der optager de negative ioner (anionerne).

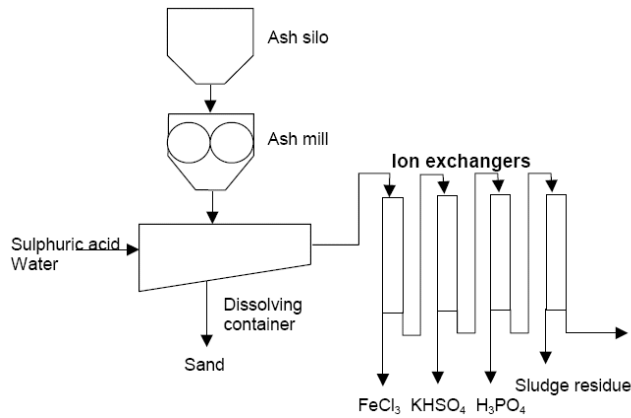
Ved fremstilling af demineraliseret vand blander man ofte kation- og anionbyttermasse i den samme kolonne (en såkaldt mixed bed). Ved spildevandsrensning anvendes normalt 2- eller 3-kolønnes anlæg. Første kolonne er en kationbytter, mens anden kolonne er en anionbytter. Hvis der er cyanid i vandet, anvendes normalt to anionbyttere - både en stærk og en svag anionbytter. Når den ene af ionbytterkolonnerne i et 2-søjle anlæg er ved at være mættet, fjernes ionerne ikke mere så effektivt som i starten. Der registreres en stigning i ledningsevnen, og søjlerne skal regenereres. Kationbytteren regenereres normalt med saltsyre, og anionbytteren regenereres med natriumhydroxid. Man er nødt til at anvende regenereringskemikalier i overskud for at få en fuldstændig regenerering af ionbyttermasserne. Disse kemikalier skylles bagefter ud med vand.

Hvem anvender teknologien

Der er forskellige processer, som bygger på ionbytning som behandlingstrin efter kemisk ekstraktion til oparbejdning af fosfor: BioCon processen og Easy Mining.

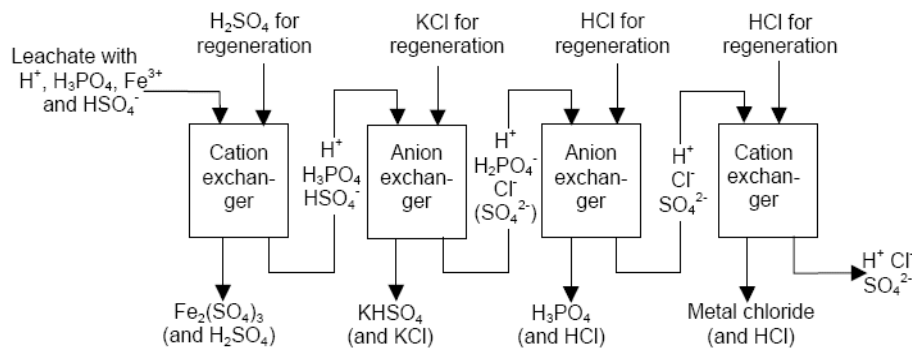
BioCon processen

BioCon processen (Figur 5.15) blev udviklet af en dansk virksomhed tilbage i 2000. I Biocon processen udvaskes jernaske fra slamforbrænding med syrer, hvorefter opløste metalioner adskilles fra opløst fosfat med ionbytning.



Figur 5.15 Skematisk illustration af BioCon processen. Fosfor ekstraheres i syre, og den efterfølgende separation af fosfor og metaller bygger på ionbytning (Levin, 2012)

Ionbytningen udføres ved, at væskefasen fra den syrebehandlede aske ledes gennem fire ionbytterkollonner (se Figur 5.15 og Figur 5.16). I den første søjle, som er en kationbytter, optages jernionerne, og der frigives brintioner. Denne kolonne regenereres med svovlsyre, og ved denne proces dannes jernsulfat $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Den anden søjle er en anionbytterkolonne, som fjerner sulfationer fra væskefasen. Denne søjle regenereres med kaliumchlorid, og her produceres kaliumhydrogensulfat, KHSO_4 . Den tredje søjle er også en anionbytterkolonne, og her fjernes fosfationer fra væsken. Ved gennemløb af den første anionbytterkolonne skal pH være under 2, således at fosfor passerer som uladet forbindelse (H_3PO_4), mens pH skal være højere end 2 i den anden ionbytterkolonne, således at fosfor er til stede i væsken som anion (H_2PO_4^-), der kan optages i anionbytterkolonnen. Anden anionbytterkolonne regenereres med saltsyre, hvorved der produceres fosforsyre, H_3PO_4 . Den sidste kolonne er en kationbytter, som fjerner andre metaller. Denne kolonne regenereres med saltsyre og fremstiller metalchlorid (Figur 5.16).



Figur 5.16 Syre til regenerering af ionbytterkollonner i BioCon processen samt produkter fra regenereringen. Fra den tredje ionbytterkolonne kommer fosforsyre (Levin 2012).

Easy Mining

Det svenske firma EasyMining Sverige AB har udviklet en ny proces, som de kalder CleanMAP™ Technology. Teknologien muliggør produktion af teknisk rent monoammoniumfosfat (MAP) eller diammoniumphosphat (DAP). Produktets renhed afhænger af råmaterialelets renhed.

Teknologien kan anvendes til fosforekstraktion fra fosfatsten og andre lignende råprodukter som f.eks. aske fra forbrænding af spildevandsslam. Processen er baseret på selektiv væske-væske ekstraktion kombineret med udfældning.

Hvis der anvendes aske fra forbrænding af slam, vil processen omfatte følgende trin:

- Aske opløses i svovlsyre og uopløseligt materiale udskilles og vaskes.
- Fosfationer udvindes fra udludningsopløsningen som monoammoniumfosfat ved hjælp af CleanMAP™ technology. Der findes ikke meget information omkring CleanMAP teknologien, men så vidt det er oplyst, er det en ionbytningsteknologi.
- Jern- og aluminiumioner, som hovedsageligt stammer fra fosforfjernelse under spildevandsrensning, genanvendes på hydroxid eller sulfat form, og kan genbruges til fosorfældning på renseanlæg.
- Resterende opløste tungmetaller fjernes fra opløsningen som sulfider, ved udfældning med natriumsulfid.

Udgående vand fra processen er pH neutral og har et lavt indhold af både fosfor og metal (Cohen et al., 2012).

Input og output

Input i processen er aske fra monoforbrænding af jernfældet spildevandsslam.

Ud af processen kommer flere strømme. I fokus er fosforsyre, men herudover kommer jernsulfat, kaliumhydrogensulfat og metalchlorider (se Figur 5.16). Derudover er der restprodukter i form af gips/sand og en sur opløsning indeholdende H^+ , SO_4^{2-} og Cr.

Næringsstoffer - herunder fosfor

Tilgængeligheden af fosfor efter en ionbytning er for så vidt godt, hvad enten der fremstilles fosforsyre som BioCon eller ammoniumfosfat som i EasyMining processen. Det er uvist, hvor stort et udbytte der fås ved CleanMAP teknologien, men det er oplyst, at BioCon genanvender 60 % fosfor.

Urenheder – herunder tungmetaller

Renheden af produkterne efter en ionbytning er ikke nødvendigvis god, men som ved CleanMAP teknologien kan tungmetallerne fældes og derved fjernes fra fosforproduktet.

Energi

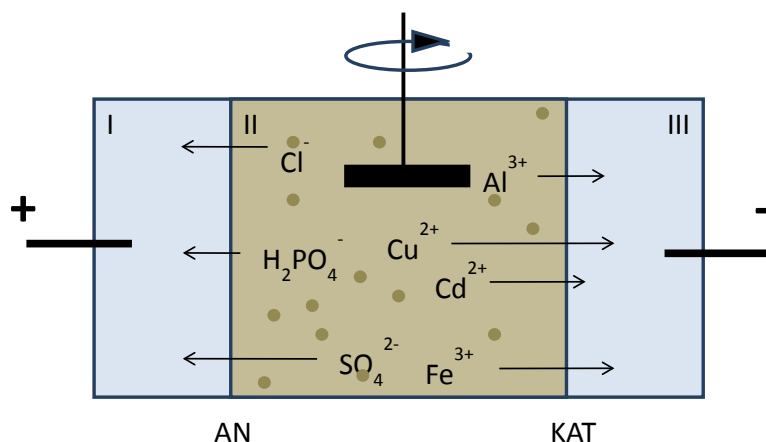
Der kendes ikke noget til energien i Biocon processen, men i CleanMAP teknologien oplyses det, at omkostningerne til processen er lavere end ved almindelige teknologier til konventionel fosforgødningsproduktion, blandt andet fordi der ikke skal bruges energi til vandfordampning. Herved opnås en energibesparelse på 5 tons damp pr. tons fosfor sammenlignet med konventionel fosforgødningsproduktion.

5.4.3 Elektrolytisk separation

Elektrodialytisk separation er en metode under udvikling til separation af tungmetaller, jern og aluminium fra fosfor, således at den oparbejdede fosfor opnår en renhed, som muliggør anvendelse i gødningsindustrien. Under processen adskilles fosforressourcen og tungmetaller også fra den tungtopløselige, partikulære restaske. Metoden bygger på elektrokinetiske principper, hvor ioner i en væske transporteres mod elektroderne i et påtrykt elektrisk felt. Det er derfor meget afgørende, at de grundstoffer, der skal separeres, er på ionform eller frigives til ionform under processen. Aske suspenderes i svovlsyre inden den elektrodialytiske separation. Syretilsætningen vælges således, at pH i aske suspensionen er svagt sur. Under separationen forsures suspensionen yderligere, hvorved fosfor frigives med op mod 100 %.

Princippet til elektrodialytisk separationen af fosfor og tungmetaller fra slamaske ses på Figur 5.17. Asken suspenderet i svovlsyre er det midterste kammer (II), og suspensionen adskilles fra procesvæskerne ved elektroderne med ionbyttermembraner. Mellem anolyt (væsken ved anoden) (I) og askesuspension placeres en anionbyttermembran, og mellem katolyt (væsken ved katoden) (III) og askesuspension placeres en kationbyttermembran. Anionbyttermembraner og kationbyttermembraner lader kun henholdsvis negative og positive ioner passere. Placeres membranerne som vist på

Figur 5.17 betyder det, at det midterste kammer er det kammer, som afsaltes (desalination compartment i konventionel elektrodialyse), dvs. det kammer hvorfra ionerne fjernes, mens elektrodekammerne er opkoncentringskamre, hvortil ionerne transporteres fra det midterste kammer. Ioner fjernes således i henhold til deres ladning fra askesuspensionen og ud i et af elektrodekammerne under den elektrodialytiske proces.



Figur 5.17 Princippet i elektrodialytisk separation. Asken er suspenderet i det midterste kammer (II). Positive ioner transporteres ud i procesvæsken ved den negative elektrode og omvendt. (AN = anionbyggermembran, KAT = kationbyggermembran)

Hvem anvender teknologien

Internationalt har der kun været arbejdet med fosforindvinding fra slamasker med elektrokinetik i Tyskland (Bavarian Environmental Agency – projektet EPHOS). De første eksperimenter blev udført på vandmættet aske i stationær laboratoriecelle (ingen omrøring i askekammeret) og uden ionbyttermembraner (Sturm et al., 2010). Her blev indvundet under 1 % af den fosfor, som var i slamasken. I et forsøg, hvor ionbyttermembraner blev anvendt omkring elektroderne i et stationært set-up, blev der genvundet 0,2 % af fosforen fra asken (Sturm et al., 2010). Det blev klart, at dette set-up med stationær aske ikke gav tilfredsstillende resultat, og derfor blev DTU's elektrodialytiske celle testet og med et bedre resultat, for her blev op til 60 % fosfor indvundet (Sturm, 2011). Eventuel fraseparering af tungmetaller blev ikke rapporteret.

På DTU er der udført laboratorieeksperimenter med Fe-aske (fra Avedøreværket) og Al-aske (fra Lundtofteværket). Den elektrodialytiske separationen forløb fint for asken fra Avedøreværket. Hovedparten af fosfor fra asken transporteres ud i anolytten, mens hovedparten af den frigivne Al og Cu blev transporteret ud i katolytten. For asken fra Lundtofteværket var separationen ikke så succesfuld. Frigivet Cu og andre tungmetaller blev primært transporteret mod katoden, og denne del af separationen forløb som ønsket. Den høje koncentration af Al i denne aske vanskeliggjorde en separation af P og Al, idet de ved lave pH værdier sammen indgår i ladede komplekser, og der skal yderligere procesoptimering til, inden metoden kan anvendes på Al-aske.

Elektrodialytisk separation af fosfor og tungmetaller fra slamaske er kun testet i laboratorieskala, men med mindre justeringer vil et pilotanlæg, som oprindeligt blev designet til behandling af røggasrensingsprodukter fra affaldsforbrænding (Jensen et al., 2010), kunne anvendes.

Input og output

I elektrodialyseanlægget opslemmes slamaske i svovlsyre. Ud fra processen kommer et fosforprodukt uden tungmetaller samt et restprodukt (asken) også med et lavt tungmetallindhold (og meget lav tungmetal leaching), og denne aske kan evt. finde anvendelse i byggeindustrien. Endelig kommer der et tungmetalholdigt, tungtopløseligt fældningsprodukt, som skal deponeres.

Næringsstoffer – herunder fosfor

Den bedst opnåede genanvendelsesprocent på fosfor er 60 %.

Urenheder – herunder tungmetaller

Under elektrodialysen fjernes størstedelen af tungmetallerne fra fosforproduktet.

Energi

Processen kræver energi. Selve den elektrodialytiske separation udgør en mindre del af energibehovet. Den største del af behovet for energi kommer fra pumperne, som leder slamsuspensionen gennem anlægget og pumper procesvæskerne.

5.5 Opsummering

Gennemgangen af teknologierne i dette kapitel er ikke udtømmende, men fokus har været på de teknologier, som menes at være mest relevante i forhold til fosforudvinding. I Bilag 3: findes en oversigt over yderligere teknologier.

Den øgede fokus på fosfor som en begrænset ressource har sat gang i udviklingen af en række nye teknologier, der har til formål at udvinde fosfor f.eks. direkte på renseanlægget eller fra en slam- aske, der er fremkommet ved forbrænding af spildevandsslam. Gennemgang af teknologierne viste, at mange af de nye processer kun findes som pilot- eller fuldskalaanlæg. Antallet af nye og samtidig veletablerede anlæg ser derimod ud til at være ret begrænset.

Fosforfjernelsen fra rejeftvand har bl.a. den fordel, at der kun kræves en begrænset tilsætning af kemikalier, at der ikke som sådan opstår nye affaldsprodukter i processen samtidig med, at der stadig produceres spildevandsslam, som er af gødningsværdi for landbruget. Ulempen er dog, at tungmetaller og miljøfremmede stoffer ikke fjernes i processen, dvs. at de opkoncentreres i spildevandsslammet, som skal håndteres efterfølgende.

Der findes teknologier, som kan udvinde fosfor fra slammet, f.eks. via termisk behandling af slammet og efterfølgende ekstraktion af fosforen fra asken. Det meste kulstof og kvælstof i slammet vil gå tabt via forbrændingsprocessen. Sidegevinsten er dog, at der sker en hygiejnisering af slammet samt en nedbrydning af miljøfremmede stoffer. En af begrænsningerne er imidlertid, at den kemiske ekstraktion af fosfor fra asken forudsætter, at asken stammer fra monoforbrænding af eksempelvis jernfældet slam. Desuden vil de tungmetaller, som er indeholdt i slammet, også foreligge i asken, hvilket betyder, at de også kan ende i gødningsproduktet.

Der sker afprøvning i Danmark (og i høj grad også i udlandet, f.eks. Tyskland) med nye systemløsninger, men anlægsøkonomi og salgspris af produkter er måske afgørende for, at teknologien er realiserbar. Økonomien i disse løsninger kræver sandsynligvis en høj fosforpris for at blive rentable.

Hvis slamforbrænding er den mest optimale håndteringsløsning for en spildevandsforsyning, skal forbrændingen forgå på et dedikeret slamforbrændingsanlæg (monoforbrænding) for at sikre, at asken ikke blandes med andre affaldsfraktioner. Desuden skal asken deponeres kontrolleret således, at fosforressourcen kan udvindes, når teknologien er udviklet, og/eller økonomien tillader det.

Der er andre større fosforstrømme, som f.eks. kød- og benmel, som burde tænkes ind i en fælles deponeringsløsning, således at de fosforasker, der i dag ikke kan oparbejdes, kan opbevares på en kontrolleret måde. Det kunne blive en politisk målsætning at etablere fosforbanker med fosfor til fremtidens fødevarerproduktion eller blot at opsamle asken og oparbejde den løbende for at recirkulere den danske fosfor. Fosforbanker kunne være et element, som yderligere vil flytte fokus på ressourceeffektivitet, og kunne desuden være et nyt koncept, som måske kunne udvikles og eksporteres i form af systemeksport.

6. Markedsudvikling

I dette kapitel gives et overblik over (potentielle) markeder i relation til afsætning af teknologier til anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam samt salg af oparbejdede fosforprodukter (herunder slam).

I tabellen nedenfor ses en liste af aktørerne/interessenterne inden for anvendelse af slam samt de væsentligste barrierer, som i en årrække har haft betydning for markedet for slamanvendelse. Da denne undersøgelse blev gennemført, opfattede interessenterne for anvendelsen af slam konkurrencen fra andre produkter som en vigtig barriere (Tabel 6.1). Konkurrence kom fra gødning fra dyreproduktion (hovedsagelig svineproduktion) og fra industriens affaldsprodukter (hovedsagelig Novagro30). Konkurrencen fra andre produkter blev vurderet til at mindske afsætningssikkerheden for slamproducenterne, da landbruget havde flere gratis gødningsprodukter at vælge imellem. Afsætningssikkerheden/forsyningssikkerheden er en af årsagerne til, at der var betydelige forskelle i prisen for spildevandsrensning, da det ofte var dobbelt så dyrt at forbrænde slam (set som den sikreste løsning) som at anvende slam på landbrugsjord. Omkostninger til slambortskaffelse var typisk en af de tre største driftsudgifter for rensningsanlæg.

Tabel 6.1 De tre væsentligste barrierer (i ikke prioriteret rækkefølge) for genanvendelse af slam for en række interessenter (baseret på Andreassen, 2004)

Interessent	Væsentligste barrierer
Slamproducenter	Afsætningssikkerhed Konkurrence fra andre produkter Overholdelse af grænseværdier
Slambrugere – landmænd	Indtjening (besparelse og betaling) Konkurrence fra andre produkter Sikkerhed for afsætning og jordanvendelse
Ikke-slambrugere – landmænd	Indhold af miljøfremmede stoffer Konkurrence fra andre produkter Afsætningsproblemer
Landbrugskonsulenter	Sikkerhed/garanti Konkurrence fra andre produkter Afsætningsproblemer

I 2012 er forsyningssektoren løsrevet fra kommunerne og fungerer delvist på markedsvilkår, hvor for økonomi og effektivisering spiller en stor rolle. Der er i 2012 en høj anvendelse af slam som gødning på landbrugsjord.

I det følgende gennemgås relevante fosforprodukter med henblik på at beskrive den aktuelle markedsituation (og markedspotentiale), identificere de barrierer eller drivers, der præger markedet i dag og evt. identificere senere mulige udviklingsbehov. Gennemgangen omfatter udnyttelsen af fosfor ved anvendelse af stabiliseret slam som gødning på landbrugsjord (afsnit 6.1) samt produkter, som er fremkommet ved genvinding af fosfor fra slam, aske eller biochar (afsnit 6.2). For hvert produkt er der udarbejdet en oversigt, som beskriver markedsituationen, incitament/drivers, barrierer etc.

6.1 Anvendelsen af stabiliseret slam på landbrugsjord

Før slammet kan udbringes på landbrugsjord, skal det have gennemgået en stabilisering, en kontrolleret kompostering eller en kontrolleret hygiejnisering. Stabilisering af spildevandsslam (f.eks. udrådning, beluftning, kalkstabilisering) er den mest udbredte måde at behandle slam på.

I branchen benytter man en inddeling af spildevandsslam i A, B og C, som indirekte er baseret på slambekendtgørelsen:

- A-slam overholder grænseværdier til tungmetaller og miljøfremmede stoffer og kan f.eks. uden videre komposteres eller afsættes til jordbrugsformål.
- B-slam overholder grænseværdierne til tungmetaller, men ikke til miljøfremmede stoffer. De miljøfremmede stoffer bliver nedbrudt under komposteringen, og derfor kan B-slam anvendes til jordbrugsformål efter kompostering.
- C-slam overholder ikke grænseværdierne for tungmetaller eller miljøfremmede stoffer og kan derfor ikke genanvendes til jordbrugsformål.

Hvorvidt A-slam skal komposteres, er en vurdering af ressourceforbrug og risikominimering. Fosforen bliver ikke lettere tilgængelig ved kompostering, og omkostningerne for behandlingen skal således deles ud på den samme mængde fosfor, hvilket gør fosforen i komposteret slam dyrere. Men det kan være en pris, man ønsker at betale for at mindske risikoen for spredning af miljøfremmede stoffer, patogener og ukrudtsfrø. Samtidig er det en fordel at have spildevandsslammet på en lagerstabil og let håndterlig form, der kan anvendes, når der er efterspørgsel for gødning og som buffer for en ujævn slamproduktion.

I forhold til B-slam skal komposteringsanlægget kunne dokumentere, at der sker en omsætning af de miljøfremmede stoffer. Det dokumenteres med en masseberegning. Forskningsresultater har vist, at kontrolleret kompostering af slam nedbryder miljøfremmede stoffer samt patogener og ukrudtsfrø (Clowes et al., 2008).

Tabel 6.2 til Tabel 6.7 på de efterfølgende sider giver et overblik over markedssituationen for:

- Slam, som er stabiliseret ved langtidsbeluftning
- Kalkstabiliseret slam
- Udrådnet slam
- Tørret slam
- Mineraliseret slam
- Komposteret slam

Tabel 6.2 Markedsoverblik – slam, stabiliseret ved langtidsbeluftning

	Slam- stabiliseret ved langtidsbeluftning
Netværk - danske og evt. udenlandske aktører	<ul style="list-style-type: none"> • Slamproducent • Faglige aktører, som står for afsætning af slammet (aktører med bredt netværk af indenlandske og udenlandske samarbejdspartnere, så enhver kvalitet kan håndteres) • Slamformidler/logistik (vognmand, lagerkapacitet, udbringningskapacitet) • Planteavlere
Incitament/ drivers	Det er den enkleste kvalitet, som overholder lovgivningen og har en lav behandlingspris.
Barrierer	Slammet kan være mindre afvandeligt og kræver større lagre. Der er en risiko for lugtgener ved udspreddning, som håndteres ved, at slammet inden for få timer indarbejdes i jorden. Jf. slambekendtgørelsen er der anvendelsesrestriktioner for arealer, hvor der har været anvendt spildevandsslam.
Forsyningsikkerhed	Det er en veletableret proces, og forsyningsikkerheden er høj. Slamformidlere har ofte en alternativ afsætningsmulighed i form af forbrænding. Kortvarigt er der måske mulighed for deponering.
(Potentielle) markeder i Danmark for produktet	Ja. Der er ikke nyere statistik for mængden. Oftest er det slamformidlere, som varetager kontakten til planteavlere.
(Potentielle) markeder i Danmark for teknologien	En stor del af slammet er alene langtidsbeluftet, men antallet af anlæg er ikke fundet.
(Potentielle) markeder i udlandet for produktet	Næppe, da teknologien allerede findes i de fleste lande.
(Potentielle) markeder i udlandet for teknologien	Er ikke vurderet.
Teknologistatus	Teknologien er velkendt
Udnyttelsesgraden af fosfor	Fosformængden indeholdt i slammet går ikke tabt i processen. Det er ikke nødvendigvis 100 % af fosforen i spildevandsslam, som jorden og afgrøderne kan udnytte som gødning, bl.a. fordi der kan ske et tab af fosfor som resultat af udvaskning via regnvand.
Økonomi/ Evt. priseksempler	Langtidsbeluftning er typisk forbundet med høje omkostninger. Behandlingsprisen bliver ikke opgjort, da det er en integreret del i driften af aktiv slamanlæg.
Tillid til produktet - fra aftagernes synspunkt (planteavlere) - fra andre interessenters synspunkt (f.eks. forbrugerne)	Slamformidlere afsætter produktet. Egentlig produktvurdering kendes ikke.
Produktkarakteristika - Flydende/ fast/ vådt (tørstofindhold) - stabiliseret, hygiejniseret - indhold af tungmetaller/ miljøfremmede stoffer	Slamtørstof skønnes at være mellem 16 og 23 %. Produktet overholder kravene til stabilisering i slambekendtgørelsen. Organiske miljøfremmede stoffer omsættes delvist ved langtidsbeluftning.

Tabel 6.3 Markedsoverblik - kalkstabiliseret slam

	Kalkstabiliseret slam
Netværk - danske og evt. udenlandske aktører	<ul style="list-style-type: none"> • Producent • Faglige aktører, som står for afsætning af slammet (aktører med bredt netværk af indenlandske og udenlandske samarbejdspartnere, så enhver kvalitet kan håndteres) • Slamformidler/logistik (vognmand, lagerkapacitet, udbringningskapacitet) • Planteavlere
Incitament/ drivers	Stabilisering og øget reduktion af bakterier mm. samt egentlig kontrolleret hygiejniserings er mulig. Produktet har ingen væsentlig ubehagelig lugt. Metoden er velkendt fra NOVO30, som er et af de mest omsatte organiske gødningsprodukter. Kalkindholdet kan erstatte jordbrugskalk og omkostninger til spredning af jordbrugskalk. Tørstofindholdet stiger med kalkmængden, og det kan gøre produktet lettere at håndtere f.eks. i lagre. I nogle tilfælde er fornemmelsen, at produktet er lettere at afsætte til jordbruget.
Barrierer	Jord med høj pH-værdi skal vurderes nøje, før det gødes med kalkbehandlet slam. Askemængden er på grund af kalken højere end for andre slam typer. Jf. slambekendtgørelsen er der anvendelsesrestriktioner for arealer, hvor der har været anvendt spildevandsslam.
Forsyningsikkerhed	Det er en veletableret proces, og forsyningsikkerheden er høj. Kan lagres i år uden lugtgener og kan ofte stables i større højde.
(Potentielle) markeder i Danmark for produktet	Kalkstabilisering foregår kun i begrænset omfang. Landbruget aftager kalkstabiliseret slam og er marginalt mere positive over for produktet og den medfølgende kalk. Struer, Holstebro, Stistrup og Aars renseanlæg er eksempler på renseanlæg, der kalkstabiliserer.
(Potentielle) markeder i Danmark for teknologien	Der kan være få øvrige, men det er ikke udbredt praksis. Kalkstabilisering er en metode, som kan iværksættes til at modvirke lugtgener og ved øgede krav til lavt bakterieindhold.
(Potentielle) markeder i udlandet for produktet	Det er der ikke kendskab til.
(Potentielle) markeder i udlandet for teknologien	Det er der ikke kendskab til.
Teknologistatus	Etableret teknologi
Udnyttelsesgraden af fosfor	Fosformængden indeholdt i slammet går ikke tabt i processen. Det er ikke nødvendigvis 100 % af fosforen i spildevandsslam, som jorden og afgrøderne kan udnytte som gødning, bl.a. fordi der kan ske et tab af fosfor som resultat af udvaskning via regnvand. Udnyttelsen kan i kortere tid være lavere, hvis jordens pH bliver for højt.
Økonomi/Evt. prisseksempler	Som andet slam, men behandlingsprisen er relativt høj på grund af kalken: CaO eller Ca(OH) ₂ 60-80 kr./ton afvandet slam.
Tillid til produktet - fra aftagernes synspunkt (planteavlere) - fra andre interessenters synspunkt (f.eks. forbrugere)	Landmænd modtager slam med kalk, da det sparer dem for indkøb og spredning heraf. Produktet er ofte mere tørt og bedre håndterbart end almindeligt slam. Produktet er noget andet end traditionelt slam og er mere tilta-

	lende uden væsentlig lugt og vådt udseende.
Produktkarakteristika - Flydende/ fast/ vådt (tørstofindhold) - stabiliseret, hygiejniseret - indhold af tungmetaller/ miljøfremmede stoffer	Fast, lysere som mørtel, ingen væsentlig ubehagelig lugt. Mht. tungmetaller eller miljøfremmedstoffer er kalkstabiliseret slam ikke anderledes end andet slam, dog kan der forekomme metaller i kalk, som vil indvirke på analyseresultatet. Ved kontrolleret lagring og pH større end 12 kan produktet opfylde kravene til kontrolleret hygiejnisering.


Tabel 6.4 Markedsoverblik – udrådnets slam

	Udrådnets slam (slutbehandlet ved anaerob proces - bioforgasning med eller uden hygiejnisering og afsluttelig afvanding ved tilsætning af polymer)
Netværk - danske og evt. udenlandske aktører	<ul style="list-style-type: none"> • Producent • Faglige aktører, som står for afsætning af slammet (aktører med bredt netværk af indenlandske og udenlandske samarbejdspartnere, så enhver kvalitet kan håndteres) • Slamformidler/logistik (vognmand, lagerkapacitet, udbringningskapacitet) • Planteavl
Incitament/ drivers	Ofte kan der opnås et højere tørstofindhold efter udrådning og afvanding. Dermed bliver slammængden mindre, og dertil kommer, at biogassen fra behandlingen kan bruges til energiproduktion. På større anlæg kan den interne produktion af grøn energi blive meget betydelig, og i nogle tilfælde kan anlæg blive energineutrale med denne teknologi.
Barrierer	Relativt stor etableringsomkostning og større vedligeholdelsesomkostninger til tilknyttet gasmotor. Økonomi først forsvarlig for større renselanlæg (for eksempel større end 40.000 PE). Jf. slambekendtgørelsen er der anvendelsesrestriktioner for arealer, hvor der har været anvendt spildevandsslam.
Forsyningsikkerhed	Som for andet slam, men den kan kombineres med adgang til afbrænding, således at spildevandsforsyningerne er dækket ind med hensyn til afsætning af slammet. Forbrændingsløsningen forudsætter, at der er foretaget en livcyklusbetragtning, der muliggør fravigelse fra affaldshierarkiet.
(Potentielle) markeder i Danmark for produktet	50-70 % af det danske slam udrådnese.
(Potentielle) markeder i Danmark for teknologien	Se ovenfor, men flere må forventes, da der er fokus på at udnytte energipotentialt.
(Potentielle) markeder i udlandet for produktet	Ja, og af samme årsager som i Danmark.
(Potentielle) markeder i udlandet for teknologien	Teknologien anvendes i udlandet, men der er ikke opsamlet viden om antal anlæg/type anlæg etc.
Teknologistatus	Etableret og velafprøvet teknologi
Udnyttelsesgraden af fosfor	Fosformængden indeholdt i slammet går ikke tabt i processen. Det er ikke nødvendigvis 100 % af fosforen i spildevandsslam, som jorden og afgrøderne kan udnytte som gødning, bl.a. fordi der kan ske et tab af fosfor som resultat af udvaskning via regnvand.
Økonomi/ Evt. priseksempler	Afsætning som for andet spildevandsslam, dog er mængden

	reduceret betydeligt, og derfor er de samlede omkostninger oftest betydeligt mindre end ved direkte udbringning.
Tillid til produktet - fra aftagernes synspunkt (planteavlere) - fra andre interessenters synspunkt (f.eks. forbrugerne)	Som andet slam
Produktkarakteristika - Flydende/ fast/ vådt (tørstofindhold) - stabiliseret, hygiejniseret - indhold af tungmetaller/ miljøfremmede stoffer	Fra 18 – 30 % TS. Mørkt produkt, som bør være lagerstabil med hensyn til udvikling af lugtstoffer. Bakterieindholdet bliver reduceret under processen, men en hygiejnisering kræver forbehandling ved høj temperatur og kræver, at genvækst af bakterier undgås. Miljøfremmede stoffer opkoncentreres (som resultat af ændring i tørstofindhold), og nogle nedbrydes formentlig under processen.

Tabel 6.5 Markedsøverblik – tørret slam

	Tørret slam
Netværk - danske og evt. udenlandske aktører	Rensningsanlæg, vognmand til transporten, entreprenør (som forestår afhentning, distribution, og videre formidling), modtagere er industrivirksomheder, landmænd eller skovbrug (juletræer)
Incitament/ drivers	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ regnskabet – man reducerer transporten typisk med ca. 50-75 %, når slammet transporteres i form af pellets. Det afhænger dog af afvanding af slam og vil være forskelligt fra anlæg til anlæg. • Billigere kørsel og mindre transport har stor betydning for renseanlæg i byer. • Større fleksibilitet for aftageren, da tørret slam kan lagres. Udbragt på marken skal det ikke pløjes ned. Nemt at håndtere og opbevare. Langsom frigivelse af næringsstoffer, da pellets opløses langsomt. • Denne løsning kræver mindre bygværk/byggeri på rensningsanlægget for at sikre lagerkapacitet for 9 måneders slamproduktion (hvilket er et krav) • Mindre tung transport på landbrugsjord <p>(Tørret slam kan også transporteres som granulat. Produktets karakteristika afhænger af tørremetoden.)</p>
Barrierer	<p>Generelle problemstillinger, som for andet slam (f.eks. fokus miljøfremmede stoffer i spildevandsslam).</p> <p>Driftsøkonomien – relativt store omkostninger til vedligeholdelse af tørrings- og pelleteringsanlægget.</p> <p>Risiko for selvantænding af tørret ikke pelleteret slam (som andre organiske materialer med stor overflade).</p> <p>Jf. slambekendtgørelsen er der anvendelsesrestriktioner for arealer, hvor der har været anvendt spildevandsslam.</p>
Forsyningsikkerhed	<p>Det er en veletableret proces, og der er ingen problemer med forsyningsikkerheden. I korte perioder, hvor tørreanlægget ikke er i drift, haves en kontrakt for at afsætte ikke tørret slam.</p> <p>Jo renere slammet (metaller, organiske miljøfremmede stoffer) er, jo lettere er det at afsætte produktet.</p>
(Potentielle) markeder i Danmark for produktet	Vurderes til at være et bedre afsætteligt produkt, da brugeren kan aftage og udbringe det, når det passer brugeren. Det kan få en

	<p>større udbredelse. Aalborgs renseanlæg tørrer og sender granulat videre til genanvendelse i industrien – p.t. Aalborg Portland.</p>
(Potentielle) markeder i Danmark for teknologien	<p>Roskilde Renseanlæg er det eneste, som pelleterer. Randers Renseanlæg tørrer og forbrænder eller efterkomposterer og udbringer herefter på landbrugsjord. Ålborgs renseanlæg tørrer og sender videre til forbrænding. Man skal nok op i en vis størrelse, ca. 50 000 PE og opefter, før det er økonomisk rimeligt at etablere teknologien.</p>
(Potentielle) markeder i udlandet for produktet	<p>I Schweiz og Sydtykland findes flere slamtørringsanlæg, der afsætter granulat til cementindustrien. Anlæggene er ikke Krüger-anlæg, men anlæg fra Andritz i Tyskland. Disse anlæg er tilsvarende anlægget i Aalborg.</p>
(Potentielle) markeder i udlandet for teknologien	<p>Tørringsanlæg i Polen og Finland Krüger projekterer og bygger tørringsanlæg Ved ikke nok til at kunne vurdere det nærmere.</p>
Teknologistatus	Etableret teknologi
Udnyttelsesgraden af fosfor	<p>Fosformængden indeholdt i slammet går ikke tabt i processen. Det er ikke nødvendigvis 100 % af fosforen i spildevandsslam, som jorden og afgrøderne kan udnytte som gødning, bl.a. fordi der kan ske et tab af fosfor som resultat af udvaskning via regnvand.</p>
Økonomi/ Evt. priseksempler	<p>Rensningsanlæg har driftsudgiften og afsætter tørrede slampellets til entreprenør, som står for videresalg. Der findes dog alternative metoder som f.eks. Aalborg forsyning, der udbyder både afhentningen og slutdisponeringen. Aalborg Forsyning har gennemført flere EU-udbud gennem årene, siden slamtørringsanlægget blev idriftsat i 2000. Efter nu 3. udbud er kontrakt indgået med Aalborg Portland.</p>
Tillid til produktet - fra aftagernes synspunkt (planteavlere) - fra andre interessenters synspunkt (f.eks. forbrugerne)	<p>Aftagerne (planteavlere og skovbrugere) har tillid til produktet. Landbruget har lav tillid/forbehold til slamproduktet. Der er visse brancher og virksomheder, der har en mere restriktiv tilgang til udnyttelsen af slam, hvilket kan opleves som en barriere (DanishAgro, 2012).</p>
Produktkarakteristika - Flydende/ fast/ vådt (tørstofindhold) - stabiliseret, hygiejniseret - indhold af tungmetaller/ miljøfremmede stoffer	<ul style="list-style-type: none"> • Faste tørre pellets (ca. 90 % TS) (se billedet nedenfor) eller slamgranulat i form af lange indtørrede tråde i ca. 5 mm tykkelse • Tørret porøst slam • Er hygiejniseret og stabiliseret (20 min. ved 180 grader, 1 time ved 100 grader) • Indholdet af tungmetaller og miljøfremmede stoffer er uændret i forhold til input (dvs. vådt slam) • Ammoniak kan afdampe under tørring.  <p><i>Billede af slampellets</i></p>

	<ul style="list-style-type: none"> Hos Aalborg Forsyning produceres granulat med 90-95 % tørstof, diameter 2-5 mm og med en opholdstid i fluidbed på 2 timer ved 90°C. Tørringen foregår i et lukket system, og den tørrede luft/vanddamp kondenseres og føres til rensning i renseanlægget.
--	---

Tabel 6.6 Markedsoverblik – mineraliseret slam

	Mineraliseret slam
Netværk - danske og evt. udenlandske aktører	Igennem et langvarigt samarbejde med internationale samarbejdspartnere og universiteter i Danmark og Europa er metoden optimeret og udviklet i DK gennem 25 år. Udviklingen har haft fokus på drift, tømning, nye anlæg samt forskning.
Incitament/ drivers	Økonomi, miljø, arbejdsmiljø, genanvendelse af næringsstoffer. Mineraliseret slam med et tørstof indhold på op til 20-40 % TS afhængigt af slamkvalitet, dimensionering og drift. Rejektvand med lavt indhold af SS, N og P (lav intern belastning).
Barrierer	Det kræver et stort areal, og der kan være modstand mod etablering af anlæg, hvor slam lagres en del år frem og således ikke afsættes med det samme. Danmark – Markante aktører på markedet har fravalgt metoden formentligt p.g.a. erfaringer med anlæg, som har fungeret dårligt. Jf. slambekendtgørelsen er der anvendelsesrestriktioner for arealer, hvor der har været anvendt spildevandsslam.
Forsyningsikkerhed	Normal dimensionering til 10 års kapacitet inden tømning. Risikoen er, at den store slammængde, der skal afsættes på én gang, ikke overholder krav til jordbrug, samt at der frem til tømningsåret kan være sket lovgivningsmæssige ændringer, som har betydning for afsætningen.
(Potentielle) markeder i Danmark for produktet	Ca. 110 anlæg i Danmark. Metoden er igen blevet interessant for flere spildevandsforsyninger, som har fået ekstra fokus på økonomi og miljøhensyn.
(Potentielle) markeder i Danmark for teknologien	Interesse for teknologien til afvanding af andre slamtyper end spildevand (dambrug etc.). Der køres p.t. test.
(Potentielle) markeder i udlandet for produktet	Mange anlæg i hele Europa, USA og Skandinavien. Stor interesse for flere anlæg også i Asien.
(Potentielle) markeder i udlandet for teknologien	Stor interesse for teknologien i udlandet til afvanding af andre slamtyper end spildevand.
Teknologistatus	Velafprøvet teknologi. Ca. 25 års erfaring med teknologien. 3. generationsanlæg. Generelt har der været varierende bassinantal og filtertyper og arealbelastning. Driftsperioder mellem 8- 20 år før tømning. 1990-1995-2000: Max. 30-60 kg tørstof/m ² /år (aktivt slam). 2010-?: Max. 20-40 kg organisk stof/m ² /år (aktivt slam). Afhængig af slamkvalitet, herunder fedt/olie, afvandingsegenskaber. Min 8-10 bassiner og optimalt filter.
Udnyttelsesgraden af fosfor	Fosforindholdet i slamresten kan ved tømning tilføres landbrugs-

	jord som plantenæringsstof. Fosforindholdet i slutproduktet ligger oftest på ca. 30-50 g/kg TS. Udnyttelsesgraden er som andre slamtyper.
Økonomi/ Evt. priseksempler	Billig løsning inkl. anlægsomkostninger til afvanding af slam. Lave driftsomkostninger. Kun en slam- og rejektvandpumpe. Grøn vedligeholdelse omkring bassiner og installationer. Krav til arealstørrelse.
Tillid til produktet - fra aftagernes synspunkt (planteavlere) - fra andre interessenters synspunkt (f.eks. forbrugerne)	Generel tillid til produktet fra andre interessenter.
Produktkarakteristika - Flydende/ fast/ vådt (tørstof-indhold) - stabiliseret, hygiejniseret - indhold af tungmetaller/ miljøfremmede stoffer	Fast - oftest op til 20-40 % tørstof alt afhængigt af drift, anlæg og slamkvalitet efter slutbehandling. Minder til en vis grad om kompost og lugter ikke. Normalt stabiliseret allerede inden langtidsbehandling i anlægene. Effektiv omsætning af organisk stof, herunder miljøfremmede stoffer, under mineraliseringsprocessen. Effektiv reduktion af patogene mikroorganismer og god smitstofreduktion.

Tabel 6.7 Markedsøverblik – komposteret slam

	Komposteret slam
Netværk - danske og evt. udenlandske aktører	<p>Spildevandsslam leveres direkte fra renseanlæg, hvor det produceres, til komposteringsanlæg. Komposteringsanlægget fungerer ligeledes som buffer i modtagelsen, da leverancer fra renseanlæg kan variere med op til 30 % hen over året. Det komposterede spildevandsslam ligger derefter på lager, indtil det afsættes til direkte brug på marken.</p> <p>Aktører på det danske marked er enten kommunale affaldsselskaber eller private firmaer, som driver behandlingsanlæg. I Danmark er der ca. 8 behandlingsanlæg i alt.</p> <p>Et komposteringsanlæg kræver ca. 1 m² areal pr. ton, der modtages. Større anlæg kan med fordel kompostere i lukkede haller for at minimere lugtgener og håndtere emissioner. Overfladevand skal opsamles og ledes til renseanlæg.</p> <p>Producenter af både A og B-Slam afsætter slammet til anlæg, der kompostere slammet sammen med andet organisk materiale. Det komposterede materiale køres til landmand, der spreder det på markerne som organisk gødning.</p> <p>Aktører: Producenter af A og B-slam, komposteringsanlæg, transportør, landmand samt maskinstation (til udspredning).</p>
Incitament/ drivers	<p>Under kompostering nedbrydes patogener, ukrudtsfrø og langt de fleste miljøfremmede stoffer. Kompostering er en anerkendt metode til oparbejdning af B-slam til et genanvendeligt produkt. De plantenæringsstoffer, der er i input-materialet, forsvinder ikke væsentligt ved kompostering og er således anvendelig som organisk gødning.</p> <p>Landmanden får gratis gødning i form af komposteret spildevandsslam, da omkostning til levering og i visse tilfælde spredning bliver dækket. Ved at tilfører komposteret spildevandsslam tilføres jorden udover NPK også kulstof og mikroorganismer,</p>

	<p>som holder liv i jorden. Slam er analyseret og overholder grænseværdierne, dermed har man et større produktkendskab end til f.eks. gylle.</p> <p>Komposteret spildevandsslam lugter ikke i modsætning til ubehandlet slam, og det er nemt at håndtere.</p>
Barrierer	<p>En barriere for komposteret spildevandsslam er de forskellige grænseværdier for tungmetaller og miljøfremmede stoffer, der er i EU. En anden barriere er, at komposteret slam bliver sidestillet med ubehandlet slam i Slambekendtgørelsen, hvilket begrænser anvendelsesmulighederne for et oparbejdet produkt. Bl.a. må komposteret spildevandsslam ikke ligge i markstak eller bruges på f.eks. majs. Jf. slambekendtgørelsen er der anvendelsesrestriktioner for arealer, hvor der har været anvendt spildevandsslam.</p> <p>Der er visse brancher og virksomheder, der har en mere restriktiv tilgang til udnyttelsen af slam, hvilket kan opleves som en barriere (DanishAgro, 2012).</p> <p>Manglende kendskab hos forbrugeren om produktet.</p> <p>Forringet økonomisk værdi af jorden, hvis der er påført slam på den ene eller anden måde.</p> <p>Landmænd er bange for ændret lovgivning eller pludselige fund af uønskede stoffer i slam eller slamholdige produkter.</p>
Forsyningsikkerhed	<p>Et komposteringsanlæg giver stor forsyningsikkerhed, da anlægget kan modtage spildevandsslam i den varierende mængde, det produceres i.</p> <p>Kompostering giver ligeledes mulighed for altid at kunne sikre et genbrug af slammet, uanset om det måtte blive forurenet med metaller til enten B eller C slam.</p> <p>Komposteret C slam afsættes typisk som daglig afdækning på deponier, hvor det fortrænger brugen af jomfruelig muldjord. Det er dog sjældent, at der i Danmark produceres C-slam. Så længe der konstant er en vis mængde B-slam, der skal komposteres, vil der være komposteringsanlæg, som kan gøre det. En faldende mængde vil betyde færre anlæg og dermed større vanskeligheder ved at afsætte B-slammet til genanvendelse.</p>
(Potentielle) markeder i Danmark for produktet	<p>Der eksisterer i dag et marked for komposteret slam.</p> <p>Alt slam, der komposteres i Danmark, afsættes til både landbrug og skovbrug. Efterspørgslen på kompost er større end produktionen.</p>
(Potentielle) markeder i Danmark for teknologien	<p>Der findes i dag 8 anlæg i Danmark (hvoraf de tre er forholdsvis store), der alle behandler slam fra flere forskellige renseanlæg. Det er dog ikke alle der udnytter deres kapacitet optimalt.</p>
(Potentielle) markeder i udlandet for produktet	<p>Kompost er et produkt, der traditionelt ikke transporteres over store afstande, da den lokale efterspørgsel altid er stor. Det er svært at vurdere det potentielle marked i udlandet, men på nuværende tidspunkt er eksporten af komposteret slam lille, hvis den overhovedet er eksisterende.</p> <p>Lande som Polen og Baltikum har stor mangel på både fosfor og kulstof i deres landbrugsjord, hvilket giver mulighed for en meget stor eksport. Eksporten er dog ikke eksisterende, da al kompost med lethed afsættes i Danmark.</p>
(Potentielle) markeder i udlandet for teknologien	<p>I Europa og det mest af verden er kompostering af organiske restprodukter en stor industri, men der er ikke overblik over</p>

	antallet af anlæg og type. For mere information henvises til www.compostnetwork.info
Teknologistatus	Der er tale om en etableret og veldokumenteret teknologi, som er mere udbredt i store dele af verden end i Danmark.
Udnyttelsesgraden af fosfor	Den fosformængde, der er indeholdt i slammet, går ikke tabt i processen. Det er ikke nødvendigvis 100 % af fosforen i spildevandsslam, som jorden og afgrøderne kan udnytte som gødning, bl.a. fordi der kan ske et tab af fosfor som resultat af udvaskning via regnvand.
Økonomi/ Evt. priseksempler	Salgsprisen på komposteret spildevandsslam er i Danmark neutral. Investering i et anlæg er afhængig af flere faktor, type af anlæg der bygges, årsmængde, afstand til naboer mv. Behandlingsprisen i Danmark varierer fra 375 – 575 kr. pr. ton.
Tillid til produktet - fra aftagernes synspunkt (planteavlere) - fra andre interessenters synspunkt (f.eks. forbrugerne)	Der er stor tillid til produktet komposteret slam fra planteavlere. Hvorvidt forbrugerne har kendskab til komposteret spildevandsslam, og hvorledes egenskaberne adskiller sig fra ubehandlet slam, vides ikke.
Produktkarakteristika - Flydende/ fast/ vådt (tørstofindhold) - stabiliseret, hygiejniseret - indhold af tungmetaller/ miljøfremmede stoffer	Komposteret slam er som en god jord med et højt organisk tørstofindhold. Den er lagerstabil, lugter behageligt og giver en sikker og jævn gødningshåndtering. Indholdet af metaller er det samme som de inputmaterialer, der indgår i produktet, mens indholdet af patogener, ukrudt og miljøfremmede stoffer reduceres væsentlig i komposteringsprocessen.

6.1.1 Landsforsøg med gødningsværdien af stabiliseret slam

Slamprodukterne skal have en værdi for jordbrugsanvendelse, og her er både kvælstof og især fosforen af værdi. Udnyttelsesgraden af fosfor i stabiliseret slam er stort set ens for de forskellige typer stabiliseret slam, idet den fosfor, som findes i inputslammet, ikke reduceres/omsættes i stabiliseringsprocessen. Dog kan der være forskel i produkternes gødningsværdi. Siden 1919 har Videncenteret for Landbrug i Danmark udført en lang række landsforsøg hvert år. Forsøgene anlægges oftest i forskellige landmænds marker for at sikre, at afprøvningen af sorter og midler er tæt knyttet til den praktiske jordbrug. Forsøgene udføres systematisk og i stort antal. F.eks. blev der i 1992-2001 udført over 20.000 forsøg.

Her resumeres resultaterne af omfattende forsøgsdata angående gødningsværdien af slam fra spildevandsforsyninger, der er stabiliseret på forskellig vis. Alle informationer er at finde i "Oversigt over Landsforsøgene", som udgives i bogform hvert år, og som også kan findes som pdf-filer på nettet (LandbrugsInfo, 2011). Alle data skal ses i den kontekst og den periode, de er skabt i.

Langtidsvirkning af gødning med spildevandsslam i 1991-1999

En mangeårig forsøgsserie har undersøgt fosfor- og kvælstofvirkningen af slam over flere år. Der er udbragt 200-300 kg totalkvælstof pr. ha og 100-250 kg totalfosfor ved forsøgets anlæg. Kvælstofvirkningen er størst det år, hvor slammet udbringes. Værditallet har været ca. 30 i forårsudbragt slam (et værdital på 30 fortæller, at for hver 100 kg total-N/ha i et gødningsmiddel opnås samme udbytteeffekt, som hvis der var tilført 30 kg N/ha i handelsgødning). Der kan regnes med en 1. års eftervirkning på ca. 15 %. Dertil kan lægges en mindre eftervirkning de efterfølgende år. Eftervirkningen af slamtilførsel er betydelig gennem flere år og resulterer i et højere udbytte og et højere indhold af råprotein i vårbyg og vinterhvede. Derimod kan man først forvente målelige udslag for tilførsel af fosfor efter nogle år, fordi jordens indhold af fosfor i udgangspunktet har været høj.

Gødningsværdien af kalkbehandlet slam

I forsøgene afprøves et PK-slamprodukt, der er fremstillet af kalkstabiliseret, hygiejniseret og kali-umberiget husspildevandsslam. Produktet er forsøgsmæssigt fremstillet af bl.a. Faxe Kalk og DLG. Det er tørret og granuleret, så det er kommercielt spredbart, og indeholder 1 % P og 4,4 % K i tørstoffet. Værdien af fosforindholdet i slammet er afprøvet over for stigende mængder fosfor i handelsgødning. Der er på alle 4 forsøgsarealer fremkommet sikre og ret store merudbytter for tilførsel af fosfor. Den bedste virkning er opnået med fosfor i handelsgødning, idet værdien af slamfosfor har ligget 15-20 % lavere. Slamfosfor er fundet fuldt så tilgængeligt som fosfor i andre organiske gødningsmidler, som f.eks. husdyrgødning. Samtidig anvendelse af jordbrugskalk og superfosfat har givet en 20 % reduktion i fosforvirkningen. Forskellen er ikke sikker, men dog formentlig udtryk for, at kombinationen ikke er heldig.

Gødningsværdien af komposteret slam i blanding

Milekomposteret slam består af en blanding af ca. 55 % spildevandsslam, ca. 30 % have- og parkaf-fald, ca. 10 % sigterester fra de tidligere kompostproduktioner samt ca. 5 % halm. Produktet afsættes til landbruget som jordforbedringsmiddel. Forsøgsresultater fra 2000-2002 viste følgende: Værditallet for efterårsudbragt kompost har været mellem 0 og 13, og værditallet for forårsudbragt kompost har været 1 – 34 (et værdital på f.eks. 34 fortæller, at fra 100 kg total-N/ha i kompost opnås samme udbytteeffekt, som hvis der var tilført 34 kg N/ha i handelsgødning.). Værditallet for 1. års eftervirkningen af kompost er 0-5. Til sammenligning var værditallet for efterårsudbragt, tørret spildevandsslam 66-68, og værditallet for forårsudbragt tørret spildevandsslam var 33-60. Der blev ikke målt direkte på fosforvirkningen, men fosforindholdet har haft indflydelse på udnyttelsen af kvælstoffet.

Videncentret for Landbrug opsummerer landmændenes overordnede behov ved aftagning af fosforprodukter fra spildevand- og –slam således:

- Indholdet af uønskede miljøfremmede stoffer og tungmetaller skal være veldefineret og leve op til grænseværdierne i slam- eller gødningsbekendtgørelsen
- Gødningsværdien af produkterne skal være veldefineret
- Produkterne skal være lagerstabile og spredbare.

6.1.2 Prissætning af slamgenanvendelse på landbrugsjord

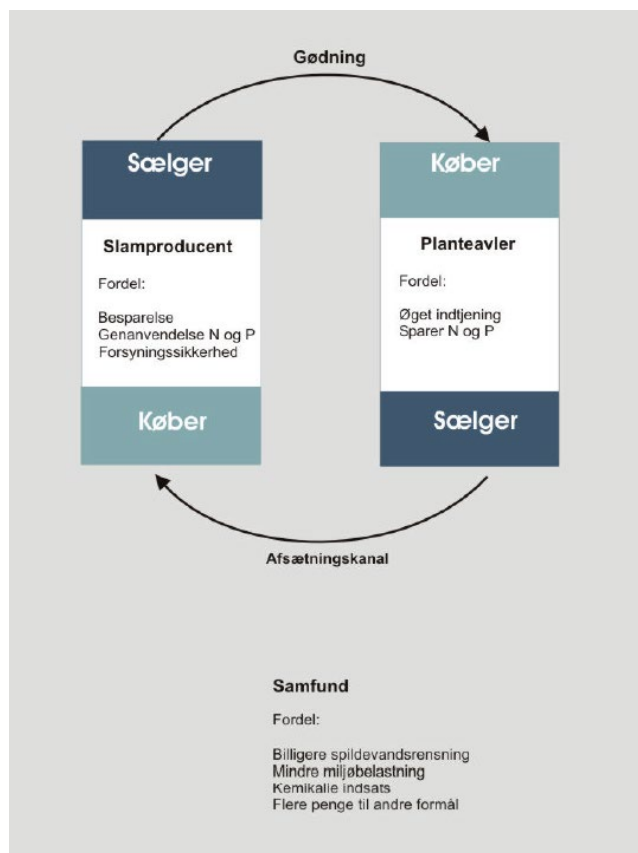
Priserne i 2011 for afsætning af spildevandsslam varierer betydeligt og ligger hovedsageligt i et interval fra omkring 150 til 750 kr. per ton afvandet slam, hvor den direkte genanvendelse som gødning har den laveste pris, og forbrænding og deponering af aske ligger i den høje ende af intervallet.

Varers priser fastsættes af udbud og efterspørgsel. Prisen for afsætningen af slam vil variere efter markedsbetingelserne. Der er ved genanvendelse ikke alene tale om pris for gødningen, men også en pris for forsyningssikkerhed ved at have flere afsætningsveje, hvis en teknologi svigter, eller der opstår nye holdninger til slamgenanvendelse (se Figur 6.1). Planteavleren giver således forsyningssikkerhed, idet vedkommende muliggør afsætningen/anvendelsen af slam.

De danske slamformidlere mærker en stigende interesse for at modtage spildevandsslam og vurderer, at dette primært skyldes de stigende priser på handelsgødning, hvor specielt fosfor inden for de seneste år er steget meget i pris.

Den stigende efterspørgsel efter slam har medført, at der siden 2009 er betalt færre penge til de landmænd, som modtager spildevandsslam. Dette har muliggjort en væsentligt lavere håndteringspris for spildevandsforsyningerne. Konkurrencen blandt slamformidlerne er yderligere et element, der bidrager til, at prisen for genanvendelse af slam er forholdsvis lav. Der er en stigende tillid i

landbruget til restprodukterne pga. de skrappe danske krav samt en efterhånden årelang erfaring for, at de virker godt.



Figur 6.1 Figuren viser at der både er et salg af gødning og en afsætningskanal, når slam-fosfor genanvendes som gødning hos en planteavler. Samfundet får samtidig fordele af en effektiv ordning (fra Andreasen, 2004)

6.2 Fosforprodukter fra rejeftvand, slam, aske, biochar

Slamstabiliserings-teknologierne er veldokumenterede og udbredte. Der er nye teknologier på vej, som ikke er veldokumenterede i Danmark, og som omfatter genvinding af fosforprodukter fra rejeftvand, genvinding af fosforprodukter fra slam, aske og biochar samt anvendelsen af fosfatselektive proteiner til genvinding af fosfor.

I Tabel 6.8 til Tabel 6.10 på de efterfølgende sider gives et overblik over markedssituationen for:

- Fosforprodukter fra rejeftvand
 - MAP – Magnesiumammoniumfosfat (struvit)
 - HAP - Hydroxylapatit
- Fosforprodukter fra genanvendelse fra slam, aske og biochar.

Struvit (MAP) er et velegnet gødningsprodukt til afgrøder med behov for langsom frigivelse af fosfor og kvælstof. Struvit må i gødningsammenhæng ikke forveksles med mono-ammonium-phosphate, der ikke har samme gødningsmæssige værdi som struvit. Monoammoniumfosfat er mere letopløseligt end struvit, og derfor er der større mulighed for hurtigt optag og fare for tab af P til afstrømning. Desuden er der intet magnesium i dette produkt.

Frigivelsen af fosfor og kvælstof fra struvit er forholdsvis ensartet, og varigheden af frigivelsen afhænger af struvit granulernes størrelse og form. Jo større granuler, des længere frigivelsesperiode.

Typisk varierer kvælstof- og fosforfrigivelsen på 6-9 måneder; dog vil dette afhænge meget af, om der er tale om store eller små struvitgranuler.

Struvittens NPK værdi ligger på 5:28:0 + 10 % Mg. Der kan kompenseres for struvittens manglende indhold af kalium ved at bruge struvitten som additiv i et eksisterende gødningsprodukt eller ved at tilsætte kalium til struvitten.

HAP (hydroxylapatit) er ligeledes et velegnet fosforgødningsprodukt til afgrøder med behov for langsom frigivelse af fosfor. Udfældningen af fosfor sker på rejktvandet fra afvanding af anaerobt behandlet bioslam med biologisk fosforfjernelse og på delstrøm på anlæg med biologisk fosforfjernelse, hvor vandfasen efter frigivelse af fosfor udsættes for fældning. HAP indeholder ikke kvælstof eller kalium, hvilket nødvendigvis må tilsættes. På grund af basiske egenskaber skal der tages hensyn til jordens pH værdi.

Tabel 6.8 Markedsoverblik – anvendelse af fosfor fra rejktvand i form af struvit

	Struvit
Netværk - danske og evt. udenlandske aktører	Anlæg til struvitudfældning sælges af flere danske virksomheder. Ingen af anlæggene er udviklet i Danmark.
Incitament/ drivers	Økonomiske driftsbesparelser (salg af fosforprodukt, reduktion af forbrug på fældningskemikalier, reduktion af kemisk slamproduktion, reduktion af ukontrolleret struvitudfældninger på renseanlægget). Tilstopning af rørsystemer er ofte den første årsag til at interessere sig for processen. Giver spildevandsforsyningen en grøn profil med bæredygtig fosforfjernelse, der kan bruges som markedsføring.
Barrierer	Høje anlægsinvesteringer. Grønne afgifter på fosfor i det rensede spildevand medfører, at det er billigere ikke at køre med 100 % BIO-P proces på renseanlægget, hvorfor det fulde potentiale af processen ikke kan udnyttes. Kemisk støttefældning til BIO-P processen med jern eller aluminium foretrækkes for at opretholde en meget lav og stabil fosforkoncentration. Spildevandsforsyning/virkomhed skal mange gange selv stå for en ressourcekrævende distribution, salg og kvalitetskontrol af produktet. Her kan slamformidlere på sigt hjælpe med afsætningen.
Forsyningsikkerhed	En 100 % biologisk fjernelse af fosfor fra spildevandet vil øge risikoen for kortvarige men massive udslip af fosfor til recipienten. Skal imødekommes med avanceret online styringsregulering baseret på onlinemålere og intelligent software. Spildevandsforsyningen skal med de fleste produkter påtage sig ansvaret for, at den producerede struvit ikke medfører en sundhedsmæssig risiko ved anvendelse som gødningsprodukt. Skal imødekommes med en løbende kontrol af produktet.
(Potentielle) markeder i Danmark for produktet	Tillid til produktet afhænger i høj grad af, om der er tale om affald eller et produkt, der er klassificeret som ikke-affald. Såfremt der ikke længere er tale om affald, men om et produkt, som f.eks. gødning, vil det ikke være omfattet affaldsreglerne, men af de produktregler, der gælder for gødning. Dette vil have betydning for pris, anvendelighed og håndtering af produktet. Den producerede MAP kan sælges som P gødning til alle afgrøder, der har behov for langsom frigivelse af fosfat.
(Potentielle) markeder i Danmark for teknologien	Renseanlæg (kommunale og industrielle) med en forureningsbelastning på mere end ca. 60.000 PE, og hvor en større del af fosfor-

	fjernelsen foretages biologisk med BIO-P processen, samt hvor det sekundære slam behandles anaerobt i en rådnetank.
(Potentielle) markeder i udlandet for produktet	Der findes et stort potentielt marked for struvitudfældning i udlandet. Alle renseanlæg med en forureningsbelastning på mere end 75.000 PE med anaerob slambehandling af sekundært slam i rådnetanke kan få etableret struvitudfældning.
(Potentielle) markeder i udlandet for teknologien	Struvitudfældning er etableret på en række renseanlæg i bl.a. USA, England, Tyskland, Belgien og Holland. Mange er dog etableret som fuldskala pilotanlæg.
Teknologistatus	Der er tale om en verificeret teknologi.
Udnyttelsesgraden af fosfor	20-30 % af fosfor i spildevandet.
Økonomi/ Evt. priseksempler	Produktet kan afhængigt af kvalitet sælges for 300-3.000 (kr./ton). Hvis produktet er 100 % rent, kan det sælges med fortjeneste. Eksempelvis vil en løsning fra Ostara medføre, at renseanlægget betales f.eks. 2.000 DKK kr. pr. ton struvit (baseret på nuværende pris på råfosfat), der produceres med Ostara's PEARL enhed. Ostara står i den forbindelse for al distribution af produktet, idet virksomheden sørger for de nødvendige kvalitetsgodkendelser for produktet samt tager fuldt ansvar for produktkvalitet i forhold til slutbruger. Herudover leveres alt nødvendigt MgCl til produktion af struvitten gratis til renseanlægget. Et anlæg til ca. 60.000-100.000 PE koster ca. 5 mio. kr. at etablere. Driftsudgifterne til el og kemikalier (MgCl ₂ og NaOH) kan med den rette installation blive væsentlig lavere end driftsbesparelserne. Tilbagebetalingstider findes helt ned til 5 år, men kan være langt højere.
Tillid til produktet - fra aftagernes synspunkt (planteavlere) - fra andre interessenters synspunkt (f.eks. forbrugere)	Tillid til produktet afhænger i høj grad af, om der er tale om affald eller et produkt, der er klassificeret som ikke-affald. Såfremt der ikke længere er tale om affald, men om et produkt, som f.eks. gødning, vil det ikke være omfattet affaldsreglerne, men af de produktregler, der gælder for gødning.
Produktkarakteristika - Flydende/ fast/ vådt (tørstofindhold) - stabiliseret, hygiejniseret - indhold af tungmetaller/ miljøfremmede stoffer	Produktet består af hårde grå/hvide granuler, der kan have forskellige størrelser. Indhold af miljøfremmede stoffer og tungmetaller ligger under niveauet for grænseværdierne jf. Slambekendtgørelsen. Desuden ligger indholdet af tungmetaller under niveauet for tungmetalindhold i handelsgødning.

Table 6.9 Markedsøverblik – anvendelse af fosfor fra rejektivand i form af HAP - hydroxylapatit

	HAP
Netværk - danske og evt. udenlandske aktører	Anlæg til HAP udfældning sælges af flere udenlandske virksomheder.
Incitament/ drivers	Økonomiske driftsbesparelser (salg af fosforprodukt, reduktion af forbrug på fældningskemikalier; reduktion af kemisk slamproduktion, reduktion af ukontrolleret struvitudfældninger på renseanlægget). Giver spildevandsforsyningen en grøn profil med bæredygtig fosforfjernelse, der kan bruges som markedsføring.
Barrierer	Høje anlægsinvesteringer. Grønne afgifter på fosfor i det rensede spildevand medfører, at det er billigere ikke at køre med 100 %

	<p>BIO-P proces på renseanlægget, hvorfor ikke hele potentialet af processen kan udnyttes. Kemisk støttefældning til BIO-P processen med jern eller aluminium foretrækkes for at opretholde en meget lav og stabil fosforkoncentration.</p> <p>Spildevandsforsyning/virksomhed skal mange gange selv stå for en ressourcekrævende distribuering, salg og kvalitetskontrol af produktet.</p>
Forsyningsikkerhed	<p>En 100 % biologisk fjernelse af fosfor fra spildevandet vil øge risikoen for kortvarige men massive udslip af fosfor til recipienten. Skal imødekommes med avanceret online styringsregulering baseret på online målere og intelligent software.</p>
(Potentielle) markeder i Danmark for produktet	<p>Afhænger af, om HAP bliver klassificeret som affald eller som et produkt. Såfremt der ikke længere er tale om affald, men om et produkt, som f.eks. gødning, vil det ikke være omfattet af affaldsreglerne, men af de produktregler, der gælder for gødning Dette vil have betydning for pris, anvendelighed og håndtering af produktet. Den producerede HAP kan afsættes som P gødning til alle afgrøder, der har behov for langsom frigivelse af fosfat, og som ikke hæmmes af den alkaliske effekt.</p> <p>HAP kan videreforarbejdes til vandopløseligt fosfor ved tilsætning af syre, og bliver derved velegnet til afgrøder med hurtigt fosforoptag.</p>
(Potentielle) markeder i Danmark for teknologien	<p>Renseanlæg (kommunale og industrielle), hvor en større del af fosforfjernelsen foretages biologisk med BIO-P processen, og hvor det sekundære slam behandles anaerobt i en rådnetank.</p> <p>Der er ikke fundet materiale i litteraturen, der foreskriver en minimumskapacitet for et renseanlæg, hvis teknologien skal implementeres.</p> <p>Umiddelbart foretrækkes teknologier, der er baseret på MAP udfældning.</p>
(Potentielle) markeder i udlandet for produktet	<p>Produktet (HAP) eller en videreforarbejdning til vandopløseligt fosfor kan ved produktion i Danmark afsættes i hele verden, hvis det er klassificeret som ikke-affald.</p>
(Potentielle) markeder i udlandet for teknologien	<p>Anlæg til HAP udfældning er mindre udbredt end MAP (struvit) udfældning. Årsag kan være udgifter til kemikalier samt slutproduktets sammensætning.</p> <p>Rejektvand med højt indhold af calcium, f.eks. mejerispildevand, der ikke er velegnet til MAP udfældning, kan være et potentielt marked.</p>
Teknologistatus	Der er tale om en verificeret teknologi.
Udnyttelsesgraden af fosfor	20-30 % af fosfor i spildevandet.
Økonomi/ Evt. priseksempler	Ingen oplysninger.
Tillid til produktet - fra aftagernes synspunkt (planteavlere) - fra andre interessenters synspunkt (f.eks. forbrugere)	Tillid til produktet afhænger i høj grad af, om der er tale om affald eller et produkt, der er klassificeret som ikke-affald.
Produktkarakteristika - Flydende/ fast/ vådt (tørstofindhold) - stabiliseret, hygiejniseret	Ingen oplysninger.

- indhold af tungmetaller/ miljøfremmede stoffer	
---	--

Tabel 6.10 Markedsoverblik - fosforprodukter fra genanvendelse fra slam, aske og biochar

	Fosforprodukter fra genanvendelse fra slam, aske og biochar
Netværk - danske og evt. udenlandske aktører	Der er ikke kendskab til anlæg, der udvinder fosfor fra slam, aske eller biochar i Danmark, men der er begyndt at komme anlæg i udlandet. De udenlandske anlæg anvender primært fosfor til gødningsbrug. I Danmark har Kommunekemi planer om et anlæg til genanvendelse af fosfor til enten gødning eller industri, med driftsstart i 2015.
Incitament/ drivers	Ønsket om at udvikle en teknologi til udvinding af fosfor fra slam, aske og biochar drives primært af to faktorer – ønsket om en forretning ved genanvendelse eller salg af know-how samt ønsket om en grøn profil.
Barrierer	<p>Det kan være svært at starte eller opbygge en genanvendelsesteknologi, da udgifterne oftest er større end indtjeningen.</p> <p>Derudover er der store barrierer for overhovedet at få lov til at anvende dansk slam. Som eksempel kan nævnes:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Når slam udspredes på markerne i dag, er det ikke pålagt afgift. Men når slam forbrændes og omdannes til ren energi, er det pålagt afgift, hvis energien anvendes til el og varme. – Affaldshierarkiet er opbygget således, at affald til genanvendelse eller nyttiggørelse er bedre end forbrænding, og hvis dette er muligt, må man ikke vælge en teknologisk dårligere løsning. – Konkurrencestyrelsen har fastlagt et prisloft for spildevandsforsyningerne, som skal sikre, at forbrugerne har lave udgifter til vandrensning. Dette forhindrer desværre spildevandsforsyningerne i at vælge en teknologisk bedre løsning (genanvendelse) frem for alternative løsninger – da de nye teknologiske løsninger oftest er væsentlig dyrere end de eksisterende.
Potentielle markeder for produktet og teknologien i Danmark og udlandet	<p>Markedet for genanvendelse af fosfor er stort - både inden for gødning, foder og industri. Producenter og forbrugere er specielt interesseret i den grønne profil, der følger med anvendelse og brug af fosfor, som genanvendes eller udvindes. De fleste producenter er udenlandske, mens der er både danske og udenlandske distributører. Anvendelsesmulighederne for fosforprodukterne afhænger af produktets kvalitet.</p> <p>Dansk udviklede teknologier til udvinding af fosfor fra slam har ekstremt stor interesse både i Danmark og i udlandet, og der vil derfor udgøre store muligheder for eksport af know-how.</p>
Økonomi/ Evt. priseksempler	Økonomi er meget afhængig af teknologien og produktkvaliteten, og det er derfor ikke muligt at opstille et direkte økonomisk eksempel. I stedet henvises til efterfølgende afsnit, hvor der er givet prisvurderinger.

6.2.1 Kvaliteten af fosforprodukter

I kapitel 5.1 og 5.2 er nye teknologier til genanvendelse af fosfor fra rejevtvand, slam, aske og biochar beskrevet. Teknologierne er, så vidt det vides, udviklet til at genanvende fosfor fra rejevtvand, slam og aske, men kan uden de store ændringer også anvendes på biochar. Anvendelse af biochar frem for aske vil formentligt give nogle ændringer, da en biochar indeholder mere kulstof og mindre fosfor end en aske. Ændringerne vil som oftest være en lidt dårligere procesøkonomi, øget mængde restprodukt og/eller mindre fosfor i produktet.

I Tabel 6.11 ses en samlet oversigt over de i kapitel 5.1 og 5.2 beskrevne fosforprodukter. Ud over produktets betegnelse/navn, er produkternes renhed og plantetilgængelighed beskrevet. I de tilfælde, hvor produktets plantetilgængelighed ikke er oplyst, er der taget udgangspunkt i kendte opløselighedsdata. Som det fremgår af tabellen, er der utroligt stor forskel på de forskellige produkter – både hvad angår renhed og plantetilgængelighed.

Tabel 6.11 Samlet oversigt over de i kapitel 5.1 og 5.2 beskrevne fosforprodukter (vandopløseligt P og citratopløseligt P er udtryk for plantetilgængeligheden af fosfor)

Fosforprodukt	Renhed				Vandopløseligt P [%]	Citratopløseligt P [%]
	Tungmetaller	Metaller	Øvrige urenheder	Organiske stoffer		
PhosKraft®	Lavt	Alt ender i produktet	Alle ender i produktet	Ingen	25	70
Slagge med 1-3 % P som calciumfosfat	Acceptabelt	Alt ender i produktet	Alle ender i produktet	Ingen	Stor set uopløseligt	0-40
Jernfosfat	Acceptabelt	Lavt foruden jern	Lavt	Der kan forekomme rester	Stor set uopløseligt	Ingen data
Renset slam, der primært indeholder calciumfosfat	Væsentligt reduceret	Væsentligt reduceret	Alle ender i produktet	Der kan forekomme rester	Stor set uopløseligt	Ingen data
Aluminiumfosfat	Acceptabelt	Lavt foruden aluminium	Lavt	Ingen	Stor set uopløseligt	Ingen data
Calciumfosfat	Acceptabelt	Lavt	Lavt	Ingen	Stor set uopløseligt	0-40
Trinatriumfosfat	Lavt	Lavt	Lavt	Ingen	100	100
Ammoniumfosfat (ren)	Lavt	Lavt	Lavt	Ingen	92	94
Ammoniumfosfat	Acceptabelt	Væsentligt reduceret	Lavt	Ingen	49	94
NP-gødning (ren)	Lavt	Lavt	Lavt	Ingen	>89	95
NP-gødning	Acceptabelt	Væsentligt reduceret	Lavt	Ingen	89	95
H ₃ PO ₄	Ukendt	Lavt	Lavt	Ingen	100	100
CleanMAP™	Lavt	Lavt	Lavt	Ingen	90	95
Elektrolytisk H ₃ PO ₄	Lavt	Lavt	Lavt	Ingen	100	100

6.2.2 Anvendelsesmuligheder for fosforprodukter

Når der tales om anvendelse af fosforprodukter, er der i princippet 4 anvendelsesmuligheder:

- Gødning
- Foder
- Industri
- Fødevarer

I det efterfølgende beskrives gødning, foder og industri – da det er realistisk at anvende fosforprodukter i disse produkter. Anvendelsen i fødevarer beskrives ikke, da det ikke er realistisk, at fosfor fra spildevandsslam ender i fødevarer – både grundet kvalitetskrav til fosforproduktet, men også grundet psykologiske barrierer.

Fosforprodukter, der anvendes i gødning, har ikke samme kvalitetskrav for uønskede stoffer som fosforprodukter, der anvendes i foder og industri. Der er grænser for indhold af uønskede stoffer i foder (direktiv 32/2002¹⁰), og når det gælder fosforprodukter, der betegnes som et fodermiddel, kan man i listen over de fastsatte grænser finde en række maksimalindhold for f.eks. tungmetaller i fosfater.

6.2.2.1 Gødningsfosfor

Størstedelen af alt fosfor anvendes i gødningsindustrien, primært som:

- P gødning - TSP (trippelsuperfosfat- NPK 0-20-0) og SSP (superfosfat – NPK 0-9-0).
- NP gødning - MAP (monoammoniumfosfat – NPK 12-23-0), DAP (diammoniumfosfat – NPK 18-20-0) og andre NP typer, som f.eks. NPK 19-7-0.
- NPK gødning, som findes i rigtig mange afskygninger, men hvor den mest almindelige er NPK 21-3-10.

Til de konventionelle gødninger er der, ud over kvalitetskrav til uønskede stoffer, også et kvalitetskrav til gødningens indholdsgaranti, granulemetri, vandindhold og lagerfasthed.

Indholdsgaranti:	Krav til indhold af N og hvilke typer N Krav til indhold af P – samt vandopløseligt P Krav til indhold af K – samt vandopløseligt K Krav til indhold af S – samt vandopløseligt S
Granulemetri (kærnestørrelse):	Min. 95 % mellem 2-5 mm Max. 1 % under 1 mm Ingen over 7 mm
Vandindhold:	Max. 0,3 % - dette har naturligvis indflydelse på lagerfastheden.
Lagerfasthed:	Min. 9 måneders lagerfasthed ved opbevaring under ganske bestemte krav stillet af leverandøren.

I Tabel 6.12 ses det danske forbrug af handelsgødning.

¹⁰ Link: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002L0032:20120101:DA:PDF>

Tabel 6.12 Forbruget af handelsgødning i Danmark opgivet i 1000 tons (NaturErhvervstyrelsen, 2012)

	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011
Total mængde handelsgødning	899,6	907,8	1.008,9	815,2	827,8	868,3
Kvælstof (N)	191,8	194,6	220,4	200,3	190,0	197,0
Fosfor (P)	13,5	13,9	13,8	7,2	11,0	11,3
Kalium (K)	60,5	58,5	59,8	26,4	42,1	45,4

6.2.2.2 Foderfosfat

I foder anvendes 3 forskellige fosforprodukter:

MCP - Monodicalciumfosfat

DCP – Dicalciumfosfat

MDCP – Monodicalciumfosfat (blanding af monodicalciumfosfat og dicalciumfosfat).

I Danmark har alle foderstoffabrikker indgået en frivillig aftale med Danske Slagterier om, at der kun anvendes foderfosfat med højt fordøjelighed. Dette betyder, at alle foderstofproducenter samt alle mineral- og vitaminblandingsproducenter (Vitfoss og Vilumix) kun anvender MCP i foderstofproduktionen. MCP indeholder typisk 22,7 % P og 16-18 % Ca.

Som nævnt tidligere, har EU indført kvalitetsnormer, hvad angår uønskede stoffer i produkter, der anvendes til foder. Disse kvalitetsnormer fremgår af direktiv 2002/32/EF. I Tabel 6.13 ses grænseværdierne for de fosforholdige produkter til foder. Produkter med for højt indhold må ikke fortyndes med andre produkter og må ikke anvendes efterfølgende.

Tabel 6.13 Grænseværdier for det maksimale indhold af uønskede stoffer i fosfatprodukter til foderbrug (jf. bilag I til direktiv 2002/32/EF).

Uønskede stoffer	Maksimumsindhold i fosfater til foderbrug
Fluor (F)	Max 2000 mg/kg
Arsen (As)	Max 10 mg/kg
Cadmium (Cd)	Max 10 mg/kg
Bly (Pb)	Max 15 mg/kg
Kviksølv (Hg)	Max 0,1 mg/kg
Dioxin (WHO-PCDD/F-TEQ)	Max 1,0 ng/kg
Dioxin + dioxin lignende PCP-TEQ (WHO-PCDD/F-PCB-TEQ)	Max 1,5 ng/kg

De i Tabel 6.11 beskrevne produkter egner sig ikke umiddelbart til foder, da ingen af produkterne er MCP, DCP eller MDCP med den rigtige renhed. Der fremstilles to typer calciumfosfat. Den ene er en slagge med 1-3 % calciumfosfat, mens den anden er en uspecificeret calciumfosfat. Begge produkter har for højt indhold af urenheder til anvendelse i foder.

Der er dog nogle af produkterne, som kan anvendes til fremstilling af enten MCP, DCP eller MDCP, og det drejer sig om trinatriumfosfat og fosforsyre. Dog skal renheden af disse produkter være god, for at der kan fremstilles calciumfosfatprodukter, der overholder kravene til foder.

Jo renere et fosforprodukt er, jo højere fosforsalgspris kan opnås. Derfor vil fosforprisen for en ren fosforsyre eller ren trinatriumfosfat, som kan anvendes i foder, være høj sammenlignet med fosforprisen i gødning.

Urent calciumfosfat minder meget om rå-fosfat og har derfor en fosforpris på 5-8 kr. pr. kg P, hvorimod markedsprisen for MCP med foderkvalitet er på 15-20 kr. pr. kg P. Markedsprisen for trinatri-

umfosfat ligger på 40-65 kr. pr. kg P, mens markedsprisen for fosforsyre ligger på 20-25 kr. pr. kg P.

Da krisen satte ind i 2007-2008, steg fosforprisen på MCP til 40 kr. pr. kg P, hvorfor mange foderfabrikker skiftede MCP ud med 3 dobbelt phytase. Nu, hvor prisen på MCP er faldet igen, er foderstofproduktionen gået ned på enten normal tildeling eller næsten normal tildeling.

6.2.2.3 Industrifosfor

Industrien har fundet store anvendelse af fosfor, da fosfor har mange forskellige egenskaber - blandt andet kan en lille tilsætning af fosfor til maling give en god malingkonsistens. Ud over malingsindustrien anvendes fosfor blandt andet også i:

- Rengøringsmiddelindustrien (flydende rengøring, opvaskemaskinetabs)
- Mundhygiejneindustrien (tandpasta)
- Metaloverfladebehandlingsindustrien
- Keramikindustrien (farvepigmenter)
- Byggeindustrien (additiver til cement, beton og gips)
- Læderindustrien (produkter til forbedring af læderets kvalitet)
- Papirindustrien
- Plastikindustrien
- Olieindustrien.

I EU har man arbejdet på en revision af EU forordning nr. 648/2004, og med revisionen introduceres der en begrænsning i anvendelsen af fosfor/fosfater i rengøringsmidler ¹¹.

Dog er mange af de anvendte fosforprodukter i industrien små nicheprodukter, som fremstilles i meget små mængder sammenlignet med gødning (og foder). Til fremstilling af nicheprodukterne anvendes mange forskellige fosforprodukter, men fælles for alle disse er, at de ikke må indeholde urenheder i form af sand, kulstof mm. Generelt er kravet til renhed af fosforprodukter, der anvendes i industrien, højt og tæt på *food grade*, fordi urenheder f.eks. kan give u hensigtsmæssig farve i produkterne, hvilket er uønsket. Ud over krav til renhed skal produkterne være hvide og fuldstændig opløselige i vand. I Tabel 6.14 er listet nogle eksempler på fosforprodukter, der anvendes i industrien.

Tabel 6.14 Eksempler på fosforprodukter, der anvendes i industrien

Fosforprodukt	Indhold af fosfor	Kvalitet	Industri anvendelse
Fosforsyre	75-93 % H ₃ PO ₄	Food grade	Rengøring, metal
Trinatriumfosfat	40,5-43,5 % P ₂ O ₅	Food grade	Mundhygiejne, rengøring, metal
Aluminiumpolyfosfat	75 % P ₂ O ₅	Food grade	Bygning
Tetrakalium pyrofosfat	21,5-43,6 % P ₂ O ₅	Food grade	Mundhygiejne, rengøring, metal, bygning
Natriumpolyfosfat	64-70 % P ₂ O ₅	Food grade	Keramik, maling, bygning, læder

Der er kun nogle få af de i Tabel 6.14 nævnte fosforprodukter, der kan anvendes som industrifosfor – jernfosfat, aluminiumfosfat, trinatriumfosfat og ammoniumfosfat. Hvorvidt de enkelte produkter kan anvendes, afhænger af produkternes renhed. Selv om industrien i dag anvender food grade produkter, er det ikke nødvendigt, at genanvendelsesprodukterne overholder alle krav til food grade. Det er dog vigtigt, at genanvendelsesprodukterne ikke indeholder noget, der forhindrer, at produktet er fuldstændig opløseligt i vand samt misfarver.

¹¹ • Regulation (EU) No 259/2012 of the European Parliament and of the Council of 14 March 2012 amending the Regulation (EC) No 648/2004 as regards the use of phosphates and other phosphorus compounds in consumer laundry detergents and consumer automatic dishwasher detergents

Der er intet kendskab til produktpriserne, da priserne for industrifosfor er et lukket marked. Små nicheprodukter på et lukket prismarked har som oftest højere priser end store produktmængder på åbne prismarkeder. Prisen på industrifosfor vurderes derfor at ligge fra 25-35 kr. pr. kg P og opefter.

6.3 Diskussion

6.3.1 Markedet for anvendelse af slam

Der findes i Danmark teknologier, der sikrer en behandling af slammet, som giver brugerne den nødvendige kvalitet (let spredbart, høj gødningsværdi, overholder grænseværdier for tungemetaller og miljøfremmede stoffer). Hovedparten af slammet anvendes direkte på landbrugsjord uden ekstra behandling. De forskellige teknikker og produkter kan omsættes af slamformidlere og forsyningerne. Selvom det er forskellige grunde, der afgør, om en spildevandsforsyning vælger den ene frem for den anden teknologi (slamkvaliteten, forsyningens beliggenhed i tæt bebyggelse eller tæt ved landbrugsarealer, prisen etc.), er markedet for genanvendelse af slam som gødning på landbrugsjord velfungerende i 2012, og anvendelsesgraden af slam som gødning har været stigende.

Forsyningsselskaberne har øget anvendelsesgraden af fosfor/slam i forhold til Miljøstyrelsens mål medio i 00'erne. Årsagerne til denne øgning fra omkring 50-55 % til måske 77 % kan delvist forklares ud fra, at branchen har opnået forsyningssikkerhed og en professionel levering og håndtering af slamgødningen. Den positive udvikling skyldes sandsynligvis primært de stigende næringsstofpriser, hvor specielt fosfor inden for de seneste år er steget meget i pris. Dette har fået mange landmænd til at se sig om efter alternativer, og mange anser således spildevandsslam som løsningen på de stigende gødningspriser. Der er derfor mange nye modtagere af spildevandsslam, som har tillid til, at den faktabaserede lovgivning sikrer et egnet gødningsprodukt. Modtagerne ved således, at der stilles strenge krav til spildevandsslam. Efterhånden som flere og flere har gode erfaringer med spildevandsslam, ryktes det i erfa-grupper mv., hvorved der opstår en øget efterspørgsel. Spildevandsforsyningerne er ligeledes i en situation, hvor omkostningerne skal være lave, hvilket medvirker til, at slamgødning er blevet mere udbredt, da det er den billigste løsning.

Prissætning for alle produkter sker efter markedsprincipperne – udbud og efterspørgsel bestemmer prisen. Sådan som markedssituationen er i dag, har den direkte anvendelse af slam som gødning den laveste pris, sammenlignet med andre eksisterende og nye teknologier.

Der er forskellige holdninger i de forskellige dele af branchen omkring prissætning og afsætning af slam. Blandt andet blev det meget diskuteret, om man i branchen kunne anvende et mere positivt ord end "slam", der opfattes som noget negativt. I andre lande anvendes f.eks. ordet "biosolids". Tillid til produktet afhænger i høj grad af denne *branding* eller af, om der er tale om et affald eller et egentligt produkt. Såfremt der ikke længere er tale om affald, men om et produkt, som f.eks. gødning, vil det ikke være omfattet af affaldsreglerne, men af de produktregler, der gælder for gødning. Denne oparbejdning og omklassificering fra affald til produkt må forventes at have betydning for pris og afsætning. Dette vil være relevant for både markedet for anvendelse af slam samt markedet for nye teknologier/fosforprodukter (f.eks. struvit eller HAP). Se i øvrigt det næste afsnit.

Kvalitetskontrol af slamprodukterne samt den indsats, der bliver gjort for at sikre et sikkert slamprodukt, har medvirket til, at der er tillid til gødningen i landbruget. Der vil fortsat være behov for at undersøge slammets kvalitet og indholdsstoffernes skæbne, dels ved de forskellige behandlingsmetoder, dels ved evt. efterfølgende anvendelse som gødning. Derved sikres den faglige viden, som er grundlaget for drøftelser af, hvordan slammet bedst kan nyttiggøres.

Der vil være et udviklingsbehov i fortsat at udføre undersøgelser af slamkvalitet for at sikre den faglige viden og ståsted i drøftelser af slamgenanvendelse i sammenhæng med forbrændingsløsninger med og uden fosforanvendelse.

Fosfor og kvælstofudnyttelsen er i princippet kendt og giver den forventede gødningseffekt og besparelse i indkøb af gødning for planteavleren. Der vil fortsat være behov for at undersøge og forbedre udnyttelsen og for at kunne dokumentere denne.

Såfremt der er tale om type B slam med et lettere forhøjet indhold af organisk miljøfremmede stoffer, kan kompostering anvendes til at mindske indholdet og dermed overholde grænseværdierne for anvendelse på landbrugsjord. Såfremt der ønskes en yderligere reduktion af eventuelle smittestoffer, kan kalkbehandling eller termisk behandling anvendes.

Hvis interessen går imod mere grønne løsninger, kan slammineraliseringsanlæg være en mulighed.

Energiforbrug og –produktion er meget oppe i tiden, og der kan komme flere anlæg, som vil producere biogas på slammet, hvorved denne behandlingsform kan blive mere udbredt.

Det er ved gennemgangen af de forskellige slamprodukter og teknologier vurderet, at de danske styrker i en eksportsammenhæng mest går i retning af knowhow frem for produktion og eksport af maskiner til slambehandling. Tidligere havde Danmark en produktion af f.eks. centrifuger, men produktionen er købt op af et tysk firma og produceres ikke længere i Danmark.

Gødningsspredere til nøjagtig dosering og håndtering af gødning til landbrugsjord er en eksportmulighed. Danske agroindustrier har været gode til at sælge maskiner i udlandet, og afprøvningen og dokumentation af maskinerne i Danmark kan medvirke til at øge salget i udlandet.

Der er et udviklingsbehov i at kende fosfor- og kvælstofudnyttelsesgrader enten i form af danske gødningsforsøg eller i form af at være godt inde i litteraturen.

6.3.2 Markedet for nye teknologier

Rejektvand kan behandles i en separat strøm, og forholdsvis rene krystallinske produkter kan produceres i form af Struvit og MAP. Teknologierne har i udlandet fået udbredelse, hvor udfældninger stopper rørføringer m.m. og dermed øger driftsomkostningerne. Da biologisk fosforfjernelse samt energiproduktion fra anaerob behandling af slam kan blive mere udbredt, vil der være mulighed for, at disse teknologier følger med udbredelsen. Der sker afprøvning i Danmark med nye systemløsninger, men anlægsøkonomi og salgspris af produkter er måske afgørende for, at teknologien er realiserbar, og dette vil først kunne afklares om et par år.

Fosforprodukter fra rejeckt vand, slam, aske og biochar kan i stor udstrækning anvendes som gødning – enten direkte på lige fod med konventionel handelsgødning, som råmateriale til gødningsfremstilling eller som alternativ gødning. I Danmark forbruges årligt ca. 10.000 tons fosfor via handelsgødning, mens landbruget forbruger 40-45.000 tons fosfor som husdyrgødning (Danmarks statistik, 2011). Der er således mængdemæssigt grundlag for, at fosforen i spildevandet afsættes som erstatning for handelsgødning.

For at kunne konkurrere med konventionel handelsgødning skal produktet kunne overholde de kvalitetskrav, der stilles til f.eks. gødning (plantetilgængelighed, indholdsgaranti, renhed, lagerstabilitet og spredbarhed). Samtidig skal produktets pris afspejle markedsprisen for fosfor. For mange af de nye teknologier vil det dog ikke være muligt at sætte produktprisen så lavt, at den afspejler markedsprisen samtidig med, at anlægs- og procesudgifter dækkes. Det betyder, at mange af de eksisterende, nye teknologier ikke er kommercielt bæredygtige endnu, og først vil være det, når produktionsomkostningerne er sænket (betydeligt) og/eller markedsprisen for fosfor er steget (betydeligt). Et politisk krav om en høj fosforanvendelse kunne være et virkemiddel i markedet, der kan påvirke markedet i retning af sådan et krav.

Enkelte danske spildevandsforsyninger har etableret en forbrændingsløsning for deres spildevands-slam. Forbrændingsløsninger med genanvendelse af fosfor er meget interessant. Tidligere har forbrændingsløsninger være en god teknologi specielt til større byer, hvor genanvendelse ofte ikke er realistisk. Typisk bliver asken fra forbrændingsprocessen deponeret. Der findes således i dag depoter med aske/slagge fra slamforbrænding (f.eks. ved Lynetten), som potentielt kan behandles, så fosforen kan genanvendes. Asken fra sådanne depoter kan principielt indgå i behandlingsteknologierne, som er beskrevet i tidligere afsnit.

Det er tidligere set, at en teknologi kræver en række forudsætninger, før den kan realiseres. I forbindelse med genvinding af fosfor er prisen på fosfor ret afgørende for det rentable i en teknologi, idet salgsprisen indgår i den samlede økonomi. Såfremt salgsprisen på fosfor i de næste år ikke er tilstrækkeligt høj, kan det bevirke, at aske fra slamforbrændingsanlæg ikke vil blive genanvendt, og fosforen kan blive tabt.

Såfremt der blev mulighed for at lave depoter af aske, kunne asken enten indgå i en teknologi, når den blev rentabel, eller asken kunne indgå som råvare for fosforgødningsproduktionen. Her tænkes der ikke udelukkende på slamaske, men også eventuelt på andre asker med et væsentligt indhold af fosfor - f.eks. fra forbrænding af gyllefiber. Hvis behandlingskapaciteten for asken ikke er tilstrækkelig i Danmark eller andre europæiske lande, kan asken opsamles og transporteres til den lokalitet, som har kapaciteten.

Der er produktionsselskaber, som vil oparbejde aske fra slamforbrænding og bruge den som en råfosfat i produktionen. Det kunne blive et politisk mål at etablere fosforbanker med fosfor til fremtidens fødevarerproduktion eller blot opsamle asken og oparbejde den løbende for at recirkulere den danske fosfor.

Der er industrifraktioner fra DAKAs kød- og benmelsproduktion samt fosfor fra Cheminovas produktion af ukrudtsmidler og skadedyrsmidler. Begge fosforkilder er store og kunne medvirke til, at Danmark kunne mindske nettoimporten af fosfor. Kvaliteten af fosforen kunne måske også være højere i form af lavere indhold af cadmium sammenlignet med nogle typer råfosfat.

Umiddelbart kunne depoterne lægges i forbindelse med udvindingen af jordbrugskalk eller i forbindelse med depoter for egentligt affald. Teknologisk set er depoter og deres håndtering kendt teknologi, men der skal nødvendigvis ske en udvikling heraf for at håndtere de forskellige fosforasker. Der vil blive behov for at mindske depotafgifter til disse lagre, da økonomien vil blive afgørende for, om sådanne fosforbanker kan realiseres.

Fosforbanker kunne være et element, som yderligere vil flytte fokus på ressourceeffektivitet og kunne være noget nyt, som måske kunne udvikles og eksporteres i form af systemeksport. En sådan løsning har udviklingsbehov, som skal afklares såsom, hvordan asken håndteres i lagrene, hvordan juraen skal være i forbindelse med en fosforbank, og hvorvidt der kræves nye eller tilpassede teknologier til denne forberedelse for genanvendelse. Et politisk krav om en høj fosforgenanvendelse vil sædvanligvis påvirke markedet i retning mod kravet.

6.3.3 Muligheder for dansk systemeksport

Danmark har et godt internationalt image inden for miljøsektoren. Specielt har danske virksomheder bidraget til et stort antal etableringer inden for spildevandsbehandling. I eksportarbejdet er dette primært udnyttet af rådgivende ingeniørvirksomheder og kontraherende virksomheder, der i et vist omfang har trukket maskinindustrien med.

Udviklingen i spildevandsmarkedet er i stigende omfang gået i retning af genbrug af det rensede vand. Det vil derfor være naturligt, at man udvikler og eksporterer teknologier til genanvendelse af øvrige stoffer i spildevandet, herunder ikke mindst fosfor. De virksomheder, der går foran i genan-

vendelsesteknologierne, vil stå stærkere på det internationale marked. For danske virksomheder kan der være tale om såvel eksport til bestående kunder som til nye.

Eksportmulighederne kan deles i 2 segmenter: henholdsvis levering af totale koncepter, hvor genanvendelse kan være et væsentligt salgsargument, og levering af genanvendelseskonceptet som specialleverandør til bestående anlæg og/eller andre leverandører. Begge muligheder ligger for. Hvis dansk knowhow fortsat skal have betydning på det internationale marked, er det formentlig en betingelse, at koncepterne indeholder genanvendelsesmuligheder.

Flere internationale virksomheder udvikler koncepter til genanvendelse og udnyttelse af fosfor. Hvis vi fra dansk side vil være i front, kræver det, at vi kan demonstrere teknologierne. Her kræves et samarbejde mellem udviklingsvirksomhederne og spildevandsforsyningerne. Dernæst har selve lovgivningen og regelsættet på området betydning. Ved eksport af spildevandsanlæg har det haft stor betydning, at de danske udledningskrav var rimelig avanceret. Dette mangler inden for genanvendelse af spildevandsslam. Her ligger kravene til slamudbringning på et meget lavt niveau. Det vil vanskeliggøre systemeksporten, hvis de teknologier, vi ønsker at eksportere, ikke er nødvendige i Danmark. Hvis vi skal gøre os håb om en eksport, er det nødvendigt, at vi i Danmark formelt lever op til, at slamudbringning ikke kan foregå under tvivlsomme miljø- og hygiejnevilkår.

I nogle af de mulige eksportmarkeder er der forbud mod anvendelse af spildevandsslam på landbrugsjord. Hvis vi vil gøre os håb om at eksportere genanvendelsesteknologi på disse markeder, er kravet, at behandlingen omformulerer produktet fra slam til et rent produkt i form af hygiejniseret dyrkningsmedie og/eller et rent fosforprodukt. Produktet skal således defineres i forhold til forbruget og ikke i forhold til oprindelse. Det er ikke ensbetydende med, at der ikke kan kræves oprindelsescertifikater, men at produktet deklarerer sig som et forbrugsprodukt. Sælges eller udbringes slam som et gødningsprodukt, skal det opfylde deklaraions- og behandlingskravet til gødning. Systemeksportmulighederne for genanvendelseskoncepter inden for spildevandsbehandlingen må betragtes som en langt større indtjeningsmulighed for landet end den merudgift, det vil koste Danmark at stille større krav til slambehandlingen. Der er trods alt tale om en meget begrænset slammængde i Danmark i forhold til de spildevandsanlæg, danske virksomheder har bidraget til at få etableret på det internationale marked.

6.3.4 Danske rådgiveres rolle i innovation og eksport af dansk miljøteknologi - eksport af "know-how"

Udover de spirende danske greentech og cleantech virksomheder samt de på det internationale markedet veletablerede danske virksomheder med markeds- og teknologiforspring på miljø-, energi- og klimaområdet, spiller de danske rådgivende virksomheder en meget stor rolle i innovation og eksport af danske grønne miljøløsninger.

De danskejede rådgivere, herunder f.eks. Alectia, COWI, NIRAS, Rambøll, m.fl., har alle i meget stor eller nogen grad væsentlige internationale aktiviteter. Specielt COWI og Rambøll har i dag væsentligt større omsætning uden for Danmark end i Danmark og har ligeledes et flertal af deres rådgivere ansat uden for Danmark. De danskejede rådgivere har derfor samlet set mere end 20.000 globale kolleger, der som en præmis for deres virke løbende holder sig i den absolutte vidensfront, herunder også på miljø- og miljøteknologiområdet.

Rådgivernes globale virke placerer dem i en unik situation med hensyn til både at bringe nyeste international og lokale viden til Danmark og de danske green/cleantech virksomheder, men også til at assistere disse danske virksomheder med at tilpasse teknologi og løsninger til de forskellige lokale behov på det internationale marked.

Selvom danske rådgivere af princip er uafhængige af leverandørers interesser, er der i mange tilfælde god synergi i, at rådgiverne assisterer danske green-/cleantech virksomheder med deres ekspansion i udlandet og samtidig i deres virke for udenlandske kunde inkluderer mulige danske teknologileverandører sammen med øvrige globale teknologileverandører, når der skal vælges de økono-

misk og miljømæssigt mest fordelagtige løsninger til de lokale forhold. De danskejede rådgivere har derfor en unik indsigt, som gavner både købere af teknologi og systemløsninger og de danske teknologileverandører, og som dermed bidrager til en samlet større dansk eksport af miljøteknologi og rådgivning herom.

De danskejede rådgivere har i forhold til deres størrelse en helt usædvanligt stor global markedsandel på miljøområdet, som især må tilskrives den store offentlige investering og udvikling, der blev foretaget på miljøområdet i 90'erne og starten af 00'erne. I samme periode er de danskejede rådgivere blevet til globale rådgivere, hvorfor de selv efter reduktionen i de offentlige midler til miljøudvikling i f.eks. Miljøstyrelsen og lignende i 00'erne og 10'erne nu har ulighed for at trække på den samlede Europæiske og globale miljøudvikling.

Selv om både teknologileverandører og rådgivere i Danmark er afhængige af både strenge miljøpolitikker og midler til miljøfremme, er især rådgiverne dog i stand til at fastholde den miljømæssige frontviden via sit globale set-up. Det er dog væsentlig vanskeligere at fastholde en international førerposition uden et stærkt hjemmemarked, hvorfor der absolut er behov for, at Danmark går forrest med at sætte fornuftige og strengere miljøstandarder og fastholde ambitiøse politikker på miljø-, energi-, og klimaområdet.

7. Regulering

Nærværende kapitel beskriver og sammenfatter den gældende lovgivning, der direkte eller indirekte påvirker anvendelse af fosfor i spildevand og spildevandsslam. Gennemgangen af den relevante lovgivning tager sit udgangspunkt i affaldsbekendtgørelsen, som sætter rammerne for renselanlæggenes disponering af spildevand og slam.

7.1 Affaldsbekendtgørelsen¹²

Affaldsbekendtgørelsen (se også Bilag 6:) omfatter håndtering af affald, der ikke er reguleret af anden lovgivning, samt klassificering af affald mv.

Ved affald forstås i bekendtgørelsen ethvert stof eller enhver genstand, som indehaveren skiller sig af med eller agter eller er forpligtet til at skille sig af med. Som affald anses dog ikke stoffer eller genstande, som er resultatet af en produktionsproces, som ikke primært sigter mod fremstilling af dette stof eller genstand, og hvis det er sikkert, at

1. stoffet eller genstanden videreanvendes,
2. stoffet eller genstanden kan anvendes direkte uden anden yderligere forarbejdning, end hvad der er normal industriel praksis,
3. stoffet eller genstanden kan fremstilles som en integreret del af en produktionsproces, og
4. at videreanvendelsen er lovlig, dvs. stoffet eller genstanden lever op til alle relevante krav til produkt-, miljø- og sundhedsbeskyttelse for den pågældende anvendelse og ikke vil få generelle negative indvirkninger på miljøet eller menneskers sundhed.

I forbindelse med diskussionerne om markedspotentialet for nye fosforprodukter fra spildevand og spildevandsslam (f.eks. struvit og HAP) blev der rejst spørgsmål om, hvornår materialerne må anses som værende affald eller et produkt. Såfremt der ikke længere er tale om affald, men om et produkt, som f.eks. gødning, vil det ikke være omfattet af affaldsreglerne, men vil være omfattet af de produktregler, der gælder for gødning. Det fremgår af affaldsbekendtgørelsen, at det er kommunalbestyrelsen, der træffer afgørelse om, hvorvidt stoffer og genstande, som opfylder følgende nedestående kriterier, ikke længere er affald (EoW- End of Waste kriterier):

1. Stoffet eller genstanden har gennemgået en nyttiggørelsesoperation, herunder genanvendelse;
2. stoffet eller genstanden er almindeligt anvendt til specifikke formål;
3. der findes et marked for eller en efterspørgsel efter et sådant stof eller en sådan genstand;
4. stoffet eller genstanden opfylder de tekniske krav til de specifikke formål og lever op til gældende lovgivning og normer vedrørende produkter, og
5. anvendelsen af stoffet eller genstanden får ikke generelle negative indvirkninger på miljøet eller menneskers sundhed.

Spildevandsslam kan ikke i sig selv opnå 'End of Waste' status. Der arbejdes i EU kommissionen på at fastsætte EoW-kriterier for kompost og digestat (afgasset biomasse). Hvis der ikke er fastsat EoW-kriterier på fællesskabsplan, kan medlemsstaterne fra sag til sag beslutte, om affaldsfasen er ophørt. Kommunen skal i disse tilfælde underrette Miljøstyrelsen.

¹² Bekendtgørelse nr. 1309 af 18. december 2012 om affald (Affaldsbekendtgørelsen)

Med det reviderede affaldsdirektiv fra 2008 introduceredes et affaldshierarki med 5 niveauer. Dette affaldshierarki er indføjet i miljøbeskyttelseslovens¹³ § 6 b, der siger, at udarbejdelse af politikker og udstedelse af regler om affaldsforebyggelse og affaldshåndtering skal ske i overensstemmelse med følgende affaldshierarki:

- Affaldsforebyggelse
- Forberedelse med henblik på genbrug
- Genanvendelse
- Anden nyttiggørelse
- Bortskaffelse.

Begrebet "genanvendelse" blev defineret i det reviderede Affaldsdirektiv i 2008 og fortolkes snævrere end det hidtidige danske begreb "genanvendelse". Definitionen blev derfor tilpasset i affaldsbekendtgørelsen.

Begrebet "kildesorteret genanvendeligt erhvervsaffald" blev erstattet af begrebet "erhvervsaffald egnet til materialenyttiggørelse". Det nye begreb dækker forberedelse til genbrug, genanvendelse og anden endelige materialenyttiggørelse.

Affald, som forberedes til genbrug, og affald, som genanvendes, ophører med at være affald og bliver et produkt, et materiale eller et stof, mens affald, der anvendes til anden endelig materialenyttiggørelse, forbliver affald.

Definitionen på genanvendelse er efter affaldsbekendtgørelsen enhver nyttiggørelsesoperation, hvor affaldsmaterialer omforarbejdes til produkter, materialer eller stoffer, hvad enten de bruges til det oprindelige formål eller til andre formål. Heri indgår omforarbejdning af organisk materiale, men ikke energiudnyttelse og omforarbejdning til materialer, der skal anvendes til brændsel eller opfyldningsoperationer. Dvs. affaldsmaterialer omforarbejdes til ikke længere at være affald, men til et produkt, materiale eller et stof.

Anden endelige materialenyttiggørelse er enhver nyttiggørelsesoperation bortset fra de operationer, hvor affald forberedes til genbrug, genanvendes, energiudnyttes eller forhandles. Dvs. en udelukkelseskategori omfattende affald, der ikke forberedes til genbrug, genanvendes, energiudnyttes eller forhandles. Efter endt proces er affaldsfraktionen fortsat affald og ikke et produkt. Affald til anden endelig materialenyttiggørelse vil være affaldstyper, som f.eks. spildevandsslam, der reguleres efter slambekendtgørelsen.

Det er kommunalbestyrelsen, der afgør, om affald er henholdsvis egnet til materialenyttiggørelse, forbrænding eller deponering.

Anvendelse af kompost, der har opnået End of Waste status på EU niveau, og kompost af haveparkaffald betragtes som genanvendelse. Anvendelse af tørret slam som råmateriale i produktionen betragtes som genanvendelse.

Spildevandsslam, der udspredes på landbrugsjord, betragtes derimod som anden endelig materialenyttiggørelse, idet spildevandsslam, der reguleres af slambekendtgørelsen, er affald. Spildevandsslam, der bioforgasses og efterfølgende udspredes på landbrugsjord, betragtes ligeledes som anden endelig materialenyttiggørelse. Forbrænding af spildevandsslam betragtes som energiudnyttelse.

Anden endelig materialenyttiggørelse og energiudnyttelse er omfattet af anden nyttiggørelse i henhold til affaldshierarkiet.

¹³ Lov nr. 1388 af 14. december 2010 om ændring af lov om miljøbeskyttelse

I bilag 10 findes den foreløbige oversigt over affaldshierarkiet og dets nøglebegreber baseret på Europa-Kommissionens "Guidance on the interpretation of the key provisions of Directive 2008/98/EC on waste" (MST, 2012a).

Teknologierne til genvinding af fosfor fra f.eks. slammaske er relativt nye. En af udfordringerne i forhold til affaldshierarkiet er, hvorledes udvinding af fosfor fra aske vil kunne blive indplaceret i affaldshierarkiet. Såfremt genvinding af fosfor fra asken ikke kan anses som genanvendelsesoperation, vil det være en barriere for videreudviklingen af teknologierne til udvinding af fosfor fra slammaske.

Affaldshierarkiet kan dog fraviges for særlige affaldsstrømme, hvis fravigelsen er begrundet i en livscyklusbetragtning. Anvendelse af affaldshierarkiet og fravigelser herfra skal ske med henblik på at opnå det bedste samlede miljømæssige resultat.

7.1.1 EU's kommissionens fortolkning af LCT begrebet

Begrebet *Life Cycle Thinking* (LCT) - eller på dansk 'livscyklusbetragtning' - er introduceret i forbindelse med affaldshierarkiet. Affaldshierarkiet skal følges, medmindre en LCT viser noget andet (EC JRC, 2012a).

I Kommissionens guideline til LCT og LCA "Supporting Environmentally sound Decisions for Bio-Waste Management" (EC JRC, 2012b) præciseres det, at første skridt er at følge affaldshierarkiet. Hvis dette ikke er nok til at identificere den optimale løsning, bør det vurderes, om eksisterende viden og undersøgelser er nok til at træffe beslutningen på. Hvis dette heller ikke er nok, bør man opstille "straight-forward" LCT kriterier. Affaldshierarkiet kan ses som første prioriteringsreference for at opstille kriterierne. "Straight-forward" LCT kriterier kan ses som et vigtigt skridt mellem at følge affaldshierarkiet og gennemføre en egentlig LCA. Først hvis de opstillede "straight-forward" kriterier ikke fører til et beslutningsgrundlag, bør der udføres en egentlig LCA. Det præciseres også, at en LCA bør suppleres med andre analyser af f.eks. de sociale og økonomiske konsekvenser.

En LCT tager udgangspunkt i et produkts eller en service's livsforløb, der starter med råmaterialer, produktion, transport, brug og affaldshåndtering, herunder genanvendelse, samt endelig bortskaffelse. I hvert led af livsforløbet bruges energi og ressourcer, ligesom der genereres emissioner med belastning af miljø og sundhed til følge.

Formålet med LCT er at identificere, hvor et produkt eller en service kan forbedres, så miljø- og sundhedsbelastningen samt ressourceforbruget minimeres i hele livsforløbet. Formålet er at undgå "burden shifting". Det vil sige, at man skal undgå, at en reduktion i belastningen fra et produkt/en service i et led af livscyklusen, i et geografisk område eller i en bestemt recipient/emissionskategori (f.eks. CO₂ emissioner) øger belastningen andre steder. Som eksempel kan nævnes, at en reduktion af et produkts energiforbrug i brugsfasen ikke må føre til øget forbrug af sjældne metaller/jordarter for at opnå energireduktionen i brugsfasen.

En LCT integrerer derfor eksisterende forbrugs- og produktionsstrategier og skal sikre et bæredygtigt forbrug og et produktionssystem inden for rammerne af klodens bæreevne.

For at belyse LCT og de genererede påvirkninger anvendes en række forskellige værktøjer som Livscyklus vurderinger (LCA), livscyklus management (LCM), lifecycle costing (LCC) og miljødesign (DfE). Kommissionens Joint Research Center arbejder f.eks. på at integrere arealanvendelse i LCA metoden inden for rammerne af ILCD (International Reference Life Cycle Data System) håndbogen (EC JRC, 2012c).

7.1.2 Kommunernes rolle og kompetencer i forhold til spildevandsslam og affaldsplanlægning

I henhold til Affaldsbekendtgørelsen er det kommunen, som skal klassificere affald. Dvs. at det er kommunen, som afgør, om affald er farligt, emballageaffald, egnet til materialenyttiggørelse, forbrændingseget eller deponeringseget¹⁴. Det betyder, at kommunen bl.a. skal klassificere spildevandsslam og afgøre, om det f.eks. er egnet til materialenyttiggørelse. Virksomheden skal følge kommunens klassificering.

Spildevandsslam, der overholder slambekendtgørelsen, og som stammer fra spildevandsforsyninger, betragtes som kildesorteret erhvervsaffald, og håndteringen af slammet skal derfor ske i overensstemmelse med affaldshierarkiet. Affaldshierarkiet kan kun afviges, hvis det kan begrundes i en livscyklusbetragtning.

Miljøstyrelsen har oplyst, at et selskabsgjort renseanlæg i et A/S, som ejes 100 % af en kommune, er at betragte som "kommunens institutioner og virksomheder", jf. affaldsbekendtgørelsen §§ 24 og 96.

Det betyder, at kommunen kan lade renseanlæggets affald (spildevandsslammet) være omfattet af en kommunal ordning beskrevet i erhvervsregulativet, jf. affaldsbekendtgørelsens § 24, stk. 3.

Dette betyder videre, at erhvervsaffald (spildevandsslam) fra kommunens virksomheder (100 % kommunalt ejede rensningsanlæg), som er egnet til materialenyttiggørelse, kan behandles på kommunens eller et fælleskommunalt behandlingsanlæg, f.eks. et komposteringsanlæg. Hvis kommunen som myndighed beslutter dette, skal rensningsanlægget levere slammet til behandling på det pågældende anlæg og betale den pris, der er fastsat af behandlingsanlægget!

Kommunerne skal i deres affaldsplan bl.a. redegøre for de fremtidige affaldsmængder fra kommunens institutioner, virksomheder og genbrugspladser samt beskrive den forventede fremtidige håndtering af affaldet, jf. § 15 i affaldsbekendtgørelsen. Herudover skal kommunen udarbejde en målsætningsdel, som redegør for kommunens overordnede målsætninger på affaldsområdet, jf. § 13, stk. 2, 2).

7.2 Slambekendtgørelsen¹⁵

Slambekendtgørelsen (se også Bilag 7:) fastsætter regler om, i hvilket omfang affald kan anvendes til jordbrugsformål. Bekendtgørelsen omfatter affald fra husholdninger, institutioner og virksomheder, herunder biologisk behandlet affald, processpildevand og spildevandsslam, i det omfang, affaldet påtænkes anvendt til jordbrugsformål. Affald, der kan udbringes efter reglerne i bekendtgørelse om erhvervsmæssigt dyrehold, husdyrgødning, ensilage m.v. er ikke omfattet af slambekendtgørelsen.

Affald, der anvendes til jordbrugsformål eller tilføres husdyrgødningsbaserede biogas- eller forarbejdningsanlæg, skal overholde de grænseværdier for tungmetaller og miljøfremmede stoffer, der er angivet i bilag 2 til bekendtgørelsen, og må ikke indeholde væsentlige mængder af andre miljøskadelige stoffer, jf. § 6. Affaldet skal være prøvetaget og analyseret inden eventuel sammenblanding.

Affaldsproducentens forpligtelse til at udarbejde deklaration og orientere kommunen om udspredding, jf. §§ 12-14, påhviler den affaldsproducent, der afhænder affaldet til bruger eller husdyrgødningsbaserede biogas- eller forarbejdningsanlæg. Enhver affaldsproducent, der indgår aftale om leverance, er ansvarlig for, at deklarationen følger affaldet og svarer til dette.

¹⁴ Jf. Affaldsbekendtgørelsen § 4, stk. 2

¹⁵ Bekendtgørelse nr. 1650 af 13. december 2006 om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen)

Der er i bekendtgørelsen fastsat hygiejnisk begrundede restriktioner for anvendelse af affald, herunder spildevandsslam, til jordbrugsformål. Hvis spildevandsslam ikke er behandlet, må det ikke anvendes til jordbrugsformål. Hvis spildevandsslam er blevet hygiejniseret gennem en stabilisering (f.eks. udrådning, beluftning, kalkning) eller en kontrolleret kompostering (55 grader i minimum to uger), må slammet anvendes på arealer, hvor der dyrkes korn- eller frøafgrøder til modenhed samt græs eller lignende til industriel fremstilling af tørfoder. Karensperioden for at anvende marken til at dyrke afgrøder, der kan spises af dyr og mennesker i rå tilstand (f. eks. kartofler, græs og majs til ensilage, foder sukkerroer), er 1 år efter sidste slamudspredning.

Har spildevandsslammet derimod gennemgået en kontrolleret hygiejniseringsproces, og lever slammet op til bekendtgørelsens hygiejniske kvalitetskrav, kan slammet uden begrænsning anvendes til jordbrugsformål (salmonella må ikke påvises; indholdet af E. coli skal være mindre end 100 CFU/g våd vægt, og indholdet af enterokokker skal efter hygiejniseringsprocessen være mindre end 100 CFU/g våd vægt).

Anvendelse af affald til jordbrugsformål skal indgå i gødningsplanlægning og gødningsregnskabet.

På landbrugsarealer må affald kun udbringes til afgrøder med kvælstofnorm eller en retningsgivende norm for fosfor og kalium. Dette er i henhold til lov om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække, herunder de tilhørende udstedte bekendtgørelser (§ 21, stk. 2). På arealer, der er ikke omfattet af § 21, stk. 2, må affald kun udbringes til afgrøder med et gødskningsbehov.

På arealer, der tilføres affald, må den samlede tilførsel af næringsstoffer i form af affald og husdyrgødning ikke overstige 170 kg totalkvælstof og 30 kg totalfosfor pr. ha. pr. år. Desuden må der ikke med affald tilføres jorden mere end 7 tons tørstof pr. ha. pr. år beregnet som et gennemsnit over 10 år (§ 22, stk. 1 og 2).

Anvendelse af affald skal ske i overensstemmelse med deklarationen, og de hygiejniske restriktioner for anvendelsen skal overholdes.

Anvendelse af affald må ikke ske på en sådan måde og på sådanne arealer, at der ved tøbrud og regnskyl opstår fare for afstrømning til søer, vandløb eller dræn, eller give anledning til forurening af grundvandet, væsentlige gener eller uhygiejniske forhold, jf. § 20.

Udbringning er i øvrigt begrænset til bestemte perioder af året afhængigt af type af affald, typen af afgrøder og mængden af affald, jf. §§ 23-25.

Tilsynsmyndigheden kan nedlægge forbud mod anvendelse af affald til jordbrugsformål, såfremt anvendelsen medfører forurening eller risiko herfor, jf. § 32, stk. 2.

7.3 Vandsektorloven¹⁶

Det fremgår af Lovens § 1, at den skal medvirke til at sikre en vand- og spildevandforsyning af høj sundheds- og miljømæssig kvalitet, som tager hensyn til forsyningsikkerhed og naturen og drives på en effektiv måde, der er gennemsigtig for forbrugerne. Vandsektorloven omfatter bl.a. bestemmelser vedrørende benchmarking og prisloft for vandforsyninger og spildevandforsyning. Forsyningssekretariatet (under Konkurrence- og Forbrugerstyrelsen) har ansvar for tilsyn med vandforsyningsområdet og fastsætter prisloft samt gennemfører resultatorienteret benchmarking.

Alle de kommunalt ejede spildevandforsyninger er omfattet af prisloftreglerne i henhold til vandsektorloven. Det er efter Bekendtgørelse om prisloftregulering m.v. af vandsektoren (Prisloftbe-

¹⁶ Lov nr. 469 af 12. juni 2009 om vandsektorens organisering og økonomiske forhold

kendtgørelsen.) Forsyningssekretariatet fastsætter prislofter for spildevandsforsyningerne. Overordnet set består prisloftet af en række omkostninger og investeringstillæg.

Spildevandsforsyningerne er forpligtede til at overholde prisloftet. Ved fastsættelsen af prisloftet kan kun indregnes relevante udgifter, omkostninger og indtægter fra aktiviteter omfattet af prisloftbekendtgørelsens § 1, stk. 2., jf. prisloftbekendtgørelsens § 5, stk. 3. Det fremgår af prisloftbekendtgørelsens § 1, stk. 2, at bestemmelserne i kapitel 2 vedrørende fastsættelse af prisloft gælder for indvinding, behandling, transport og levering af vand mod betaling, herunder også salg af vand til andre vandselskaber, samt transport, behandling og afledning af spildevand mod betaling, herunder slamforbrænding for andre spildevandsanlæg og behandling af spildevand fra tømningssordninger.

Forsyningerne kan indgå i teknologiudvikling, jf. prisloftbekendtgørelsens § 26, stk. 2. Af prisloftbekendtgørelsens § 26, stk. 2 fremgår det, at ekstraordinære effektiviseringsgevinster alene kan anvendes til investering i selskabets aktiviteter forbundet med vand- og spildevandsforsyning, herunder teknologiudvikling, konsolidering i form af forbedringer af infrastruktur, miljøforbedringer eller nedsættelse af selskabets forbrugerpriser. En ekstraordinær effektiviseringsgevinst er det beløb, hvormed en spildevandsforsynings samlede indtægter i et kalenderår overstiger spildevandsforsynings samlede omkostninger i samme kalenderår.

Ovenstående betyder, at det er bestemmelserne i prisloftbekendtgørelsen, som sætter rammerne for, hvilke udgifter der kan indregnes i prisloftet. Prisloftbekendtgørelsen er udarbejdet således, at der ikke er indarbejdet stærke incitamenter til, at spildevandsforsyningerne skal deltage i udviklingsprojekter ud over de incitamenter, der er indarbejdet i prisloftbekendtgørelsens § 26.

Det er muligt, at de nuværende prisloftregler vil påvirke spildevandsforsyningernes disponering af løsningsvalg uhensigtsmæssigt. Dette skyldes, at spildevandsforsyningerne formentlig vil have et incitament til at styre deres drift efter prisloftsreguleringen og ikke ud fra, hvad der totalt ville være den mest optimale løsning med hensyn til genanvendelse af fosfor.

Benchmarking af spildevandsforsyninger med prisloft

I henhold til Vandsektorloven foretager Forsyningssekretariatet den resultatorienterede benchmarking. Benchmarkingmodellen tager højde for spildevandsforsyningers forskelligheder, hvilket blandt andet omfatter selskabernes forskellige måder at håndtere spildevand på. Dette betyder, at benchmarkingmodellen ikke hæmmer, at forsyningerne anvender forskellige teknologiske løsninger.

Vandsektorloven § 6, stk. 2: Prisloftet fastsættes af Forsyningssekretariatet med udgangspunkt i de historiske priser og korrigeres med et indeks for omkostningsudviklingen, et generelt effektiviseringskrav og et individuelt effektiviseringskrav baseret på vandselskabets benchmarkingresultat.

Prisloftet betyder, at spildevandsforsyningerne gerne må skifte teknologi, så længe aktiviteterne er en del af forsyningernes primære aktiviteter. Med de gældende regler er det en konkret vurdering i hver enkelt sag, hvorvidt indførelse af teknologiske løsninger, deltagelse i udviklingsprojektet m.m. kan indregnes i prisloftet. Det skyldes, at prisloftbekendtgørelsen sætter rammerne for, hvilke udgifter, omkostninger og indtægter, der kan indregnes i forsyningernes prisloft.

Deltagelse i anden virksomhed § 18

Spildevandsforsyninger kan kun deltage i anden virksomhed, når denne anden virksomhed har 'nær tilknytning til' forsyningens 'hovedvirksomhed'. Dette omfatter ikke partnerskab med en privat industri omkring spildevandsforsyningens hovedvirksomhed. Begrebet 'nær tilknytning' er define-

ret i kap. 2 i bekendtgørelsen om vandselskabers deltagelse i anden virksomhed¹⁷ samt i Naturstyrelsens vejledning om tilknyttede aktiviteter af 29. juni 2011.

Hovedvirksomhed omfatter al behandling af spildevand, der modtages på spildevandsanlægget, herunder også forbrænding af spildevandsslam, bortskafning af restprodukter/affald...

Viderebearbejdning af restprodukter er ikke en del af hovedvirksomheden, og opfylder desuden ikke kriteriet om *nær tilknytning*. Spildevandsforsyninger kan dog udlicitere sådanne aktiviteter til tredjepart, men ikke selv deltage i partnerskabet.

7.4 VVM-bekendtgørelsen¹⁸

VVM-bekendtgørelsen fastsætter regler vedrørende gennemførelse af anlægsarbejder eller andre installationer og omfatter bl.a. regler om anmeldelsespligt og VVM-tilladelse/VVM-pligt. Renseanlæg med en kapacitet på over 150.000 PE er omfattet af VVM-pligten.

Rensningsanlæg er opført på VVM bekendtgørelsens bilag 2, punkt 12c. Etablering eller ændringer og udvidelser af rensningsanlæg kan være VVM pligtige, hvis etableringen, ændringen eller udvidelsen må antages at kunne påvirke miljøet væsentligt. Spørgsmålet om bortskaffelse af slam fra rensningsanlæg skal behandles efter VVM-reglerne. Etablering eller ændringer og udvidelser af rensningsanlæg kan derfor være VVM pligtige, hvis etableringen, ændringen eller udvidelsen må antages at kunne påvirke miljøet væsentligt. (Naturstyrelsen, 2012).

7.4.1 VVM regler i relation til anvendelse af spildevandsslam til jordbrugsformål

Udbringning af spildevandsslam skal altid vurderes efter reglerne i slambekendtgørelsen, da denne indeholder en nærmere regulering af spildevandsslam til jordbrugsformål.

VVM-redegørelserne og –screeningerne af spildevandsforsyningernes aktiviteter skal således ikke forholde sig specifikt til udbringningsarealet, men til de miljømæssige konsekvenser af bortskaffelse via udbringning generelt, herunder bl.a. med udgangspunkt i de specifikke miljømæssige regler herfor. Det betyder, at der skal redegøres for de forventede mængder af slam, samt hvilke indholdsstoffer dette forventes at indeholde. Det skal desuden anføres, hvilke generelle miljømæssige problemer udbringning af dette slam til jordbrugsformål kan have, ligesom der skal redegøres for, at udbringningen sker under overholdelse af de generelle regler på området (Naturstyrelsen, 2012).

7.5 Husdyrgodkendelsesloven¹⁹ og lov om jordbrugets anvendelse af gødning²⁰

Landbrugets brug af gødning er reguleret gennem kvælstofkvoter, krav om mark- og gødningsplaner og miljøgodkendelser af husdyrbrug. En række værktøjer er udviklet for at lette myndighedernes administration og brugernes regnskabs- og indberetningsforpligtelser. Reguleringen sker i forhold til kvælstoftilførslen. Husdyrreguleringsudvalget under Miljøstyrelsen²¹ er kommet med en række anbefalinger om den fremtidige arealregulering, som vil forudsætte en kortlægning af udbringningsarealernes sårbarhed og udvide den generelle regulering i forbindelse med udbringning af husdyrgødning til også at omfatte krav til fosfor. Hvis udvalgets anbefalinger følges op af konkret lovgivning, skal det overvejes, hvordan reguleringen af anvendelse af spildevandsslam og evt. andre affaldstyper skal indgå som en del af den samlede regulering af tilførsler af gødning og jordforbedringsmidler til landbrugsjord.

¹⁷ Bek. nr. 1195 af 14. oktober 2010 om vandselskabers deltagelse i anden virksomhed

¹⁸ Bek. nr. 1510 af 15. december 2010 om vurdering af visse offentlige og private anlægs virkning på miljøet (VVM) i medfør af lov om planlægning.

¹⁹ Lov om miljøgodkendelse mv. af husdyrgødning, jf. lovbekendtgørelse nr. 1486 af 4. december 2009

²⁰ Lov om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække, jf. lovbekendtgørelse nr. 415 af 3. maj 2011

²¹ http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Landbrug/Husdyrreguleringsudvalg/Om_udvalget/Om_udvalget.htm

Større husdyrbrug (over 75 dyreenheder) skal miljøgodkendes efter reglerne i husdyrloven (LBK nr. 1486 af 4. december 2009). Både bygninger, oplagring af gødning og foder og de arealer, som hører til husdyrbruget, er omfattet af godkendelsen. Godkendelsen skal bl.a. sikre, at de generelle og specifikke beskyttelsesniveauer for kvælstof og fosfor overholdes. Hvis der på et husdyrbrug er en større mængde husdyrgødning, end der lovligt kan udbringes på husdyrbrugets arealer, kan det blive aktuelt at afsætte gødningen til udbringning på andre ejendomme. Hvis arealerne på de ejendomme, gødningen afsættes til, ikke er omfattet af en miljøgodkendelse, skal arealerne særskilt miljøgodkendes til udbringning af husdyrgødning.

Husdyrloven fastsætter en generel begrænsning for, hvor meget husdyrgødning der må udbringes pr. hektar landbrugsjord. Det er det såkaldte harmonikrav. Harmonikravet skal sikre, at den mængde husdyrgødning, der årligt udbringes på en hektar landbrugsjord, ikke overstiger 140 kg kvælstof for svin og fjerkræ og 170 kg kvælstof for kvæg.

Ud over det generelle harmonikrav er der fastsat specifikke beskyttelsesniveauer for nitrat for overfladevand i oplande, der afvander til Natura 2000-områder²² og for grundvand i nitratfølsomme indvindingsområder.

Der er ingen tilsvarende generel regulering af fosfortilførslen med husdyrgødning, men der er fastsat et beskyttelsesniveau for fosfor i oplande til Natura 2000 områder.

Anbefalinger fra Husdyrreguleringsudvalget til fremtidig arealregulering

Et udvalg under Miljøstyrelsen (Husdyrreguleringsudvalget) har udarbejdet en række anbefalinger, der skal give landbruget friere rammer til at tilrettelægge produktionen og mindske den administrative byrde for både erhverv og myndigheder i forbindelse med miljøreguleringen, uden at det fører til en svækkelse af niveauet for miljøbeskyttelse. Et væsentligt bidrag til en enklere administration er i højere grad at basere godkendelser på generelle regler i stedet for en specifik regulering, der meget ofte kræver myndighedernes besigtigelse og vurdering af de enkelte marker. Udvalget anbefaler derfor, at der for arealerne etableres nye generelle regler, der omfatter alle gødningstyper, og som differentieres og målrettes geografisk til at beskytte de sårbare områder.

For at kunne nå i mål med en regulering, der er generel og samtidig differentierer beskyttelsesniveauet geografisk og i forhold til arealernes sårbarhed, skal der foretages en kortlægning af, i hvilken grad arealerne er sårbare eller robuste i forhold til kvælstof og fosfor. En sådan kortlægning vil gøre det muligt at udpege de sårbare områder, så der i forbindelse med miljøgodkendelse ikke skal foretages en særskilt besigtigelse af arealerne, da vurderingen kan baseres på allerede gennemførte kortlægninger af arealerne.

Kortlægning af udbringningsarealer for slam under en sårbarhedsdifferentieret arealregulering

Hvis den fremtidige arealregulering baseres på en sårbarhedsdifferentieret regulering, må arealernes sårbarhed i forhold til udbringning af spildevandsslam forventes at skulle indgå i den indledende nationale kortlægning af samtlige potentielle udbringningsarealer. Samtidig vil det være nødvendigt at udvide den generelle regulering i forbindelse med udbringning af husdyrgødning til også at omfatte krav til fosfor. Dvs. at der skal beregnes en fosforkvote for hver enkelt bedrift (som tilfældet er med kvælstof i de lovpligtige gødningsplaner i dag), og der vil ske en kontrol af fosfortilførslen gennem gødningsregnskabet.

Hvis Husdyrreguleringsudvalgets anbefalinger om en sårbarhedsdifferentieret arealregulering følges op af konkret lovgivning, bør det overvejes, om ikke reguleringen af anvendelsen af spildevands-

²² http://www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/Natura2000/Hvad_er_Natura_2000/

slam og evt. andre affaldstyper skal indgå som en del af den samlede regulering af tilførsler af gødning og jordforbedringsmidler til landbrugsjord.

7.6 Tilsynsbekendtgørelsen²³

Bekendtgørelsen har ophæng i Gødningsloven og stiller krav til prøve-/analysehyppighed og kvaliteten af kommunalt spildevandsslam og kommunalt indsamlet husholdningsaffald til kompostering med henblik på anvendelse til jordbrugsformål. Grænseværdier heri er de samme som i "slambekendtgørelsen".

7.7 Bekendtgørelsen om anvendelse af gødning²⁴ og gødningsregnskab

Leverandører af kvælstofholdige gødninger, herunder slam, er forpligtet til at indberette den mængde kvælstof, der er afsat til de jordbrugere, der fører gødningsregnskab. På denne måde kan jordbrugers gødningsregnskab blive "fortrykt". Jordbruger skal herefter godkende eller rette disse oplysninger. De mængder kvælstof, den enkelte jordbruger må anvende, afhænger af areal, jordtype, forfrugt og afgrøde, og er uafhængige af kvælstoffets oprindelse (handels-, husdyrgødning eller slam).

Ca. 40.000 jordbrugere fører gødningsregnskab, der kan opfattes som en slags selvangivelse for jordbrugerens anvendelse af kvælstof. En årlig omsætning på over 20.000 kr. giver ret til at føre gødningsregnskab, mens en omsætning over 50.000 kr. på jordbrugsproduktion giver pligt til det. Ved at føre et gødningsregnskab er jordbrugere undtaget fra at betale kvælstofafgift på 5 kr. pr. kg kvælstof.

Gødningsregnskaberne har indtil videre kun omfattet kvælstof, men der er allerede i gødningsregnskabet en rubrik til (frivillig) angivelse af forbrug af fosfor. Som nævnt i afsnit 7.5 anbefaler husdyrreguleringsudvalget, at fosfor skal indgå i gødningsregnskaberne.

Kvælstof og fosfor opfører sig ikke ens i jorden. Fosfor er mest kritisk på særligt følsomme områder, f.eks. hvor der er risiko for direkte udvaskning til vandmiljøet via erosion fra brinker og skrænter.

7.8 Direktivet om industrielle emissioner (IE-direktivet), herunder bekendtgørelse om forbrænding af affald

Forbrændingsbekendtgørelsen²⁵ regulerer affald til forbrænding samt emissioner herfra (se endvidere Bilag 3). Bekendtgørelsen foreskriver bl.a., at der skal ansøges om tilladelse til, hvilke affaldsfraktioner der kan forbrændes på de enkelte anlæg, herunder hvilke mængder af farligt affald og dets brændværdi. Optagelse af farligt affald på positivlisten for et anlæg, der tidligere alene har forbrændt ikke-farligt affald, regnes for en *væsentlig ændring eller udvidelse* i godkendelsesbekendtgørelsens §11, og dette udløser krav om en revision af VVM.

IE-direktivet²⁶ er en sammenskrivning og revision af syv eksisterende direktiver, herunder direktivet om forbrænding af affald²⁷ og IPPC-direktivet²⁸. Direktivet indeholder de generelle principper for en integreret indsats over forureningen fra de større industrielle aktiviteter og større husdyrbrug, der er nævnt i direktivets bilag 1. Direktiv om forbrænding af affald ophæves med virkning fra den 7. januar 2014, hvor store dele af IE-direktivet træder i kraft for bestående virksomheder. For nye virksomheder, der ikke inden den 6. januar 2013 har indgivet en fuldstændig ansøgning til godkendelsesmyndigheden efter IPPC-reglerne, vil direktivet som udgangspunkt træde i kraft den 6. januar 2013.

²³ Bekendtgørelse nr. 56 af 24. januar 2000 om tilsyn med spildevandsslam m.m. til jordbrugsformål

²⁴ Bekendtgørelse om jordbrugets anvendelse af gødning i planperioden 2012/2013 og om plantedække. Nr. 804 af 18. juli 2012

²⁵ Bekendtgørelse nr. 1356 af 21. dec. 2011 om de anlæg, der forbrænder affald

²⁶ EU-parlamentets og Rådets direktiv 2010/75/EU om industrielle emissioner

²⁷ EU-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/76/EF af 4. december 2000 om forbrænding af affald

²⁸ Rådets Direktiv 96/61/EF af 24. september 1996 om integreret forebyggelse og bekæmpelse af forurening

IE-direktivet viderefører principperne i IPPC-direktivet om integreret forureningsbekæmpelse som et vigtigt led i processen frem mod en mere bæredygtig balance mellem menneskets aktiviteter og den samfundsmæssige udvikling på den ene side og et generelt højt beskyttelsesniveau på den anden side. Strategien i den integrerede forureningsbekæmpelse er, at forureningen fra et anlæg skal vurderes samlet, og at der i denne sammenhæng også skal tages hensyn til problemerne knyttet til det affald, der produceres på anlægget, behovet for at begrænse udnyttelsen af naturens ressourcer og behovet for effektiv udnyttelse af energien, således at der fra en helhedsvurdering træffes det bedst mulige valg for miljøet.

Direktivet viderefører bl.a. IPPC-direktivets regler om,

- at ny-anlæg af virksomheder omfattet af IE-direktivet skal godkendes;
- at væsentlige ændringer eller udvidelser af bestående virksomheder omfattet af IE-direktivet skal godkendes;
- at bedste tilgængelige teknik (BAT) skal anvendes på virksomheder omfattet af IE-direktivet, og at godkendelser skal tages op til revurdering i bestemte tilfælde.

IE-direktivet stiller herudover krav om,

- at BAT-konklusionerne bliver bindende at anvende i forbindelse med fastsættelse af godkendelsesvilkår;
- at godkendelse af virksomheder omfattet af IE-direktivet skal revurderes, når nye BAT-konklusioner er blevet offentliggjort;
- at der sker en kortlægning af jord- og grundvandsforurening på visse virksomheders område;
- at der potentielt skal ske oprensning af jord og grundvandsforurening ved definitivt driftsophør;
- at frekvenserne for tilsyn med virksomhederne bliver bindende;
- at hver enkelt virksomhed skal risikovurderes med henblik på fastlæggelse af tilsynsfrekvens;
- at tilsynsmyndighedens rapporter om virksomhederne efter hvert tilsyn skal offentliggøres samt
- at emissionskravene til store fyringsanlæg og affaldsmedforbrændingsanlæg skal skærpes.

Alle affaldsforbrændingsanlæg er omfattet af kapitel IV i IE-direktivet. Afhængigt af kapacitetstærsklen for henholdsvis ikke farligt og farligt affald er visse anlæg også omfattet af EU-kravene ved miljøgodkendelse, fastsat i kapitel II. De er således underlagt BAT-princippet, ligesom reglerne om tilsyn også gælder for disse virksomheder. Ud over godkendelseskravene i kapitel II er de tillige underlagt specielle krav i kapitel IV til indretning og drift af forbrændingsanlæg, herunder grænseværdier for luftemissioner, der som minimum skal lægges til grund ved reguleringen af anlæggene. Hvis ikke kapacitetstærsklen er overskredet, er anlæggene omfattet af nationale krav til miljøgodkendelse fastsat i godkendelsesbekendtgørelsen, suppleret med kravene om indretning og drift i kapitel IV i IE-direktivet.

7.9 Deponeringsbekendtgørelsen²⁹

Bekendtgørelsen fastsætter regler om deponeringsanlæg. Bekendtgørelsens regler supplerer reglerne i Bekendtgørelse om godkendelse af listevirksomheder og Bekendtgørelse om affald, som disse anlæg også er omfattet af.

Hovedsigtet med bekendtgørelsen er at indføre foranstaltninger, procedurer og retningslinjer for at forebygge eller i videst muligt omfang begrænse miljøbelastninger fra deponeringsanlæg. Det vil

²⁹ Bekendtgørelse nr. 719 af 24/06/2011 om deponeringsanlæg

navnlig sige forurening af overfladevand, grundvand, jord og luft, belastning af det globale miljø, herunder drivhuseffekten, samt de risici affaldsdeponering indebærer for menneskers sundhed. Bekendtgørelsen regulerer godkendelse, indretning, drift, nedlukning og efterbehandling af deponeringsanlæg. Bekendtgørelsen fastsætter endvidere procedurer for modtagelse af affald til deponering. Modtageproceduren er baseret på affalds karakterisering, der fremgår af kapitlerne 5-7 samt bilag 3 til bekendtgørelsen.

Hvis man ønsker at opbevare/oplagre slammaske, f.eks. på et renseanlæg, er det vigtigt, at man er opmærksom på specielt varigheden af opbevaringen/oplagringen. I henhold til definitionen af et deponeringsanlæg, jf. § 3, nr. 10 i deponeringsbekendtgørelsen, skal opbevaring/oplagring af affald (i dette tilfælde slammaske) således ske på et miljøgodkendt deponeringsanlæg, hvis affaldet opbevares/oplagres i en periode på mere end 1 år forud for bortskaffelse eller i en periode på mere end 3 år forud for nyttiggørelse eller behandling.

I tilfælde, hvor slammasken oplagres i en længere periode (end ovenfor angivet), vil aktiviteten skulle godkendes i henhold til det relevante listepunkt i godkendelsesbekendtgørelsen³⁰.

Der skal i forbindelse med deponering af aske fra slamforbrænding foretages en obligatorisk grundlæggende karakterisering af affaldet, hvori der indgår en vurdering af, om affaldet eller dele heraf kan genanvendes eller nyttiggøres på anden måde. Desuden skal der ske en klassificering af al deponeringseget affald, som et første skridt før slamaksen kan deponeres på deponeringsenheder for henholdsvis inert, mineralisk, blandet eller farligt affald. Deponeringen af asken skal ske på en deponeringsenhed, der er defineret som en velafgrænset og veldefineret del af et deponeringsanlæg, hvor affaldstyper med ensartede egenskaber deponeres sammen, og hvor der er etableret et separat perkolatopsamlingsystem.

Udgifterne i forbindelse med aflevering af affald på deponeringsanlægget (dvs. den del af udgifterne, som ikke er afgift/skat) varierer fra deponeringsanlæg til deponeringsanlæg, men udgør sammen med de statslige affaldsafgifter et incitament til at undgå deponering og i stedet genvinde ressourcerne. For ejerne af deponeringsanlæggene kan usikkerheden omkring efterbehandlingstidens varighed og de dermed forbundne udgifter medføre en forhøjelse af deponeringsgebyret og dermed give et yderligere incitament til oparbejdning/nyttiggørelse.

7.10 EU regler og håndtering spildevandsslam i visse europæiske lande

7.10.1 Slamdirektivet

Rådets direktiv 86/278/EØF af 12. juni 1986 om beskyttelse af miljøet, navnlig jorden, i forbindelse med anvendelse i landbruget af slam fra renseanlæg (slamdirektivet) fastsætter regler om genanvendelse af slam og er implementeret ved slambekendtgørelsen (bekendtgørelse nr. 623 af 30. juni 2003 om anvendelse af affald til jordbrugsformål).

Direktivet er et minimumsdirektiv, og medlemsstaterne kan derfor fastsætte strengere krav end de, der er angivet i direktivet. De fleste medlemslande har fastsat strengere grænseværdier for tungmetallerne i slammet end de, der er angivet i direktivet, samt tilføjet nye parametre, og den danske slambekendtgørelse har skærpet direktivets grænseværdier væsentligt.

I bilag 10 er det angivet, hvorledes medlemslandene har implementeret direktivet for så vidt angår tungmetaller, miljøfremmede stoffer og mikrobiologiske parametre.

Direktivet har til formål at fastsætte bestemmelser for anvendelse i landbruget af slam fra renseanlæg, således at skadelige virkninger på jord, planter, dyr og mennesker undgås, og samtidig at tilskynde til en korrekt anvendelse af sådant slam.

³⁰ Bek. nr. 486 af 25. maj 2012 om godkendelse af listevirksomhed (Godkendelsesbekendtgørelsen)

I direktivet forstås ved "slam":

- spildevandsslam fra renseanlæg, der behandler husholdningsspildevand eller byspildevand, eller fra andre renseanlæg, som behandler spildevand med tilsvarende sammensætning;
- spildevandsslam fra septiktanke og andre lignende anlæg til behandling af spildevand;
- spildevandsslam fra andre renseanlæg end de ovenfor nævnte.

Slam skal have en landbrugsmæssig værdi, og det er derfor berettiget at tilskynde til anvendelse af slam i landbruget, forudsat at det anvendes korrekt; anvendelsen af slam fra renseanlæg må ikke påvirke kvaliteten af jorden og dermed af landbrugsprodukter.

Der skal udstedes forbud mod anvendelsen af slam, når koncentrationen af et eller flere tungmetaller i jorden overstiger den grænseværdi, som er fastsat i direktivet. Der skal træffes de foranstaltninger, som er nødvendige for at sikre, at disse grænseværdier ikke overskrides som følge af anvendelsen af slam.

Der skal fastsætte regler for anvendelse af slam, således at der ikke sker en sådan ophobning af tungmetaller i jorden, at de omhandlede grænseværdier for tungmetaller i jorden overskrides. Det sker enten ved fastsættelse af den maksimale mængde slam, udtrykt i tons tørstof, som årligt må anvendes pr. arealenhed, således at de fastsatte grænseværdier for koncentrationen af tungmetaller i slam overholdes, eller ved at sikre, at de fastsatte grænseværdier for mængden af tungmetaller, der tilføres jorden pr. arealenhed eller pr. tidsenhed, overholdes.

Slam skal undergå en behandling, inden det anvendes i landbruget, men medlemsstaterne kan dog på visse vilkår tillade anvendelse af ikke-behandlet slam, hvis slammet nedfældes eller nedpløjes i jorden, og hvis det ikke indebærer fare for menneskers og dyrs sundhed.

I direktivet er der fastsat grænseværdier for indholdet af følgende syv tungmetaller - cadmium, kobber, nikkel, bly, zink, kviksølv og krom – i jorden og i slam til anvendelse i landbruget.

7.10.2 Håndtering af spildevandsslam i visse europæiske lande

Reglerne i medlemslandene følger EU's regler på området og er implementeret i nationale regler, ofte med strengere krav i forhold til de i direktivet fastsatte grænseværdier. I lande som f.eks. Sverige og England er der udarbejdet aftaler mellem spildevandsforsyningerne og landmænd om anvendelse af slam til jordbrugsformål. Sverige har et kvalitetssikringssystem (ReVAQ³¹)

Storbritannien har en frivillig aftale "The Safe Sludge Matrix" (ADAS, 2001), som omfatter krav til behandling af slam ved anvendelse på afgrøder og planter samt Best Code of Practise guidelines. Genanvendelse af spildevandsslam er i England anset som den bedste miljømæssige og bæredygtige håndtering, fordi slammet er rigt på næringsstoffer og humus, som - hvis reglerne følges - ikke udgør en risiko.

I Frankrig har sammenslutningen The French Association of Land Spreading Operators udviklet en metode til at vurdere de sundhedsmæssige risici ved spredning af slam (SYPREA 2007).

I Tyskland har de enkelte delstater meget vide rammer for selvbestemmelse. Dette gælder også inden for håndtering af affald og spildevandsslam. Det betyder, at der kan være delstater, som har forbudt anvendelse af spildevandsslam til jordbrugsformål. Så vidt det vides, har delstaten Baden Württemberg³² frarådet anvendelse af spildevandsslam til jordbrugsformål, og Niedersachsen³³ har udstedt et forbud mod anvendelse af spildevandsslam, som indeholder perfluorerede tensider. Selv

³¹ <http://www.svenskvatten.se/Vattentjanster/Avlopp-och-Miljo/REVAQ/>

³² <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/23871/VortragKaimer.pdf?command=downloadContent&filename=VortragKaimer.pdf>

³³ <http://www.umwelt-online.de/recht/abfall/laender/nds/klaer.htm>

om Forbundsministeriet for Miljø (BMU) såvel som de fleste delstater ikke støtter et totalt forbud mod anvendelse af slam på landbrugsjord, mener nogle af delstaterne, at et totalt forbud bør gøres muligt.

I Schweiz forbød Federal Council i 2003 anvendelse af spildevandsslam til jordbrugsformål med virkning fra 1. maj 2006. Årsagen til forbuddet var, at de fleste schweiziske landmænd i 2003 undgik at anvende spildevandsslam som gødning. Ifølge de schweiziske myndigheder, fordi landmændene var opmærksomme på den forurenings- og sundhedsmæssige risiko ved at anvende spildevandsslam som gødning.

7.11 Diskussion

Arbejdsgruppens diskussioner af eksisterende reguleringsmæssige barrierer for genanvendelse af fosfor ressourcen i spildvandsslam har koncentreret sig om følgende emner:

- 1) Vandsektorlovens bestemmelser om prisloft og dermed begrænsning af mulighederne for teknologiudvikling;
- 2) Deponering: udvinding af ressourcer i aske fra slamforbrænding.

Ad 1) Diskussion af Vandsektorlovens bestemmelser

Krav til reduktion af fosforudledning fra renseanlæggene nødvendiggør, at der på stort set alle renseanlæg sker en fældning af fosfor med et metalsalt (jern eller aluminium). Fosfor i spildevandsslam vil på sigt være en eftertragtet ressource, og det må derfor sikres, at udnyttelsen af fosforen i slammet sker på den teknisk bedste måde. Allerede nu er der teknologier, som kan udvinde fosfor fra termisk behandlet slam, dvs. fra den aske, der kommer fra en separat forbrænding af spildevandsslam.

Det indgår desuden i diskussionen, at en eventuel omsætning ved salg af overskudsvarme og -el, der vil være et naturligt biprodukt i en forbrændingsløsning, ikke må berøre omsætningsloftet, såfremt det betragtes som en tilknyttet aktivitet. Det gælder også omsætningen ved en eventuel biogasproduktion og den herved knyttede el- og varmeproduktion.

27 spildevandsforsyninger i Jylland og på Fyn er gået sammen om at undersøge muligheden for en fælles løsning, baseret på slamforbrænding og efterfølgende udvinding af fosfor fra asken. De 27 spildevandsforsyninger repræsenterer tilsammen ca. 2,1 Mio. indbyggere³⁴.

Generelt er spildevandsforsyningerne interesseret i at kunne disponere slam på en hensigtsmæssig måde, herunder under hensyntagen til drikkevandsinteresser, usikkerhed med hensyn til langtidspåvirkninger af landbrugsjord og med størst mulighed for genanvendelse af fosfor.

Den gældende regulering med et prisloft kan dog virke hæmmende i forhold til selskabernes deltagelse i udviklingsprojekter. Selskaberne skal finansiere deres deltagelse i udviklingsprojekter som en del af deres almindelige driftsomkostninger. Aktiviteterne bliver med andre ord underlagt effektiviseringskrav på samme måde som de øvrige driftsomkostninger.

Prisloftet kan desuden påvirke spildevandsforsyningernes disponering af løsningsvalg uhensigtsmæssigt. Der er risiko for, at dispositionerne styres af prisloftsreguleringen og ikke ud fra, hvad der driftsøkonomisk, eller på sigt, ville være den mest optimale løsning med hensyn til anvendelse af fosfor. F.eks. er afgiften for deponering af aske en 1:1-omkostning og medregnes derfor ikke som en driftsomkostning underlagt effektiviseringskravet. Asken indeholder imidlertid fosfor, der ud fra en ressourcebetragtning kunne anvendes som gødning. Såfremt spildevandsforsyningen håndterer asken med henblik på gødningsformål, bliver udgifterne hertil en del af de almindelige driftsudgifter og indgår således i prisloftberegningerne.

³⁴ <http://www.danva.dk/Default.aspx?ID=3046&TokenExist=no>

Der eksisterer muligheder for at dispensere fra prisloftet, således at f.eks. udviklingsprojekter ikke skal medregnes under prisloftet. Men selvom lovgivningen giver mulighed for dispensation, sker det ikke tit. Benchmarking opleves af spildevandsforsyningerne som en økonomisk spændetrøje, der fjerner incitamentet til teknologiudvikling.

Forsyningssekretariatet er i gang med en høring af lovgivningen, som kan medføre, at reglerne fortolkes anderledes fremover.

Følgende bør overvejes med henblik på at stimulere udvikling og anvendelse af fosforressourcen i spildevand og spildevandsslam ved forskellig teknologi:

- Muliggørelse inden for vandsektorloven af genvinding af fosfor fra aske, som deponeres, f.eks. ved at overføre omkostninger til disponering af slam til 1:1 omkostninger.
- Indregning af udviklingsaktiviteter i prisloftet på samme måde som miljø- og servicemål, f.eks. ved at indføre innovationsmål.
- Opsætning af nationale mål for udnyttelsen af fosfor i spildevand og spildevandsslam.

Ad 2) Deponering:

I relation til deponeringsbekendtgørelsens bestemmelser og muligheder for at nyttiggøre fosforressourcen i slam blev følgende diskuteret:

- Kravet om en grundlæggende karakterisering af affaldet og en vurdering af, om affaldet kan genanvendes eller nyttiggøres forud for en eventuel deponering, er et incitament til nyttiggørelse eller genanvendelse.
- Klassificeringen af deponeringsegnet affald (dvs. som inert, mineralsk, blandet eller farligt affald) kan være både en barriere og et incitament, afhængigt af resultatet af klassificeringen.
- Acceptkriterierne for deponering af inert og farligt affald synes at fungere som et incitament til at undgå deponering og til at finde andre disponeringsformer, herunder oparbejdning/nyttiggørelse.
- Gebyrerne til deponering (den del, som ikke er afgift/skat) varierer fra deponeringsanlæg til deponeringsanlæg, men udgør sammen med afgifterne et incitament til at undgå deponering og i stedet genvinde ressourcerne (set fra affaldsproducentens side). For ejerne af deponeringsanlæggene kan usikkerheden omkring efterbehandlingstidens varighed (eller sikkerhed for lang varighed) og de dermed forbundne udgifter føre til en forhøjelse af udgifterne, hvilket for producenten udgør endnu et incitament til oparbejdning/nyttiggørelse. Dog skal der tages hensyn til eventuelle gebyrer for deponering af en eventuel behandlingsrest fra oparbejdning/nyttiggørelse.

7.12 Andre forhold i relation til regulering af fosfor i slam

7.12.1 Image/ forsigtighedsprincip

Inden for EU anvendes 'forsigtighedsprincippet', hvor der er en erkendt risiko for mennesker og miljø, men hvor denne ikke kan vurderes endeligt på grund af utilstrækkelig videnskabeligt baseret viden³⁵.

³⁵ EU Kommissionens meddelelse om anvendelse af forsigtighedsprincippet: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52000DC0001:DA:HTML>

Anvendelse af forsigtighedsprincippet forudsætter:

- Identifikation af potentielt negative følger af et fænomen, et produkt eller en proces;
- En videnskabelig risikovurdering, som på grund af utilstrækkelige, foreløbige eller unøjagtige data ikke gør det muligt at påvise den pågældende risiko med tilstrækkelig stor sikkerhed.

I relation til anvendelse af spildevandsslam på jordbrugsarealer er risikoen for mennesker og miljø forbundet dels med hygiejniske risici og dels med forekomst af miljø- og sundhedsfarlige stoffer i slammet. Begge disse forhold er reguleret under slambekendtgørelsen, jf. afsnit 7.2. Der er ikke fundet videnskabelige beviser for øget risiko ved anvendelse af spildevandsslam på jordbrugsarealer.

Der er desuden foretaget undersøgelser for PCB og dioxiner i spildevandsslam, som blev eksporteret til Tyskland. Rapporten viste, at hovedparten af resultaterne for PCB lå under den vejledende værdi, samt at de målte niveauer var meget lave (MST, 2012b).

Lovgivningen i dag i en række EU lande, herunder Danmark, regulerer andre stoffer end de, der er omfattet af EU direktivet (se afsnit 7.10 og bilag 10), og kravene til indholdet af tungmetaller er desuden skærpet.

For spildevandsslam anvendt på dyrkningsjord kan følgende forhold benyttes til at motivere en anvendelse af forsigtighedsprincippet ved vurdering af den miljø- og sundhedsmæssige risiko (Jensen, 2011):

- Høje og stigende koncentrationer af de i slambekendtgørelsen regulerede stoffer eller andre indikatorer for indhold af miljø- og sundhedsskadelige stoffer;
- Markant forhøjede koncentrationer af miljø- og sundhedsskadelige stoffer stammende fra slam i jord fra slamgødede marker;
- Beregnede og målte jordkoncentrationer, som overstiger Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier (MST, 2010);
- Et stigende indhold af miljø- og sundhedsfarlige stoffer i afgrøder eller grundvand, såfremt dette kan tilskrives anvendelse af slam eller slambaserede gødningsprodukter.

7.12.2 Økologisk landbrug

Spildevand og slam er i øjeblikket ikke nævnt som mulige gødningsformer til økologisk jordbrug i Plantedirektoratets Vejledning om økologisk Jordbrugsproduktion, juni 2011, bilag 1 om Ikke-økologiske gødningsstoffer og jordforbedringsmidler, der kan bruges i særlige tilfælde. Vejledningen implementerer EU's forordning om økologisk jordbrug³⁶. Husholdningsaffald, der er iblandet spildevand (f.eks. ved hjælp af køkkenkvarne) er heller ikke godkendt. Det samme gælder for produkter af spildevand og slam, f.eks. struvit. Der er imidlertid en diskussion i økologiske kredse om bæredygtighedsgraden af ikke at godkende slam til økologisk jordbrug. I EU er det 'Sub-group on fertilisers and soil conditioners'³⁷ under EU's ekspertgruppe for økologisk jordbrug, der tager beslutning om tilladte gødningsmidler til økologisk jordbrug.

7.12.3 Ændring af afgift på affaldsforbrændingsanlæg

Folketinget vedtog den 28. maj 2009 at omlægge affaldsforbrændingsafgiften til en kombineret energi- og CO₂-afgift. Energiafgiften er siden blevet ændret nogle gange.

Affald er omfattet af tre forskellige afgiftslove, nemlig: Lov om afgifter på affald og råstoffer (deponeringsafgiften), Kulafgiftsloven (affaldsvarmeafgiften og tillægsafgiften) og CO₂-afgiftsloven (CO₂-afgift på forbrænding af fossilt affald).

³⁶ Rådets forordning (EF) nr. 834/2007 af 28. juni 2007 om økologisk produktion og mærkning af økologiske produkter og ophævelse af forordning (EØF) nr. 2092/91

³⁷ http://ec.europa.eu/agriculture/organic/eu-policy/expert-recommendations/expert-group_en

Energiafgiften er i udgangspunktet opdelt i en affaldsvarmeafgift og en tillægsafgift, hvor førstnævnte er indekseret, mens sidstnævnte ikke er. Pr. 1. juli 2011 var afgiftstrykket for de to afgifter på kr. 48,6 pr. GJ.

Det fremgik af Skatteministeriets notat³⁸, at den direkte anledning til at omlægge forbrændingsafgiften er aftalen om Grøn Vækst, hvor regeringen skulle arbejde for en yderligere energiafgiftsmæssig ligestilling mellem affaldsbrændslet vegetabilsk biomasse, som er afgiftsfrit i separate partier, og affaldsbrændslet husdyrgødning, som er pålagt energiafgift. Pres fra enkelte kommuner om billigere forbrænding af spildevandsslam var afgørende for ændring af afgiften. I dag er det biomassebekendtgørelsen³⁹, der definerer, hvornår affald er fritaget for afgift, nemlig når det er optaget på bekendtgørelsens bilag I.

Regeringen har i forlængelse heraf søgt og fået notificeret en 'særlig afgiftsnedsættelse for affaldsbrændsler uden indhold af kulbrinter, herunder affald i form af husdyrgødning' hos Kommissionen. Baggrunden for denne lidt kryptiske tilgang er, at Kommissionen ikke var tilbøjelig til at notificere en fritagelse af husdyrgødning fra den oprindelige, vægtbaserede forbrændingsafgift, da dette blev betragtet som ren statsstøtte til landbruget.

Omformuleringen til, at man i stedet ønsker at fritage kulbrinte-frie affaldsbrændsler, medfører ifølge Skatteministeriet, at man ikke udelukkende vil kunne fritage husdyrgødning, men netop må fritage alle affaldsbrændsler uden indhold af kulbrinter. Dermed vil spildevandsslam og – som det hedder – 'andre partier af brændbart affald, når det består af vedvarende energi' blive fritaget for energiafgifter (dvs. affaldsvarmeafgift og tillægsafgift). Der betales som bekendt i forvejen ikke CO₂-afgift ved forbrænding af affald med et vægtindhold af ikke bionedbrydeligt affald på mindre end 1%.

Det præciseres afslutningsvis, at selv om husdyrgødning eventuelt fritages for energiafgifter, er det ikke ensbetydende med, at det så må afbrændes på gårdanlæg og andre anlæg uden røggasrensning. Affald vil fortsat skulle forbrændes på godkendte forbrændingsanlæg, mens biomasseaffald, optaget på biomasseaffaldsbekendtgørelsens bilag I, også vil kunne brændes på f.eks. fjernvarmeværker. I begge tilfælde altså uden afgift efter 01.01.11.⁴⁰

³⁸ http://www.dakofa.dk/NogH/Dokumenter/070610_Skatteministeriet.pdf

³⁹ BEK nr 1637 af 13/12/2006 om biomasseaffald (Biomassebekendtgørelsen)

⁴⁰ <http://www.dakofa.dk/NogH/Dokumenter/Kulafgiftsloven.%20konsolideret%20version%20februar%202011.pdf>

Skatteministeriets punktafgiftsvejledning:

<http://www.skat.dk/SKAT.aspx?oId=111030&vId=203617&i=300&action=open#i111030>

DAKOFAs Præsentation om beregning af afgift ved slamforbrænding fra 2010

http://www.dakofa.dk/NogH/Dokumenter/Slamafgifter_fra_2010.pdf

Referencer

Andersen, K., Christensen, L.B., Nielsen, S. (1992) Biologisk slambehandling – Undersøgelse af tagrørsbeplantede slamafvandrings- og mineraliseringsanlæg. Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen nr. 38, <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1992/87-503-9811-3/pdf/87-503-9811-3.pdf>, lokaliseret oktober 2012

Andreasen, P. (2004) Barrierer for genanvendelse af slam, Miljøprojekt nr. 927, Miljøstyrelsen

Baingana-Baingi, D.J., Kerchan, L.L.O., Ococi-Jungala, A.H. (1993) Studies on Thiobacillus Ferrooxidans, Makerere University, Kampala, Uganda 1993, for Kasese Cobalt Company Ltd (KCCL), Uganda

Bekendtgørelse nr. 56 af 24. januar 2000 om tilsyn med spildevandsslam m.m. til jordbrugsformål

Bekendtgørelse nr. 1650 af 13. december 2006 om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen)

Bekendtgørelse af lov nr. 1486 af 4. december 2009 om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug (Husdyrgodkendelsesloven)

Bekendtgørelse nr. 1195 af 14. oktober 2010 om vandselskabers deltagelse i anden virksomhed

Bekendtgørelse nr. 1510 af 15. december 2010 om vurdering af visse offentlige og private anlægs virkning på miljøet (VVM)

Bekendtgørelse af lov nr. 415 af 3. maj 2011 om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække

Bekendtgørelse nr. 719 af 24. juni 2011 om deponeringsanlæg (Deponeringsbekendtgørelsen)

Bekendtgørelse nr. 1356 af 21. december 2011 om anlæg, der forbrænder affald (Forbrændingsbekendtgørelsen)

Bekendtgørelse nr. 173 af 27. februar 2012 om prisloftsregulering m.v. af vandsektorloven (samt Bek. nr. 505 af 25. maj 2012)

Bekendtgørelse nr. 486 af 25. maj 2012 om godkendelse af listevirksomhed (Godkendelsesbekendtgørelsen)

Bekendtgørelse nr. 804 af 18. juli 2012 om jordbrugets anvendelse af gødning i planperioden 2012/2013 og om plantedække

Bekendtgørelse nr. 1309 af 18. december 2012 om affald (Affaldsbekendtgørelsen)

Bradford-Hartke, Z, Lant, P and Leslie, G. (2012) Phosphorus recovery from centralised municipal water recycling plants. Chemical Engineering Research & Design, 90 1A: 78-85. 2012

Clowes, L.A., Petersen, P.H., Grøn­bæk, M. (2008) Komposteringsprocessens evne til nedbrydning af miljøproblematisk­e organiske stofgrupper, screening af litteratur, Rambøll Danmark A/S

Cohen, Y., Kirchmann, H., Enfält, P. (2012) Management of Phosphorus Resources – Historical Perspective, Principal Problems and Sustainable Solutions, Integrated Waste Management – Volume II, chapter 13, 247-268, <http://cdn.intechweb.org/pdfs/18489.pdf>, lokaliseret august 2012.

Copenhagen Resource Institute (2012): Phosphorus scarcity. Kap. 2 i Recycling and Sustainable Materials management. Analytical paper for the Danish Ministry of the Environment.

DAKOFA (2012) Behandlingsteknologier, <http://www.dakofa.dk/Portaler/teknologier/default.aspx>

DanishAgro (2012) Konceptavl – Bliv konceptavler og øg din indtægt, http://www.danishagro.dk/multimedia/Konceptavl_samlet1_web1.pdf, lokaliseret oktober 2012

Danmarks statistik (2011) Landbrug 2010 - Statistik om landbrug, gartneri og skovbrug, <http://www.dst.dk/pukora/epub/upload/16212/landbrug.pdf>, lokaliseret august 2012

DANVA (2009) Håndtering af spildevandsslam - Katalog over metoder til behandling og slutdisponering, DANVA Vejledning Nr. 82, juni 2009.

EC DG Environment (2010) Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land, Final Report, Part III: Project Interim Reports, prepared by Milieu Ltd, WRc and RPA for the European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV.G.4/ETU/2008/0076r, http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part_iii_report.pdf, lokaliseret august 2012

EC JRC (2012a) European commission – Joint research centre – Life cycle thinking, http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/lcathinking_vm, lokaliseret 25. Juni 2012

EC JRC (2012b) Supporting environmentally sound decisions for bio-waste management, <http://lct.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/D4A-Guidance-on-LCT-LCA-applied-to-BIO-WASTE-Management-Final-ONLINE.pdf>, lokaliseret 25. Juni 2012,

EC JRC (2012c) European commission – Joint research centre – Life cycle thinking and assessment, life cycle website, ILCD handbook, <http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment/projects>, lokaliseret 25. Juni 2012

Europa Parlamentets og Rådets direktiv 2002/32/EF af 7. maj 2002 om uønskede stoffer i foderstoffer, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002L0032:20090303:DA:PDF>, lokaliseret august 2012

Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2008/98/EF af 19. november 2008 om affald og om op­hævelse af visse direktiver (Affaldsdirektivet)

Europa-parlamentets og Rådets direktiv 2010/75/EU af 24. november 2010 om industrielle emissioner (Integreret forebyggelse og bekæmpelse af forurening).

IFDC (2010) World Phosphate Rock Reserves and Resources, http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADW835.pdf, lokaliseret oktober 2012

Ingitec (2012) Mephrec: <http://www.ingitec.de/>, lokaliseret april 2012

Ingvertsen, S.T., Magid, J., Thaysen, E.M. og Jensen, L.S. (2010) Videnssyntese og factsheets om: Genanvendelse af spildevandsslam og anden affaldsbiomasse til jordbrugsformål, Hvidbogsprojekt udført for Brancheforeningen for Genanvendelse af Organiske Restprodukter til Jordbrugsformål, http://www.dakofa.dk/Aktiviteter/A-N/affald_jord_grundvand/slam/Dokumenter/Hvidbog-2nd-udg-april-2010.pdf, lokaliseret august 2012.

Jensen, J. (2011) Potentiel risiko for jordmiljøet af en række miljøfremmede stoffer i spildevandsslam undersøgt ved litteraturstudier og markforsøg, indlæg på DAKOFA konference "Organisk affald og slam – hvad vej skal det gå?", 4. april 2011, http://www.dakofa.dk/Aktiviteter/konferencer_seminarer/110404/Materiale/1535.%20rev.%20Johansen%20Jensen.pdf, lokaliseret september 2012

Jensen, P.E., Kirkelund, G.M., Ottosen, L.M., Christensen, I.V. (2010) Opgradering af farligt røg-gasaffald, Dansk Kemi, 91, Nr. 4, <http://techmedia.swiflet.com/tm/dak/32/16/>, lokaliseret august 2012.

Kornbasen (2012): Kornbasen: www.kornbasen.dk, lokaliseret juni 2012

Landbrug & Fødevarer (2009) Dansk landbrug i tal 2009, http://www.lf.dk/Tal_og_Analyser/Aarstatistikker/Fakta_om_erhvervet/~media/lf/Tal%20og%20analyser/Aarsstatistikker/Fakta%20om%20Erhvervet/2009/DLT2009.ashx, lokaliseret august 2012

LandbrugsInfo (2011) Oversigt over Landsforsøgene 2011, http://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Landsforsoeg-og-resultater/Oversigten-og-tabelbilaget/Sider/pl_oversigt_over_landsforsoegene_2011.aspx, lokaliseret august 2012

Levlin, E. (2012) Recovery of phosphate from sewage sludge and separation of metals by ion exchange, http://www2.lwr.kth.se/personal/personer/levlin_erik/Ionexchn.pdf, lokaliseret august 2012.

Linderholm, Kersti (2011) Fosfor och dess växttillgänglighet i slam – en litteraturstudie, Svenskt Vatten Utveckling, http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2011-16, lokaliseret august 2012.

Lov nr. 469 af 12. juni 2009 om vandsektorens organisering og økonomiske forhold (Vandsektorloven)

Lov nr. 1388 af 14. december 2010 om ændring af lov om miljøbeskyttelse

Mephrec (2009) Mephrec: http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_koordinierend/bs_naehrstofftage/baltic21/Scheidig.pdf, lokaliseret april 2012

Miljøministeriet (2007) Deponering af affald – baggrundsrapport: Den tværministerielle embedsmandsgruppe om ændret organisering og regulering af affaldsforbrændings- og deponeringsområdet, Miljøministeriet, Finansministeriet, Økonomi- og Erhvervsministeriet, Transport- og Energiministeriet, <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/A340FD39-C091-482A-9A94-DB21627A8C1C/0/Baggrundsrapportomdeponering.pdf>, lokaliseret august 2012.

Montag, D., Gethke, K., Pinnekamp, J. (2012) A Feasible Approach of Integrating Phosphate Recovery as Struvite at Waste Water Treatment Plants, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/cdlodos/pdf/afeasibleapproach551.pdf>, lokaliseret august 2012

MST (2005) Affaldsstatistik 2004, Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 7, Miljøstyrelsen

MST (2010) Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand, opdateret juni og juli 2010, http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/0AB0AF23-4BD6-4901-BCD9-43F6F6FD6FC1/124958/Kvalitetskriterierjord_og_drikkevandfinaljuniojgjl.pdf

MST (2012) Fakta om spildevandsslam, http://mst.dk/virksomhed_og_myndighed/affald/affaldsfraktioner/spildevandsslam, lokaliseret august 2012

MST (2012a) Foreløbig oversigt over affaldshierarkiet og dets nøglebegreber baseret på Europa-Kommissionens "Guidance on the interpretation of the key provisions of Directive 2008/98/EC on waste", personlig kommunikation med Linda Bagge, Miljøstyrelsen, september 2012.

MST (2012b) Undersøgelse af PCB, dioxin og tungmetaller i eksporteret slam til Tyskland, Miljøprojekt nr. 1433, 2012, <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/07/978-87-92903-32-7.pdf>, lokaliseret september 2012

NaturErhvervstyrelsen (2012) Danmarks salg af handelsgødning 2010/2011

Naturstyrelsen (2012) Vejledning om VVM reglerne vedr. rensningsanlæg og anvendelse af spildevandsslam til jordbrugsformål, <http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/188EEA34-FE63-4E47-8789-29877666EBD0/142797/vejlvvmslam.pdf>, lokaliseret 25. juni 2012

MST (2012a) Spildevandsslam fra kommunale og private rensesanlæg i 2008 og 2009, Personlig meddelelse fra Miljøstyrelsen

Naturstyrelsen (2011) Punktkilder 2010, Naturstyrelsen, Miljøministeriet, <http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/EBA393DC-AD63-4A96-9D8B-C04A30FEE2D0/135935/Punktkilder2010.pdf>, lokaliseret august 2012.

Naturstyrelsen (2012) Vejledning om VVM reglerne vedr. rensningsanlæg og anvendelse af spildevandsslam til jordbrugsformål, <http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/188EEA34-FE63-4E47-8789-29877666EBD0/142797/vejlvvmslam.pdf>, lokaliseret september 2012

Ollivier, P., Morin, D., Hau, J.M., Aird, J. (2007) Cobalt Ferrous Pyrite Beneficiation by Biohydro-metallurgy, BRGM, BP 6009, 45060 Orleans Cedex 02, France 1997.

Pedersen, J.S. (2012) Personlig kommunikation, oktober 2012

Randers Spildevand A/S (2012) Bio-Con Tørreanlæg, http://www.randersspildevand.dk/aviva/media/om-randers-spildevand/slamtoerreanlaeg/snit_af_toerret.pdf, lokaliseret august 2012.

Rindel, K. (2012) E-mail og telefonkorrespondance med Kim Rindel, Lynettefællesskabet I/S, April 2012

Rittmann, B.E., Mayer B, Westerhoff P, Edwards M. (2011) Capturing the lost phosphorus. Chemosphere. 84:846-53. 2011

Rubæk, G., Heckrath, G., Knudsen, L. (2005) Fosfor i dansk landbrugsjord, Grøn Viden, Markbrug, nr. 312, september 2005

Schaum, C., Cornel, P., Jardin, N. (2008) Phosphorus Recovery from Sewage Sludge Ash – A Wet Chemical Approach, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/cdlodos/pdf/phosphorusrecovery583.pdf>, lokaliseret august 2012

Sckerl, S.A. (2012) " Historisk stor andel af spildevandsslam til jordbrug, Teknik & Miljø, februar 2012, side 54-55,
http://www.spildevandsslam.dk/media/Historisk_stor_andel_af_spildevandsslam_til_jo.pdf, lokaliseret november 2012

Simon Moos Maskinfabrik A/S (2012)
http://www.simonmoos.com/kalkstabilisering_slam_hygiejnisering.html, lokaliseret august 2012

Susan (2012) AshDec: <http://www.susan.bam.de/>, lokaliseret april 2012

Sturm, G., Weigand, H., Marb, C., Weiß, W., Huwe, B. (2010) Electrokinetic phosphorus recovery from packed beds of sewage sludge ash – yield and energy demand, Journal of Applied Electrochemistry, 40, 1069–1078, <http://www.springerlink.com/content/e352643311rr835/fulltext.pdf>, lokaliseret august 2012.

Sturm, G. (2011) Electrokinetic vs. electro-dialytic recovery of phosphorus from sewage sludge ash, Book of extended abstracts from EREM – 10th Symposium on Electrokinetic Remediation

Uellendahl, H., Ahring, B.K. (2007) Nedbrydning af miljøfremmede stoffer i biogasanlæg, ATV møde fra gylle til grundvand, Schæffergården, Gentofte, 30. januar 2007,
http://vbn.aau.dk/files/14922035/ATV_Uellendahl_xenobiotics_biogas.pdf, lokaliseret november 2012

Umweltinstitut des Landes Vorarlberg (2005) Klärschlammkompost – Abbauverhalten von Schadstoffen während der Kompostierung, Bericht UI-1/2005,
<http://www.vorarlberg.at/pdf/klaerschlammkompost.pdf>, lokaliseret august 2012

Undervisningsministeriet (2011) Spildevand- drift af biologiske anlæg, Efteruddannelsesudvalget for bygge/anlæg og industri, februar 2011

US EPA (1997) Innovative uses of compost – Disease control for plants and animals,
<http://www.epa.gov/osw/conserves/rrr/composting/pubs/disease.pdf>, lokaliseret august 2012

Vanotti, M., Szogi, A. (2009) Technology for recovery of phosphorus from animal wastewater through calcium phosphate precipitation, University of British Columbia, IWA, International Conference on Nutrient Recovery from Wastewater Streams, Maj 2009, side 459-469

Vollertsen J, Petersen G, Borregaard VR (2006). Hydrolysis and fermentation of activated sludge to enhance biological phosphorus removal. Water Science and Technology, 53(12): 55-64.

Whyment, D. (2012) E-mail korrespondance med David Whyment, Rockwool International A/S, April 2012

Zinati, G.M. (2005) Compost in the 20th century: A tool to control plant diseases in nursery and vegetable crops, HortTechnology, January-march, 2005 15(1), 61-66

Zhenhua, G. (2010) Handling of released P from digesters loaded with Bio-P sludge, Water and Environmental Engineering, Department of Chemical Engineering, Lund University, Sweden
Artikel publiceret i Vatten 2010-1, side 41-47

Bilag 1: Oversigt over deltagerne i arbejdsgrupperne

Deltager i arbejdsgruppen Teknologiuudvikling

Organisation	Deltagerens navn
AgroTech (Inbiom)	Thorkild Qvist Frandsen
Cluster Biofuels Denmark	Lilli Sander Jensen
Combineering A/S	Søren Kuch Svenningsen
COWI	Trine Lund Neidel
COWI	Ole Godsk Dalgaard
DAKOFA	Inge Werther
DHI	Peter Andreasen
DHI	Anke Oberender
DTU	Lisbeth M. Ottosen
Danish Road Directorate	Henrik Fred Larsen
DTU Fysik	Claus Hélix-Nielsen
DTU Fysik	Caroline Junker
DTU Fysik	Per Greisen
DTU Miljø	Charlotte Scheutz
Envidan	Jeanette Agertved Madsen
EP Engineering ApS	Nils Peter Astrupgaard
HedeDanmark A/S	Erik Ervolder Olesen
HedeDanmark A/S	Sune Aagot Sckerl
Kommunekemi	Anita Rye Ottosen
Krüger	Peter Tychsen
KU-Life	Lars Stoumann Jensen
KU-Life Forest & landscape	Morten Ingerslev
KU-Life Forrest & landscape	Karsten Raulund-Rasmussen
Lynettefællesskabet I/S	Alice Saabye
Lynettefællesskabet	Dines Thornberg
MST	Morten Carlsbæk
MST	Linda Bagge
Norconsult Danmark A/S	Peter Balslev
Rambøll	Per Haugsted Petersen
Saint-Gobain Weber A/S	Jesper Schmidt
Saint-Gobain Weber A/S	Anders Pødenphant
Spildevandsteknisk Forening	Thomas Hvass Eriksson
TransForm af 1994 ApS.	Jørgen Løgstrup
Videncentret for Landbrug	Anke Stubsgaard
Aalborg Universitet	Per Halkjær Nielsen
Aalborg University Copenhagen	Hinrich Uellendahl

Deltagere i arbejdsgruppen Markedsudvikling

Organisation	Deltagerens navn
Combineering A/S	Søren Kuch Svenningsen
DAKOFA	Inge Werther
Dangødning	Sven Høgh Andersen
DANVA	Helle Katrine Andersen
DHI	Peter Andreasen
DHI	Anke Oberender
DLG	Jan Nielsen
DS	Karin Peters
DTU Fysik	Claus Hélix-Nielsen
Envidan	Jeanette Agertved Madsen
Faxe Kalk A/S	Michael Braae
Grindsted Biogas	Bjarne Bro
Grundfos Management A/S	Torben Hvid
HedeDanmark A/S	Bjarne Sørensen
Kommunekemi	Ole Kristensen
Kommunekemi	Anita Rye Ottosen
Kommunekemi	Morten Kamuk Madsen
Komtek	Bjarne Larsen
Komtek	Bitten Lorentzen
Krüger	Theis Gadegaard
Krüger	Peter Tychsen
KU-Life	Lars Stoumann Jensen
Landbrug & Fødevarer	Henrik Bang Jensen
MST	Morten Carlsbæk
MST	Linda Bagge
NaturErhvervstyrelsen	Troels Knudsen
Orbicon A/S	Steen Michael Nielsen
Rambøll	Per Haugsted Petersen
Saint-Gobain Weber A/S	Anders Pødenphant
TransForm af 1994 ApS.	Jørgen Løgstrup
Vandcenter Syd	Henrik Werchmeister
Vandcenter Syd	Per Henrik Nielsen
Videncentret for Landbrug	Anke Stubsgaard
Videncentret for Landbrug	Leif Knudsen
Aarhus University	Marianne Thomsen

Deltagere i arbejdsgruppen Reguleringsudvikling

Organisation	Deltagerens navn
BGORJ	Maria Kofod Larsen
COWI	Ole Godsk Dalgaard
COWI	Janus Kirkeby
DAKOFA	Inge Werther
DANVA	Helle Katrine Andersen
DHI	Anke Oberender
DHI	Jens Tørsløv
DMU	John Jensen
EP Engineering ApS	Nils Peter Astrupgaard
HedeDanmark A/S	Erik Ervolder Olesen
HedeDanmark A/S	Sune Aagot Sckerl
Kommunekemi	Ole Kristensen
Kommunekemi	Morten Kamuk Madsen
Komtek	Bjarne Larsen
Konkurrence- og forbrugerstyrelsen	Malte Lisberg Jensen
Landbrug & Fødevarer	Henrik Bang Jensen
MST	Linda Bagge
NaturErhvervstyrelsen	Troels Knudsen
NIRAS	Louise Kreilgård
Novozymes A/S	Peder Andreas Mathiesen
Rambøll	Per Haugsted Petersen
Vandcenter Syd	Arne Svendsen
Vandcenter Syd	Per Henrik Nielsen
Vandcenter Syd	Henrik Werchmeister
Aalborg Forsyning, Kloak A/S	Jesper Samsø Pedersen
Aarhus University	Marianne Thomsen

Bilag 2: Beskrivelse af eksisterende teknologier i Danmark til behandling af organisk affald (DAKOFA, 2012)

Beskrivelse af direkte udbringning af spildevandsslam på landbrugsjord

Krav til affaldet	
<i>Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?</i>	Ikke noget anlæg. Der kan håndteres alt spildevandsslam, der er stabiliseret, og som overholder Slambekendtgørelsens krav mht. tungmetaller og miljøfremmede stoffer.
<i>Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?</i>	Jo højere tørstofprocent, des lettere er det at håndtere. Hvis slammet er meget tyndt/lavt tørstofprocent, skal der benyttes gyllevogne i stedet for slamspredere til udspreddning. Hvis slammet er tyndt/flydende, er der desuden begrænsninger på tilladt udspreddningsmængde i efteråret. Urenheder efter spildevandsrensningen forekommer sjældent.
Input	
<i>Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?</i>	Ingen proces. Der benyttes energi til at transportere og udsprede spildevandsslammet på landbrugsjorden.
<i>Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?</i>	
Output	
<i>Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?</i>	Outputtet kommer fra rensningsanlægget og ændrer ikke karakter inden udbringningen.
<i>Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?</i>	
Kulstofkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?</i>	Alt.
<i>Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?</i>	Der vil altid være en biologisk aktivitet, som forårsager tab af kulstof. Ifølge Hvidbogen udarbejdet af BJORJ er tabet dog meget lille.
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	Alt.
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	Intet.
Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Der bruges energi til transport – ellers intet.
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Ingen proces – derfor ingen energi.
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>	
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>	

Miljøforhold og hygiejne	
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?</i>	Ingen betydning, da alt spildevandsslam til direkte udbringning på landbrugsjord overholder kravene i slambekendtgørelsen.
Økonomi	
<i>Hvad koster anlægget?</i>	Intet anlæg.
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	Ingen omkostninger.
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)	
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>	Mange – mindst 20 år.
<i>Hvor udbredt er den (indland og udland), herunder interessen?</i>	Metoden er meget udbredt i Danmark. En nylig opgørelse foretaget af HedeDanmark på vegne af BGORJ viser, at omkring 77 % af alt spildevandsslam i dag bliver udnyttet på landbrugsjord. Metoden er ligeledes meget udbredt i en række europæiske lande bl.a. Tyskland. Det er HedeDanmarks opfattelse, at interessen er stigende, dels pga. de økonomiske aspekter (den billigste metode), dels giver mellemhandlere afsætningsgaranti, således at slammet håndteres uanset kvalitet. Endelig er der en voksende tillid til (både hos spildevandsforsyning og landmænd), at når Slambekendtgørelsens regler bliver overholdt, så er spildevandsslam værdifuld gødning.
<i>Hvor mange anlæg findes der?</i>	Ikke tale om anlæg.

Anlægsspecifik beskrivelse af milekompostering (generel)

Krav til affaldet	
<i>Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?</i>	Alt organisk affald kan komposteres: Kildesorteret organisk dagrenovation, have og parkaffald, afvandet og stabiliseret spildevandsslam, faste organiske restprodukter fra industri og landbrug, afvandet husdyrgødning og halm.
<i>Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?</i>	
Input	
<i>Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?</i>	<p>Komposteringsanlægget drives uden andet supplement end det affald, som modtages. Det er muligt at kompostere en enkelt fraktion, men typisk vælger man at blande forskellige fraktioner således, at:</p> <ul style="list-style-type: none"> • der er tilpas med struktur til at sikre en god iltning under komposteringen • der er tilpas med let omsætteligt kulstof • blandingen hverken er for våd eller for tør. <p>Det er dog vigtigt, at større produkter neddeles, inden de anvendes. Urenheder som jern, plast og papir i affaldet hæmmer ikke processen. Papir nedbrydes ved komposteringen, og jern og plast frasorteres efter kompostering. Det kan være en udfordring for primært slamkomposteringsanlæg at finde tilstrækkeligt med let omsætteligt kulstof. For at imødekomme dette, bruges der f.eks. haveaffald og halm (ofte kasse-ret).</p> <p>Der anvendes strukturmateriale for at sikre aerobe forhold under komposteringen. Dette strukturmateriale udgøres af neddelte grene m.v. fra have- parkaffaldet. Efter sortering genanvendes en stor del af strukturmaterialet. Derved kommer det også til at fungere som podemateriale med bakterier og svampe og sikrer hurtig igangsætning og optimal omsætning af den næste mile.</p> <p>Strukturmateriale udgør 40-60 % af kompostmilen, og halm eller anden kulstofkilde tilføres ofte og udgør 2-15 % af den samlede mængde råvarer.</p>
<i>Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?</i>	
Output	
<i>Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?</i>	<p>Kompost, som udgør 40-60 % af det oprindelige materiale. Pr. ton er der således tale om 400-600 kg. Ved en god milekompostering reduceres den oplagte mængde med typisk 30-50 % i forhold til det samlede input. Reduktionen sker pga. vand, som fordamper, og kulstof, der nedbrydes til CO₂. Vandet stammer både fra råvarerne og fra vand dannet ved nedbrydningen af det organiske stof.</p> <p>Efter komposteringen sigtes materialet. Alt efter anvendte affaldsfraktioner og typer sigte kan følgende fordeling opnås:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25-50 % sigterest, større pinde som bruges i næste mileblanding

	<p>(som strukturmateriale)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,01-0,03 % jern • 0,5-3 % sten • 0-3 % plast. <p>Ud over CO₂ og vanddamp afgives også andre gasser, primært ammoniak, og nogle lugtforbindelser. Mængden af stoffer i afkastluften afhænger af, hvorledes anlægget drives, og hvilken affaldssammensætning der arbejdes med. Drives et anlæg korrekt, vil forekomst af gasser som metan, svovlbrinte og lattergas være lille. Men ved mangelfuld styring af komposteringsprocessen eller ustabil sammensætning af råvarer ved oplægning af milen, kan disse gasser nemt opstå i større omfang. Alle kompostanlæg producerer perkolat (evt. også spildevand i form af regnvand, som opsamles fra den faste belægning). I visse tilfælde kan dette bruges som procesvand, hvis der primært komposteres tørre produkter. Mængden af spildevand er meget variabel og kan derfor ikke fastsættes præcist. Eksempelvis varierer nedbørsmængden i Danmark regionalt mellem 400 og 1200 mm pr. år.</p>
<i>Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?</i>	
Kulstofkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?</i>	<p>Der er svært at sige, hvor meget kulstof der indgår i en kompostmile. I rent haveparkaffald er indholdet højt og kan komme op på omkring 50-60 %. I slam/restprodukter fra biogasproduktion, hvor en stor del af kulstoffet er omdannet til biogas og CO₂, og i f.eks. slam og gyllefibre, kan kulstofindholdet være nede på omkring 40 %.</p> <p>I en gennemsnitlig kompostering nedbrydes mellem 15-30 % af kulstoffet. Det er dog den let-omsættelige del, som nedbrydes. Ved at anvende komposten til jordbrugsformål ophobes den tungt omsættelige kulstof i jorden. Langtidsforsøg med husdyrgødning viser, at der årligt kan bindes 10-15 % af den tilførte kulstofmængde, set i et 100-årigt perspektiv. Da en stor del af det let omsættelige i komposten allerede er omsat (i forhold til husdyrgødning), kan det derfor forventes, at bindingen af kulstof i jorden kan være større for kompost.</p>
<i>Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?</i>	
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	<p>Mængden af fosfor, som indgår i processen, er variabel, da råvarerne/materialet ikke er ens. Der frigives fosfor ved nedbrydning af det organiske stof, men dette optages i vidt omfang af mikroorganismene igen. I den store sammenhæng vil fosfor derfor hverken fjernes/nedbrydes eller i væsentligt omfang ændre bindingsform (opløselighed). Det betyder, at den mængde fosfor, der kommer ind, kommer ud igen med stort set samme plantetilgængelighed. Komposteringen sikrer derved genanvendelse af den fosfor, der er i affaldet.</p> <p>Det samme er tilfældet for kalium og en række mikronæringsstoffer. Under komposteringen afgives omkring 20-30 % kvælstof (N). Ved optimeret milekompostering damper typisk frit kvælstof af og en lille</p>

	del som ammoniak, der kan opsamles ved luftrensning.
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	
Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Ved milekompostering af 1 tons spildevandsslam med TS 20 % anvendes 2½ l brændstof/diesel til maskiner (gummiged, milevender, sorteringsanlæg m.v.). Der anvendes brændstof/diesel til maskiner (milevender, gummiged m.v.) og el til ventilationsanlæg og sorteringsmaskine. Det er ikke p.t. muligt at angive præcist, hvor meget der direkte anvendes til komposteringen. Som helhed anvendes i gennemsnit ca. 2,9 liter diesel og ca. 6,1 kWh el til behandling af 1 ton indgående råvarer (alle indgående materialer medtaget). Dette svarer til 127 MJ/ton eller 35 kWh. Heraf udgør 10-15 % el til ventilation og luftrensning.
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Ingen
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>	
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>	Frigives til omgivelserne.
Miljøforhold og hygiejne	
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?</i>	Ved en effektiv milekompostering nedbrydes alle ukrudtsfrø og normalt også oftest forekommende patogener, og der opnås et hygiejnisk rent produkt. Nedbrydning sker som følge af både høj biologisk aktivitet og højt iltindhold i kompostprocessen. Der kommer samme mængder tungmetaller ud af processen, som der kommer ind. Der sker nedbrydning af en lang række miljøproblematisk og miljøfremmede organiske forbindelser; dette gælder specifikt for LAS, PAH, DEPH, NPE og Triclocan. Desuden foreligger undersøgelser, der viser nedbrydning/reduktion af en lang række andre organiske forbindelser som f.eks. medicinrester, østrogener mv. Den eksisterende viden om dette er dog begrænset, da der kun er foretaget få studier. Der er behov for flere og større undersøgelser.
Økonomi	
<i>Hvad koster anlægget?</i>	Både affaldsfraktioner og lokale miljøforhold har indflydelse på økonomien omkring et anlæg. Anlæg til kompostering af spildevandsslam koster afhængigt af anlægskapacitet mellem 1.500 og 2.000 kr. per tons slam behandlet årligt (TS 20 %).
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	Driftsomkostninger ligger typisk på: • 150-200 kr. pr. ton for simpelt haveparkaffald. • 350-575 kr. pr. ton for spildevandsslam og organisk dagrenovation.
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)	
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>	Mere end 15 år og længere tid i udlandet.
<i>Hvor udbredt er den (indland og udland), herunder interessen?</i>	I Danmark er milekompostering den mest anvendte komposteringsmåde, når det kommer til mere komplicerede affaldsfraktioner som

	f.eks. spildevandsslam.
<i>Hvor mange anlæg findes der?</i>	6-8 anlæg i Danmark (Komtek A/S, Faxe Slamkompostering (Affald-plus), Odense Nord Miljøcenter (Odense Renovationsanlæg), Freiberg og Jespersen A/S, REFA Miljøcenter Gerringe,

Anlægsspecifik beskrivelse for Odense Nord Miljøcenter komposteringspladsen (milekompostering)

Krav til affaldet	
<i>Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?</i>	Komposteringsanlægget har i 2011 modtaget følgende affaldsfraktioner: <ul style="list-style-type: none"> • Spildevandsslam, 17.186 tons • Have/park affald, 32.812 tons • Halm, 3.142 tons <p>I alt 53.140 tons</p>
<i>Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?</i>	
Input	
<i>Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?</i>	Have/park affald anvendes som strukturmateriale, men er medregnet ovenfor under relevante affaldsfraktioner.
<i>Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?</i>	
Output	
<i>Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?</i>	Ud fra de nævnte affaldsmængder blev afsat <ul style="list-style-type: none"> • 21.347 tons slamkompost (som betegnes biokompost?) • 2.215 tons have-parkkompost <p>I alt 23.562 tons kompost.</p> <p>Dvs. at der sker en 55 % reduktion af inputmateriale, hvilket dels skyldes nedbrydning, dels fordampning af vand.</p>
<i>Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?</i>	
Kulstofkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?</i>	
<i>Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?</i>	
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	
Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Diesel: 132.989 liter i 2011, svarende til 2,5 liter diesel per ton affald (inkl. have/park affald).

	El (til pumper, overfladevand og perkolathåndtering): 49.894 kWh i 2011, svarende til 0,94 kWh/ton affald (inkl. have/park affald).										
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Ingen energiproduktion ved kompostering.										
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>											
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>											
Miljøforhold og hygiejne											
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?</i>											
Økonomi											
<i>Hvad koster anlægget?</i>											
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	<p>Nuværende takster (2011): Behandlingspris, slam: 515 kr./ton Behandlingspris, have/park affald: 141 kr./ton Afsætning, inkl. transport til og udspreddning hos kunde: 110,16 kr./ton</p> <p>Driftsomkostninger, 2011:</p> <table> <tr> <td>Produktionsomk.</td> <td>7.486.000 kr.</td> </tr> <tr> <td>Adm.omk.</td> <td>346.000 kr.</td> </tr> <tr> <td>Afskrivninger</td> <td>4.858.000 kr.</td> </tr> <tr> <td>Finansielle udg.</td> <td>903.000 kr.</td> </tr> <tr> <td>Totalt</td> <td>13.593.000 kr.</td> </tr> </table>	Produktionsomk.	7.486.000 kr.	Adm.omk.	346.000 kr.	Afskrivninger	4.858.000 kr.	Finansielle udg.	903.000 kr.	Totalt	13.593.000 kr.
Produktionsomk.	7.486.000 kr.										
Adm.omk.	346.000 kr.										
Afskrivninger	4.858.000 kr.										
Finansielle udg.	903.000 kr.										
Totalt	13.593.000 kr.										
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)											
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>											
<i>Hvor udbredt er den (indland og udland), herunder interessen?</i>											
<i>Hvor mange anlæg findes der?</i>											

Anlægsspecifik beskrivelse for KomTek (milekompostering)

Krav til affaldet	
<i>Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?</i>	Komposteringsanlægget har i 2011 modtaget følgende affaldsfraktioner: <ul style="list-style-type: none"> • Spildevandsslam (B-slam, ca. 22 % TS), ca. 20.000 tons • Have/park affald, ca. 32.000 tons • Organisk affald, 6-7.000 tons • Halm, 3-4.000 tons • Andet, 18.000 tons • Formidling af A-slam, 80-100.000 tons
<i>Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?</i>	
Input	
<i>Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?</i>	Have/park affald samt halm anvendes som strukturmateriale, men er medregnet ovenfor under relevante affaldsfraktioner.
<i>Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?</i>	
Output	
<i>Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?</i>	Der produceres årligt ca. 10.000 tons kompost med ca. 60 % TS. Næringsstofindhold: 0,012 kg N/kg TS 0,0135 kg P/kg TS 0,021 kg K/kg TS 0,0047 kg Mg/kg TS 0,013 kg S/kg TS Vægtfylde: 670 kg/m ³ Kalkvirkning, Ca-CaCO ₃ : 79,6 kg /m ³
<i>Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?</i>	Luftemissioner: 8,25 kg CO ₂ /ton indgået materiale 0,00042 kg SO ₂ /ton indgået materiale 0,0063 kg NO _x /ton indgået materiale
Kulstofkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?</i>	
<i>Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?</i>	
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	

Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	El: 4,44 kWh/ton modtaget materiale Fyringsolie: 0,068 l/ton modtaget materiale Diesel: 2,3 l/ton modtaget materiale
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Ingen energiproduktion ved kompostering.
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>	
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>	
Miljøforhold og hygiejne	
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?</i>	
Økonomi	
<i>Hvad koster anlægget?</i>	
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)	
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>	
<i>Hvor udbredt er den (indland og udland), herunder interessen?</i>	
<i>Hvor mange anlæg findes der?</i>	

Anlægsspecifik beskrivelse for containerkompostering med passiv beluftning, firma CompSoil Danmarks ApS (container kompostering)

Krav til affaldet	
<i>Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?</i>	Alle typer organisk affald, herunder slam fra spildevandsrensning.
<i>Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?</i>	For så vidt angår slam, må det gerne indeholde miljøfremmede organisk stoffer, der overskrider grænseværdierne for direkte anvendelse til jordbrugsformål. Tørstofindholdet skal være mellem 15 og 35 %.
Input	
<i>Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?</i>	For så vidt angår kompostering af slam, skal der anvendes en egnet kulstofkilde, så C/N forholdet er mellem 18 og 30, strukturmateriale så luftporevolumenet er på mere end 30 %, og væske så TS er mellem 35 og 45 %.
<i>Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?</i>	
Output	
<i>Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?</i>	Kompost til jordbrugsformål og til plantemedie.
<i>Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?</i>	Eventuelle urenheder fra de anvendte materialer, der indgår i processen, frasorteres efter endt kompostering.
Kulstofkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?</i>	Normalt omkring 40 % af den samlede mængde på tørstofbasis.
<i>Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?</i>	Det afhænger meget af bionedbrydeligheden af kulstoffet i input materialerne og modenheden af den producerede kompost, men normalt mellem 25 og 35 %.
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	Det afhænger af indholdet i inputmaterialerne, men normalt ca. 1 % på tørstofbasis.
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	Intet målbart.
Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Energiforbruget til 1 tons indgået slam med TS 20 %, hvilket giver en produktion af 1,3 ton færdig kompost med TS ca. 60 %, er ved: <ul style="list-style-type: none"> • Kontrolleret kompostering: <ul style="list-style-type: none"> ○ 4,1 l diesel ○ 2,37 kWh • Kontrolleret hygiejnisering efter kompostering: <ul style="list-style-type: none"> ○ 3,62 l diesel ○ 8,41 kWh
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen?</i>	Der produceres energi ved den biologiske nedbrydning svarende til

<i>sen, og hvilke(n) type(r)?</i>	tabet af kulstof.
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>	
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>	Den energi, der produceres, kan ikke udnyttes.
Miljøforhold og hygiejne	
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?</i>	Komposteringsprocessen kan helt eller delvist nedbryde miljøfremmede organiske stoffer som f.eks. LAS, NPE, DEHP og PAH samt medicinrester, hormonstoffer m.m. Komposteringsprocessen kan gennemføres som kontrolleret kompostering og, hvis ønsket, med efterfølgende kontrolleret hygiejnisering.
Økonomi	
<i>Hvad koster anlægget?</i>	Anlægget består af et blandaanlæg og et antal containere afhængigt af de mængder, der ønskes komposteret. Prisen er derfor meget afhængig af anlæggets størrelse og kapacitet. Et anlæg til kontrolleret kompostering af 15.000 tons (TS 20 %) koster ca. 15 mio. kr.
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	Afhænger af anlæggets størrelse. Et anlæg til kontrolleret kompostering af 15.000 tons (TS 20 %) har årlige driftsomkostninger på kr. 4,2 mio. ud over omkostninger til energiforbrug.
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)	
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>	4 år.
<i>Hvor udbredt er den (indland og udland), herunder interessen?</i>	Tilsvarende teknologi med container kompostering, men med aktiv beluftning af containere, findes i udlandet.
<i>Hvor mange anlæg findes der?</i>	1 anlæg i Danmark (Balgårde Landhandel).

Anlægsspecifik beskrivelse for et biologisk slammineraliseringsanlæg (generel)

Krav til affaldet	
<i>Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?</i>	Spildevandsslam, vandværksslam, industrislam. Pt. testes desuden for dambrugsslam. (Udrådnat slam er ikke egnet som inputmateriale.)
<i>Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?</i>	Pumpbart og stabiliseret. Tørstof i slammet oftest 0,5-5 % Tørstof (oftest og helst 0,5-2 %). Højt organisk indhold, især fedt og olie nedsætter proceseffektiviteten
Input	
<i>Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?</i>	Der skal bruges energi til at tillede slam. Tagrør sikrer fordampning, mekanisk påvirkning af slamrest samt tilførsel af ilt til processer og udgør ved nedvisning struktur materiale i slamresten. Der skal ikke bruges polymer.
<i>Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?</i>	Oftest dimensioneres til 20-60 kg TS pr. m ² pr. år alt afhængigt af slamtype og slamkvalitet.
Output	
<i>Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?</i>	Mineraliseret slam med en tørstof procent på op til 20-40 % TS, alt afhængigt af slamtype og kvalitet. Slamresten opgraves og udspreddes (A-slam). Rejektvand med lavt indhold af SS, N og P.
<i>Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?</i>	Ved utilsigtet drift kan der forekomme lugt. Normal ingen lugt.
Kulstofkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?</i>	
<i>Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?</i>	
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	Fosforindholdet i slammet til bassinerne ligger oftest på ca. 20.000-40.000 mg/kg TS, afhængigt af mængde og type fældningskemikalie.
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	Fosforindholdet i slamresten kan ved tømning tilføres landbrugsjord som plantenæringsstof. Fosforindholdet i slutproduktet ligger oftest på ca. 30.000-50.000 mg/kg TS.
Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Lavt energiforbrug. Kun en slam- og rejektvandspumper. CO ₂ - emission Estimering af CO ₂ emission ved - Mekanisk slambehandling - Biologisk slammineralisering

	<p>Mekanisk slambehandling CO2 emissionen ved den mekanisk slambehandling er estimeret til følgende:</p> <table> <tr> <td>Afvanding i centrifuge</td> <td>13.000 kg CO2/år</td> </tr> <tr> <td>Transport</td> <td>8.500 -</td> </tr> <tr> <td>Tørring og pilletering</td> <td>6.800 -</td> </tr> <tr> <td>Slutanbringelse på landbrugsjord</td> <td>1.300 -</td> </tr> <tr> <td></td> <td>29.600 kg CO2/år</td> </tr> </table> <p>Biologisk slambehandling CO2 emissionen ved biologisk slambehandling er estimeret til følgende:</p> <table> <tr> <td>Energiforbrug til drift af mineraliseringsanlæg</td> <td>3.700 kg CO2/år</td> </tr> <tr> <td>Slutanbringelse på landsbrugsjord</td> <td>2.900 -</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6.600 kg CO2/år</td> </tr> </table>	Afvanding i centrifuge	13.000 kg CO2/år	Transport	8.500 -	Tørring og pilletering	6.800 -	Slutanbringelse på landbrugsjord	1.300 -		29.600 kg CO2/år	Energiforbrug til drift af mineraliseringsanlæg	3.700 kg CO2/år	Slutanbringelse på landsbrugsjord	2.900 -		6.600 kg CO2/år
Afvanding i centrifuge	13.000 kg CO2/år																
Transport	8.500 -																
Tørring og pilletering	6.800 -																
Slutanbringelse på landbrugsjord	1.300 -																
	29.600 kg CO2/år																
Energiforbrug til drift af mineraliseringsanlæg	3.700 kg CO2/år																
Slutanbringelse på landsbrugsjord	2.900 -																
	6.600 kg CO2/år																
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?</i>																	
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>	-																
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>	-																
Miljøforhold og hygiejne																	
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?</i>	Miljøfremmede stoffer omsættes effektivt under mineraliseringsprocessen.																
Økonomi																	
<i>Hvad koster anlægget?</i>																	
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	Lave driftsomkostninger. Kun en slam- og rejektvandspumpe. Grøn vedligeholdelse omkring bassiner og installationer.																
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)																	
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>	Ca. 25 år.																
<i>Hvor udbredt er den (indland og udland), herunder interessen?</i>	Mange anlæg i hele Europa (700 – 800). Stor interesse for metoden generelt i ind- og udland. Derudover er der interesse for metoden bl.a. til afvanding af andre slamtyper (drikkevand, dambrug etc.) end spildevandsslam. I England påbegyndes behandlingen af slam i et anlæg på 8 Ha med 16 bassiner til behandling af slam fra drikkevandsproduktion til 1,5 mill mennesker.																
<i>Hvor mange anlæg findes der?</i>	Ca. 140 anlæg i Danmark, heraf er der nedlagt ca. 10 mindre anlæg bl.a. pga. kommunesammenlægningen.																

Anlægsspecifik beskrivelse for Grindsted biogasanlæg

Krav til affaldet	
Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?	<p>Anlægget kan håndtere organisk affald uden urenheder.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spildevandsslam (39.000 tons) • Organisk industriaffald (12.200 tons) • Kildesorteret organisk dagrenovation (1.150 tons) • Organisk affald fra detail (250 tons). <p>Den faste del af affaldet har et tørstofindhold på 30-40 %.</p>
Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?	<p>Affaldet skal være uden urenheder, især plast kan give problemer.</p> <p>Det organiske husholdningsaffald er indsamlet i papirposer og sække og indeholder meget få urenheder. Forbehandlingen af denne fraktion består af en shredder og en magnet til fjernelse af metal.</p> <p>Affaldet pulpes inden bioforgasningen. Her blandes de forskellige affaldstyper. Det faste affald blandes med slam i forholdet 1:9 (vådvægt), hvilket giver et tørstofindhold på ca. 5-6 %. Herefter iblandes industriaffaldet, hvilket giver et tørstofindhold på ca. 6 %.</p> <p>Herefter opvarmes blandingen til ca. 70 grader C i en time (hygiejnisering) i en separat tank</p> <p>Selve bioforgasningen foregår mesofilt, ved ca. 37 grader C.</p> <p>Restproduktet fra biogasprocessen har et tørstofindhold på 2,5 %. Plastic og andre urenheder frasorteres i en sigte inden slammet afvandes til 24 %, hvorefter det kan anvendes på landbrugsjord (kan opbevares i slamlager i op til et år, afhængig af årstid for slamudbringning).</p>
Input	
Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?	Der anvendes kemikalier, men det er ikke specificeret hvilke.
Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?	
Output	
Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?	Der produceres biogas og restprodukt (gødning)
Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?	<p>Ved forbehandling af det organiske husholdningsaffald fremkommer et rejekt, som består af metal og "påklistret" organisk materiale.</p> <p>Ved sigtning af restproduktet fra biogastanken fremkommer et rejekt, der består af plast og andre uønskede emner.</p>
Kulstofkredsløbet	
Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?	Det organiske affald, der indgår i processen har et højt kulstofindhold. Det præcise indhold afhænger af den type affald, der behandles.
Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?	En stor del af kulstoffet nedbrydes i biogasprocessen, idet det indgår i biogassen. Grindsted regner med, at ca. 60 % af COD nedbrydes i

	biogasprocessen som gennemsnit for alt affald, der behandles.
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	De affaldsstrømme, der behandles på anlægget indeholder i størrelsesordenen 43 tons P/år.
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	Ifølge Grindsted genfindes ca. 74 % af det P, der er i affaldet, der behandles på anlægget, i de restprodukter, der afsættes til landbrugsjord.
Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Der anvendes 0,55 GWh el og 2,4 TJ varme til den årlige mængde affald, der er beskrevet under affaldstyper (i alt 52.600 tons).
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	<p>Det angives ikke direkte, hvor meget biogas, der produceres per ton input.</p> <p>Det angives, at der produceres 1,55 GWh el og 8 TJ varme fra den angivne affaldsmængde (blanding, i alt 52.600 tons). I forhold til den nedbrydning, der kan måles på anlægget, og den deraf producerede mængde biogas, burde der kunne produceres 1,76 GWh el og 8,46 TJ varme, svarende til en nedbrydning på gennemsnitligt 60 %.</p> <p>En af de praktiske begrænsninger er p.t. den gasmotor, der findes på anlægget (kan ikke aftage al den producerede gas).</p>
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>	
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>	Overskydende afsættes til elnettet. Varmen afsættes?
Miljøforhold og hygiejne	
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?</i>	Tungmetaller fjernes ikke ved processen. Nogle miljøfremmede stoffer vil muligvis nedbrydes under biogasprocessen. (Uellendahl & Ahring, 2008) Smitstoffer skulle fjernes ved hygiejniseringsprocessen.
Økonomi	
<i>Hvad koster anlægget?</i>	Grindsted skønner, at anlægget i dag ville koste i omegnen af 8,2 mio. Euro i investeringer.
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	Driftsomkostningerne (mandskab, vedligehold, kemikalier og energi) skønnes at ligge omkring 200.000 Euro/år
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)	
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>	Anlægget har været i drift siden 1997.
<i>Hvor udbredt er den (indland og udland), herunder interessen?</i>	Teknologien er specielt tilpasset blandingen af slam og organisk dagrenovation, men er baseret på våd biogasteknologi, der også anvendes i f.eks. biogasfællesanlæg.
<i>Hvor mange anlæg findes der?</i>	Selve biogasteknologien er derfor meget udbredt, mens kombinationen med organisk dagrenovation (og deraf følgende forbehandlingsfaciliteter) er det eneste anlæg i Danmark.

Anlægsspecifik beskrivelse for Randers tørringsanlæg

Krav til affaldet	
Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?	Spildevandsslam
Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?	Udrådnat og 20 % TS
Input	
Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?	7.000 tons spildevandsslam/år Energi
Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?	
Output	
Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?	1.560 tons tørret slam med en TS på 90 %. Lagerstabil granulat med en vægt på ca. 250-300 kg/m ³ .
Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?	
Kulstofkredsløbet	
Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?	
Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?	
Fosforkredsløbet	
Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?	
Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?	
Energi og klima	
Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?	
Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?	
Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?	
Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?	
Miljøforhold og hygiejne	
I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?	
Økonomi	
Hvad koster anlægget?	
Hvor store er driftsomkostningerne?	Tørreanlæggets kapacitet 1.600 kg/time

	Antal driftstimer	4.800 årligt
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)		
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>		
<i>Hvor udbredt er den (indland og udland), herunder interessen?</i>		
<i>Hvor mange anlæg findes der?</i>	2-3 anlæg i Danmark?	

Anlægsspecifik beskrivelse for tørret slam til Leca® produktion

Krav til affaldet	
<i>Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?</i>	Saint-Gobain Weber A/S har et ønske om at erstatte de primære fossile brændsler med alternative brændsler som f.eks. spildevandsslam. I dag anvender Weber alternative brændsler, såsom kød og benmel og vandige opløsningsmidler fra medicinalindustrien. Når spildevandsslam anvendes som brændsel eller additiv i en Leca®-produktion, bliver asken fra slammet indbygget i produktet. Weber er via deres miljøgodkendelse godkendt til anvendelse af spildevandsslam i produktionen og er endvidere optaget på Miljøstyrelsens liste over virksomheder, der kan genanvende spildevandsslam.
<i>Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?</i>	Tørret spildevandsslam.
Input	
<i>Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?</i>	
<i>Hvor store er mængde- og størrelsesforholdene for disse input?</i>	På nuværende tidspunkt er projekteringen af en modtagestation til spildevandsslam, ved at blive afsluttet, hvilket betyder, at Saint-Gobain Weber A/S er klar til at modtage 10.000 ton/år ultimo 2012 og 25.000 ton/år ultimo 2013. Webers ambition er at introducere 100.000 ton spildevandsslam i produktionen af Leca®.
Output	
<i>Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?</i>	Leca® Slammet vil både blive anvendt som brændsel og asken tilsat leret hvor det erstatter blegejord, som er det nuværende ekspansionsmiddel i processen. Asken, som indgår i produktet, består primært af silicium, calcium og jern, som alle er nødvendige ved produktionen af Leca®.
<i>Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?</i>	
Kulstofkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?</i>	
<i>Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?</i>	
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	Den mængde som er indeholdt i det tørrede slam.
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	Hele fosformængden tabes.
Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Saint-Gobain Weber A/S har et ønske om at erstatte de primære fossile brændsler med alternative brændsler. I dag anvender Weber alternative brændsler, såsom kød og benmel og vandige opløsningsmidler

	<p>fra medicinalindustrien.</p> <p>Det tørrede slam vil indgå i processen bl.a. som energikilde. Spildevandsslam er at regne som et CO₂ frit brændsel. Weber har erfaret, at spildevandsslam har en reducerende effekt på NO_x-emissionen, hvorfor en løsning til NO_x- reduktion er på tegnebrættet.</p>
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	Tørret slam har en brændværdi på ca. 12 MJ/kg alt efter vandindhold.
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>	
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>	
Miljøforhold og hygiejne	
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?</i>	Da der i fremstillingsprocesserne opnås temperaturer på over 900 °C destrueres alle organiske forbindelser uden risiko for påvirkning af miljø og kvalitet.
Økonomi	
<i>Hvad koster anlægget?</i>	
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)	
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>	<p>Under udvikling. På nuværende tidspunkt er projekteringen af en modtagestation til spildevandsslam ved at blive afsluttet. Fremtidige planer er at udføre termisk forgasning af spildevandsslam, hvorved askefraktionen er tilgængelig for fosforudvinding. Det undersøges ligeledes om det er muligt at fremstille et Leca[®]-plantemedie, som tænkes anvendt ved f.eks. gartneri- og havebrug.</p> <p>Weber er via deres miljøgodkendelse godkendt til anvendelse af spildevandsslam i produktionen og er endvidere optaget på Miljøstyrelsens liste over virksomheder, der kan genanvende spildevandsslam.</p>

Anlægsspecifik beskrivelse for tørret slam til cementproduktion, Aalborg Portland

Krav til affaldet	
Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?	Spildevandsslam.
Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?	Tørret slam med min. 90 % TS.
Input	
Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?	
Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?	
Output	
Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?	Cement. Slammets indhold af mineraler integreres i cementen.
Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?	
Kulstofkredsløbet	
Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?	
Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?	
Fosforkredsløbet	
Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?	Den mængde som er indeholdt i det tørrede slam.
Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?	Hele fosformængden tabes.
Energi og klima	
Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?	Det tørrede slam vil indgå i processen bl.a. som energikilde og erstatte kul med CO ₂ -neutralt tørret spildevandsslam.
Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?	
Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?	
Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?	
Miljøforhold og hygiejne	
I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?	
Økonomi	
Hvad koster anlægget?	
Hvor store er driftsomkostningerne?	
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)	
Hvor mange år har teknologien på bagen?	

Anlægsspecifik beskrivelse for tørret slam til produktion af rockwool hos Rockwool

Krav til affaldet	
<i>Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?</i>	Slamaske, som hos Rockwool benyttes i stedet for andre råmaterialer, såsom basalt.
<i>Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?</i>	Aske fra monoforbrænding af spildevandsslam. Krav til kvaliteten af den slamaske, som benyttes i processen er begrænset til indhold af tungmetaller. Rockwool modtager bl.a. slamaske fra Lynettefællesskabet, og erfaringen viser, at indholdet af tungmetaller typisk ikke er noget problem i forhold til produktkrav.
Input	
<i>Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?</i>	Slamasken støbes ind i briketter sammen med de øvrige råstoffer og føres til højovnen sammen med koks. Her smeltes de ved 1400-1900 °C og den flydende stenmasse løber ned på et hurtigt roterende spindehjul, som slynger den ud i fine tråde.
<i>Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?</i>	
Output	
<i>Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?</i>	Rockwool
<i>Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?</i>	
Kulstofkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?</i>	
<i>Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?</i>	
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	Den mængde som er indeholdt i det tørrede slam.
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	Hele fosformængden tabes. Hertil kommer at fosforindholdet kan være begrænsende for anvendelsen af slamaske.
Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>	
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>	
Miljøforhold og hygiejne	
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstof-</i>	Slamasken erstatter jomfruelige stenmaterialer.

<i>fer?</i>	
Økonomi	
<i>Hvad koster anlægget?</i>	
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	<p>Prisen for råmaterialerne vil typisk ligge i størrelsesorden 100-150 DKK/ton gratis leveret, mens Rockwool betales for modtagelsen af slamasken (Whymment, 2012).</p> <p>Selvom et rensningsanlæg skal betale for afsætning af slamaske til produktion hos Rockwool, er det en billigere løsning end deponeringen af asken på et deponeringsanlæg (Rindel, 2012), hvor omkostningerne består af deponeringsafgiften på 475 DKK/ton aske plus driftsomkostningerne for deponeringsanlægget.</p>
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)	
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>	<p>Der er kapacitet til at modtage større mængder slamaske, og sikkerheden for, at tilstrækkelige mængder slamaske stilles til rådighed for produktionen, vægtes højere end andre kriterier, da Rockwool på denne måde kan undgå at skulle skifte "opskriften", dvs. blandingen af råmaterialer, for processen.</p>

Anlægsspecifik beskrivelse for slamforbrændingsanlæg (generel)⁴¹

Krav til affaldet	
<i>Hvilke typer affald kan anlægget håndtere?</i>	Spildevandsslam, men også andre typer af affald.
<i>Har affaldets beskaffenhed nogen betydning (f.eks. tørt, vådt, urenheder, sammenblanding, neddeling)?</i>	Skal centrifugeres og tørres.
Input	
<i>Foruden førnævnte affaldstyper, hvad indgår ellers i processen (kommer ind i anlægget), eksempelvis energi, strukturmateriale, enzymer, kemikalier, vand?</i>	Energi Kemikalier til røggasrensning
<i>Hvor store er mængderne/størrelsesforholdene for disse input?</i>	
Output	
<i>Hvad er outputtet, slutproduktet (det tilsigtede)?</i>	Energi
<i>Og de mere utilsigtede output, såsom glas, plast, bagharp, metangas, perkolat, lugt, aske/slagge, spildevand?</i>	Slamaske (83 tons 2010 Avedøre) Stoffer med røggassen (støv, HCl, HF, SO ₂ , NO _x)
Kulstofkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde kulstof går ind i processen?</i>	Al kulstof forbrændes.
<i>Hvor stor en mængde kulstoffet går evt. tabt i processen?</i>	
Fosforkredsløbet	
<i>Hvor stor en mængde fosfor går ind i processen?</i>	Al fosfor havner i slamasken.
<i>Hvor stor en mængde fosfor går evt. tabt i processen?</i>	Hvis asken deponeres tabes al fosforen. Hvis fosforen genvindes fra asken går intet fosfor tabt.
Energi og klima	
<i>Hvor meget energi benyttes der i selve processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	7,8 TJ/år til afvanding og støttebrændsel
<i>Hvor meget energi kommer der ud af processen, og hvilke(n) type(r)?</i>	3,7 GJ/tons TS
<i>Hvad er størrelsesforholdet mellem energiforbrug og energigevinst?</i>	
<i>Hvad sker der med den eventuelle overskydende energi fra processen?</i>	
Miljøforhold og hygiejne	
<i>I hvilken udstrækning er processen i stand til at håndtere eventuelle tungmetaller samt organiske, miljøfremmede stoffer og smitstoffer?</i>	Høj grad af hygiejne. Høj grad af fjernelse af miljøfremmede stoffer. Tungmetaller havner i slamasken, som deponeres.

⁴¹ Oplysningerne stammer fra danske slamforbrændingsanlæg og tager udgangspunkt i Lundtofte Slamforbrænding. Hvor der er refereret til Lynettefællesskabets forbrændingsanlæg, hidrører data fra Lynettens nye slamforbrændingsanlæg.

Økonomi	
<i>Hvad koster anlægget?</i>	250 mio. kr. med en kapacitet på 2,35 tons TS i timen (Lynettens nye anlæg).
<i>Hvor store er driftsomkostningerne?</i>	
Udbredelse og markedspotentiale (interesse)	
<i>Hvor mange år har teknologien på bagen?</i>	
<i>Hvor udbredt er den (indland og udland), herunder interessen?</i>	
<i>Hvor mange anlæg findes der?</i>	2 anlæg og et under opførelse i Danmark

Bilag 3: Nyere teknologier til fosforindvinding fra spildevand og spildevandsslam

Fra væske			
PhoStrip™ Union Carbide Corp.	Anaerob RAS strip CSTR Ca dosering Separering fra slam	CaP gødningsprodukt	USA
PRISA RWTH Aachen University (udfældning)	Anaerob WAS strip Filtrering af rejktvand CSTR MgCl dosering Separering fra rejkt	MAP gødningsprodukt	Tyskland
PEARL™ Ostara	Fluid bed MgCl dosering Separering fra rejkt	MAP gødningsprodukt	Canada
Crystallactor™ DHV Water BV	Fluid bed MgCl eller CaCl ₂ dosering Separering fra rejkt	CaP eller MAP gødningsprodukt	Holland
Prophos Universität Karlsruhe	Batch CSTR calcium silicate hydrates (CSHs) dosering. Separering?	CaP gødningsprodukt	Tyskland
Recyphos Institute of Water Chemistry, TU Dresden	Små renseanlæg Fixed-Bed i udløb	FeP?	Tyskland
Phosiedi Universität Karlsruhe	Ionbytning	CaP?	Tyskland
Phosnix™ UNITIKA Ltd	MgCl dosering direkte på hovedstrøm af spildevandsrensning.	MAP gødningsprodukt Helt tilbage fra 1987 Sidste enhed i 1998	Japan
Anphos™ Colsen BV	Aerob behandling med MgCl dosering Mest industri	MAP gødningsprodukt	Holland
NuReSys™ AKWADOK sprl.	CSTR Aerob? eller anaerob? MgCl dosering Industri, gylle mm.	MAP gødningsprodukt	Belgien
MAP SKS SKS	Anaerob fixed film biogas + flotation til SS MgCl udfældning på residue i fluid bed	MAP gødningsprodukt	Japan
FIX-Phos™ Technische Universität Darmstadt	Calcium silicate hydrates (CSHs) dosering før rådnetank	CaP gødningsprodukt	Tyskland
Phospaq™ Paques BV	CSTR med luftstripping og MgCl dosering	MAP gødningsprodukt	Holland
Fra udrådnet slam			
KREPRO	Termisk hydrolyse 140 grader; 4 bar; dosering med Fe	FeP	Sverige
NRS? Seaborne EPM AG	CSTR processer Udrådnet slam til pH 1,5;	CaP?	Tyskland

	pH løft til separation af tungmetaller		
AirPrex™ PCS GmbH	CSTR? på udrådnat slam med luftstripping og MgCl dosering	MAP gødningsprodukt	Tyskland
BERLIN Berliner Wasserbetriebe Re-Water Braunschweig	På udrådnat slam "antiinkrustationsmiddel", MgCl og luftning	MAP gødningsprodukt	Tyskland
LOPROX/PHOXAN	Vådoxidation af udrådnat slam ved pH 1,5 og membranfiltrering	Fosforsyre	Tyskland
AQUA RECI	374 grader, 220 bar	FeP, AlP eller CaP	Sverige
CAMBI	Batch termisk hydrolyse 160 grader; 6 bar	Større frigivelse af P i rejktvand	England?
EXELYS Veolia	Kontinuert termisk hydrolyse 160 grader; 5 bar	Større frigivelse af P i rejktvand	Danmark
Fra aske			
Kommunekemi	Vådkemisk behandling (tilsættes syrer, tungmetaller fjernes og der tilsættes om nødvendigt base)	P-gødning eller P-industrisalt	Dansk
DTU	Elektrodialyse (syre tilsættes, elektrolyse og evt. efterfølgende behandling af oprenset væske)	P-gødning eller P-industrisalt	Dansk
Mephrec	Metallurgisk (agglomering, forgasning og smeltning i reaktor med ilt)	Slagge/calciumfosfat	Tyskland
Thermophos production	?	?	Holland
Ash dec	Termisk behandling (tilsætning af klor efterfulgt af termisk reaktor ved 1000°C)	P-gødning (NPK)	Østrig
Easy Mining	Ion bytning (tilsætning af svovlsyre, ionbytning, ammoniak tilsættes – metaller fjernes med gips og sand)	P-gødning (ammoniumfosfat eller diammoniumfosfat)	Sverige
Pasch (RüPA)	?	Struvit	Tyskland
Sephos	Lav (1,0) og høj pH for fjernelse af tungmetaller	AlP og CaP	Tyskland
Biocon		H ₃ PO ₄	Danmark
Eberhard		Calciumfosfat	Schweiz
EPHOS			Tyskland

Bilag 4: Struvitfældede processer

Der findes i udlandet en række mere eller mindre forskellige processer, der enten er patenterede eller benytter registrerede varemærker. I det følgende beskrives de mest kendte ud fra oprindelse, teknologi, referencer og en karakterisering af fosfor-produktet.

Der er stor forskel på, hvorledes processerne og produkterne markedsføres, men det er bemærkelsesværdigt, at flere af processerne har mange år på bagen, uden at det er blevet mere udbredt.

Generelt er informationen om produktkvalitet af den udfældede struvit sporadisk. En del af producenterne/produktbeskrivelserne fremhæver dog, at indholdet af tungmetaller er meget lavt. Enkelte fremhæver, at det er hygiejnisk, mens den største forskel nok især er partiklernes hårdhed, ensartethed og indhold af urenheder i form af slampartikler.

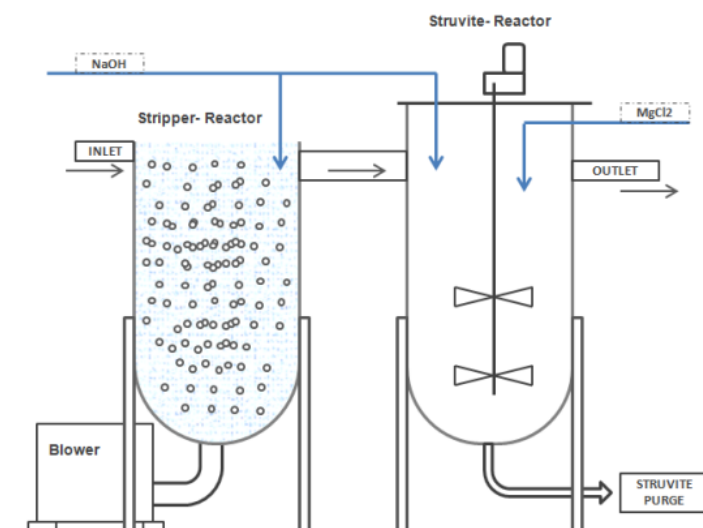
Frigivelsen er N og P fra krystallinsk struvit er langsom, og produktet fremhæves som velegnet til langsomt voksende afgrøder, f.eks. jordbær, tomater eller blomster i gartnerier. Magnesiumindholdet i struvit fremhæves som god til grønne planter, herunder græs på golfbaner, fodboldbaner mm.

NuReSys

Teknologibeskrivelse

NuReSys® systemet forhandles af den belgiske virksomhed NuReSys, der er en del af Akwadok bvab Groep (også belgisk). NuReSys® foregår på rejeftvandet fra slutfavandingen af overskudsslam. Processen forudsætter høj koncentration af ammonium, fosfat og magnesium i rejeftvandet.

Rejeftvandet ledes til en beluftet reaktor, hvor der foretages en pH justering med kaustisk soda (NaOH). Herefter ledes rejeftvandet videre til en omrørt reaktor, hvor der tilsættes magnesiumklorid (MgCl₂). Struvit udfældes og bundfælder i tanken, hvor det tages ud.



Figur 7.1 Procesdiagram af NuReSys® systemet fra NuReSys.

NuReSys lover en fosforreduktion på minimum 75 % og en udløbskoncentration af det behandlede rejeftvand på højst 20-50 mg P/l.

Efterbehandlingen af struvitten foregår i et tørringsanlæg og en sigte (fraktionering efter pelletstørrelser).

Produktkvalitet

Det oplyses, at det producerede struvit fra et referenceanlæg (kartoffelvirksomheden Agristo) er 100% struvit (målt ved XRD analyse) og kan opfylde lokale kvalitetskrav for genvundne gødningsprodukter.

Det er oplyst, at struvitten anvendes som gødningsprodukt til landbruget.

Referencer

2 fuldskalareferencer på industrianlæg (mejeri og "kartoffelvirksomhed") med > 400 mg PO₄-P/l og et flow på 50 - 200 m³/h.

Der er planlagt et nyt industrianlæg til en farmaceutisk virksomhed i Belgien med en kapacitet på 20 m³/h.

Der er et igangværende testanlæg på et hollandsk kommunalt renseanlæg med en behandling af 5 m³/h.

Økonomi

Anlægsinvesteringen på et NuReSys anlæg til rejektivandsbehandling (20 - 120 m³/h) fra et kommunalt renseanlæg vil ligge på ca. 2-8 mio. DKK. Prisen er ekskl. indløbspumper, tørringsanlæg, sigte, pakningsanlæg samt eventuelle bygværker (til reaktorer og lagerkapacitet).

For hvert kg fosfor, der fjernes med NuReSys® systemet, betales en licens til NuReSys på ca. 4,50 DKK.

Spildevandsforsyningen skal selv stå for salget af slutproduktet. Samlet set kan renseanlægget opnå en driftsbesparelse pga. det lavere kemikalieforbrug, lavere udgifter til slamhåndtering, mere biogas, mindre elforbrug til beluftning af ammonium og ingen ukontrollerede struvitudfældninger.

Websites

www.nuresys.org

Anphos processen

Produktbeskrivelse

Anphos® systemet er oprindeligt udviklet i Holland, men forhandles nu af den italienske virksomhed Hydroitalia-Colsen. Anphos® foregår på rejeftvandet fra slutaftvandingen af overskudsslam. Processen forudsætter høj koncentration af ammonium, fosfat og magnesium i rejeftvandet.

Anphos® sælges som en del af en pakkedøsnng til biogasproduktion på basis af gylle og industri-spildevand/affald. Der findes kun lidt information om selve produktet. Dog henvises til processtrategien beskrevet under NuReSys® produktet.

Referencer

Første fuldskalaanlæg til fosforindvinding blev udviklet til spildevandshovedstrømmen på en større hollandsk kartoffelvirksomhed i starten af 2000 med støtte fra EU's LIFE ordning. Fuldskala pilotforsøg på rejeftvand fra et kommunalt renseanlæg i Holland (WWTP Land van Cuijk) med opstart i 2011.

Produktkvalitet

Der findes ingen oplysninger om kvaliteten af den producerede struvit. Kvaliteten må forventes at svare til struvit fra andre udfældnings-processer – f.eks. NuReSys.

Det er oplyst, at struvitten kan anvendes som gødningprodukt til landbruget.

Økonomi

Ingen informationer om økonomi. Umiddelbart skal spildevandsforsyningen selv stå for salget af slutproduktet.

Websites

www.hydroitaliacolsen.com

Ostara processen

Teknologibeskrivelse

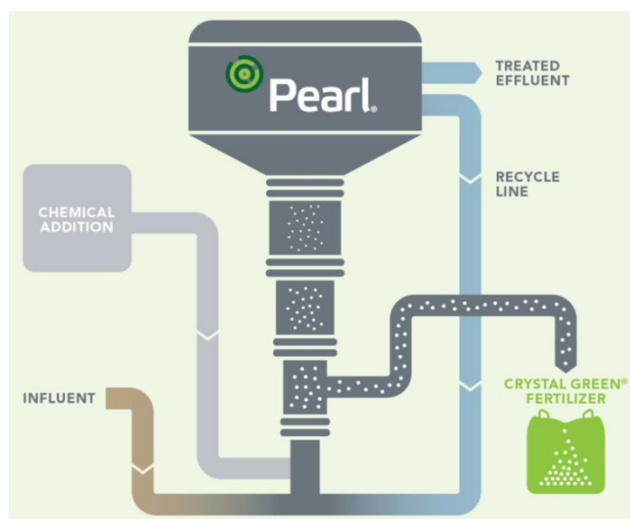
Processen er oprindeligt udviklet på University of British Columbia i Vancouver, Canada og er her-efter videreudviklet til et kommercielt produkt af den canadiske virksomhed Ostara.

Ostaras PEARL®-proces foregår på rejeckt vandet fra slutfavandingen af overskudsslam. Processen forudsætter en høj koncentration af ammonium, fosfat og magnesium i rejeckt vandet. Processen kan suppleres med en fosforstripningsenhed, WASSTRIP®, der fungerer på det biologiske overskudsslam før rådnetanken.

Selve struvituddædningen foretages i en reaktor, hvor der foretages en pH justering med kaustisk soda (NaOH), og hvor der tilsættes magnesiumklorid (MgCl₂). Reaktoren er karakteristisk ved, at den er opbygget af trinvis større cylinderstykker, hvori der sker en fluidisering og en sortering af partikelstørrelser.

Struvitgranulerne holdes i suspension ved recirkulering (ingen luftning). Driften af reaktoren kan indstilles alt efter, hvilken størrelse struvit granuler der ønskes som output. PEARL® 500 producerer eksempelvis 500 kg struvit om dagen og kræver ca. 60 kg PO₄-P i rejeckt vandet pr. dag.

Struvitten opsamles i bunden af reaktoren og transporteres til et afvandings- og tørringsanlæg, hvorefter det færdige produkt pakkes og lagres. Rejeckt vandet ledes retur til indløbet af renseanlægget.



Figur 7.2 – Procesdiagram af PEARL® system fra Ostara.

Produktkvalitet

100 % uorganisk struvit, der markedsføres og sælges som "grøn" gødning med produktnavnet Crystal Green®. Crystal Green® kan anvendes direkte eller som et "grønt" additiv til andre handelsgødninger.

Crystal Green® indeholder 5 % N, 12,5 % P₂O₅, 10 % Mg og 0 % K (5-28-0 + 10% Mg) og er ikke underlagt EU's definition af affald. Prisen på Crystal Green® er ukendt.

Referencer

Processen er installeret og kører i fuldskala 7 steder i USA (bl.a. Portland, Oregon, Suffolk, Virginia, York og Pennsylvania) samt London i England. Flere anlæg er p.t. under opførelse. Samme "spildevandsforsyning" har pga. gode erfaringer med den første PEARL® installation valgt at investere i flere PEARL® enheder til andre renseanlæg.

Økonomi

Tilbagebetalingstiden på et Ostara anlæg vil ligge i omegnen af 5-10 år. Ostara bygger og betaler for anlægget, står for driften samt salg og distribuering af Crystal Green®. Renseanlægget betaler en månedlig rate til Ostara, der typisk er lavere end de besparelser, renseanlægget har opnået i driften (lavere kemikalieforbrug, lavere udgifter til slamhåndtering, mere biogas, mindre elforbrug til beluftning af ammonium og ingen ukontrollerede struvitudfældninger).

Renseanlægget kan vælge at købe og drive et anlæg og sælge struvitproduktet til Ostara, der herefter står for salg og distribution af Crystal Green®. Til gengæld kan der forventes driftsbesparelser på forbrug af fældningskemikalier, og måske bliver det muligt at overgå til 100 % biologisk fjernelse af fosforen. Eventuelle problemer med ukontrolleret struvitudfældninger reduceres markant/helt.

Websites

<http://www.ostara.com/>

<http://www.crystalgreen.com/>

PRISA processen

Produktbeskrivelse

PRISA (Phosphorus Regeneration by ISA) er en proces udviklet af ISA (Institut für Siedlungswasserwirtschaft) i 2006, der er en del af universitetet RWTH Aachen i Tyskland.

Processen forløber på filtreret rejektivand og anvender fosfor-genanvendelse på basis af struvitid-fældning ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) ved dosering af magnesiumklorid ($MgCl$) og pH justering med kaustisk soda ($NaOH$).

Processen er udelukkende gennemført som batch test i laboratorieskala og findes p.t. ikke som fuldskala anlæg. Processen er således ikke produktudviklet og beskrives ikke yderligere.

Publiceringer

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/cdlodos/pdf/afeasibleapproach551.pdf>

Phosnix processen

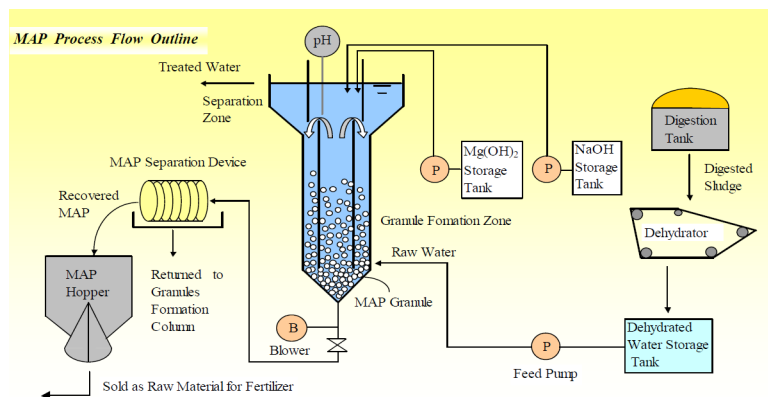
Teknologibeskrivelse

Phosnix® systemet forhandles af den japanske virksomhed Unitika Ltd. Phosnix® foregår på rejeckt vandet fra slutfærdningen af overskudsslam. Unitika Ltd. var i 1987 (så vidt vides) de første til at etablere et fuldskala struvit udfældningsanlæg i forbindelse med fosforgenvinding. Processen forudsætter høj koncentration af ammonium, fosfat og magnesium i rejeckt vandet.

I Phosnix® systemet ledes rejeckt vandet til bunden af en reaktor, hvor der tilsættes magnesiumhydroxid ($Mg(OH)_2$), og hvor pH justeres til ca. 8,8. Omrøringen foretages med beluftning.

Struvitgranulerne danner i løbet af en opholdstid på ca. 10 dage en størrelse på 0,5-1,0 mm, hvorefter de pga. massefylden bundfælder. Selve rejeckt vandet, der udledes i toppen af reaktoren, har en langt mindre hydraulisk opholdstid.

Struvitgranulerne udtages i bunden af reaktoren og pumpes til en sigte, hvor kun de større granuler for lov til at blive udtaget. De mindre granuler ledes tilbage til reaktoren for at "pode" og for at vokse sig større. De selekterede "større" struvit granuler ledes til en hopper, der afvander struvitten til ca. 90 % TS.



Figur 7.3– Proces flowskema af Phosnix processen.

Unitika Ltd. kan fremvise resultater, hvor der for rejeckt vand med ca. 120 mg PO_4-P/l i indløbet kan opnås ca. 10-15 mg PO_4-P/l i udløbet, dvs. ca. 90 % reduktion af fosforen i rejeckt vandet.

Unitika leverer Phosnix® anlæg til rejeckt vandmængder på 100 m³ to 500 m³/d til produktion af 100 til 500 kg MAP/d.

Produktkvalitet

Følgende produktkvalitet er oplyst af producenten:

Tabel B1 Indholdet i Phosnix struvit.

	P	Mg	N	SS	TOC	COD
Phosnix produkt	13.3%	11.5%	5.3%	0.3%	0.08%	0.3%

Referencer

Sidste reference er fra 1998

1987 Udrådning af "night soil", 500 m³/d

1992 Kommunalt renselanlæg, rejektivand, 150 m³/d

1995 Industri anlæg, 100 m³/d

1998 Kommunalt renselanlæg, rejektivand, 500 m³/d

Økonomi

Ingen oplysninger om anlægsinvesteringer.

Unitika oplyser at struvitproduktet kan sælges i Japan som gødningsprodukt for ca. 1.100 DKK/ton.

Websites

<http://www.unitika.co.jp/e/>

Phospaqa processen

Teknologibeskrivelse

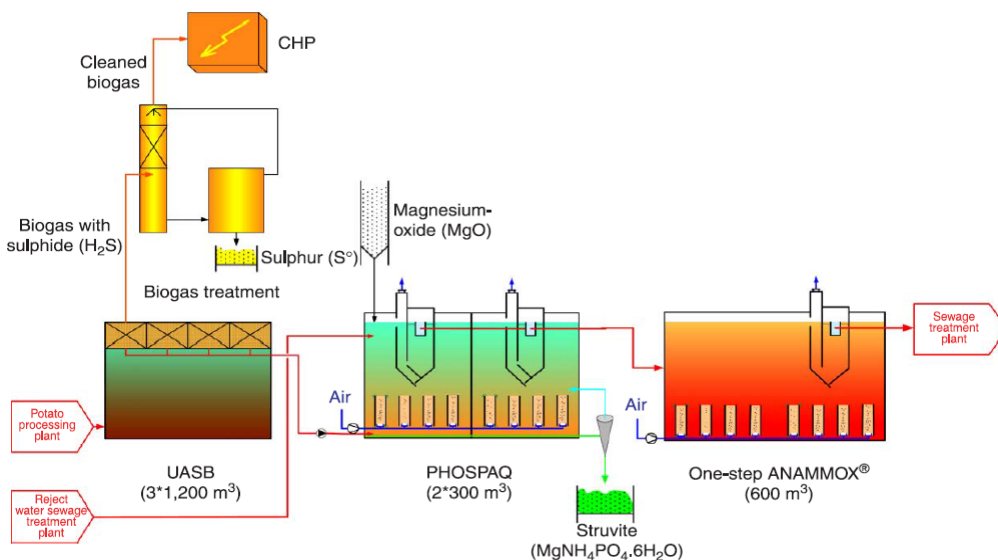
Phospaqa processen integrerer en biologisk behandling af rejevtvand med kemisk fældning af struvit. Processen foregår i en reaktor med bundbeluftning. Udløbet sker gennem en 3-vejs separator, der tillader tilbageløb af slam-partikler i en lille sedimentationszone, hvor luftboblerne ledes uden om. Der sker en COD-reduktion via indholdet af aktiv slam og en udfældning af struvit ved tilsætning af magnesiumoxid. Struvit bundfælder og udtages fra bunden med skraber-arrangement.

Struvit afsættes til gødningsformål.

P-fjernelse er angivet til 85-95 %.

Produktkvalitet

Kvaliteten er ikke nøjere beskrevet, men da udskilningen sker samtidig med biomassevækst, er der risiko for et betydeligt indhold af organisk materiale. Der er ikke beskrevet nogen selektion af granul størrelser, så partiklerne må forventes at være relativt små/varierende.



Figur 7.4- Procesdiagram over Waterstrømmen på renselanlæg Olburgen, hvor Phospaqa er kombineret med et Anammox-anlæg til kvælstoffjernelse.

Referencer

Der er angivet en reference i Waterstrømmen på renselanlægget Olburgen, hvor Phospaqa er kombineret med et Anammox-anlæg til kvælstoffjernelse (se ovenstående figur).

Derudover: Lomm STW Destilleri i Polen.

Økonomi:

Ingen oplysninger

Publiceringer

<http://www.iwaponline.com/wst/06107/wst061071715.htm>

Websites

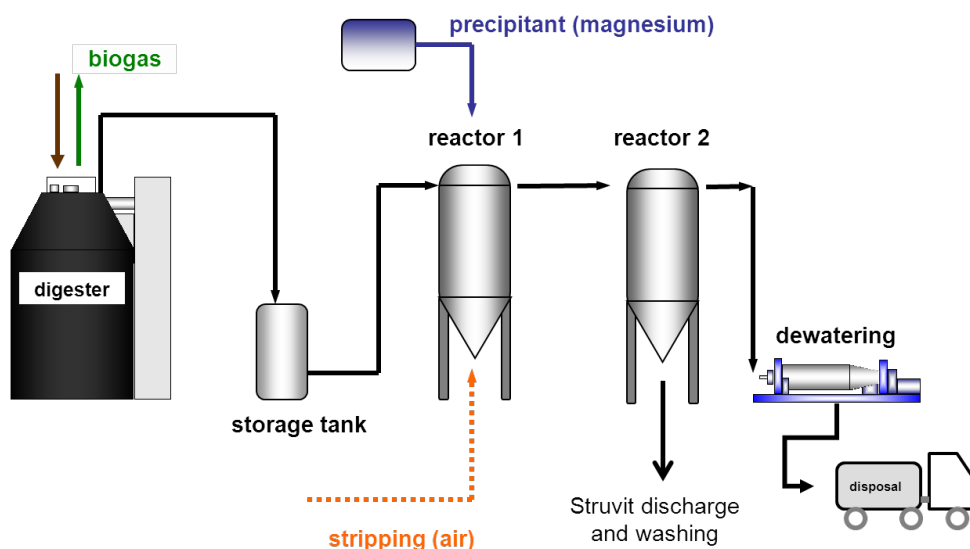
<http://en.paques.nl/pageid=199/PHOSPAQ%E2%84%A2.html>

Airprex® processen

Teknologibeskrivelse

Airprex processen er patenteret af Berliner Wasserbetriebe. Siden 2006 har P.C.S. GmbH, Hamborg haft licensen til at markedsføre processen og har senere overdraget denne licens til SH+E GROUP. Metoden benytter sig af en struvitudfældning i udrådnat slam før afvanding. Processen foregår i 2 tanke efter selve rådnetanken, hvor første tank er et beluftningstrin, og anden tank indeholder selve udfældningsprocessen. Fosforgenvindingen opnås ved øgning af pH-værdien og tilsætning af et magnesium-produkt. Struvit udtages i et loop med en hydrocyklon med en efterfølgende vaskeproces.

Processen kan genvinde ca. 40 % af fosfor og ca. 90 % af fosfat i udrådnat slam. Det angives desuden, at TS i afvandet slam kan øges efter denne proces.



Figur 7.5 Procesdiagram over Airprex® processen.

Produktkvalitet

Det angives, at struvit ved processen indeholder meget lidt tungmetaller og er godkendt som gødningsprodukt.

Referencer

Anlæg har været i fuldskala-drift i op til 6 år.
Berlin Waßmannsdorf (D), cap. 2200m³/d.
WWTP Mönchengladbach-Neuwerk (D), 1300 m³/d.

Økonomi:

Et anlæg til 25 m³/h kan udføres for en pris af ca. 450.000 €.
Driftsomkostninger opgivet til 2 mandtimer pr. dag og ca. 20 kW (25 m³/h).

Publiceringer

Schwebendes Verfahren, Maßnahmen gegen Kristallisationen und Ablagerungen. Chemie Technik August 2009, Svenja Rogge, P.C.S. GmbH.

Websites

<http://www.pcs-consult.de/html/airprex1.html>

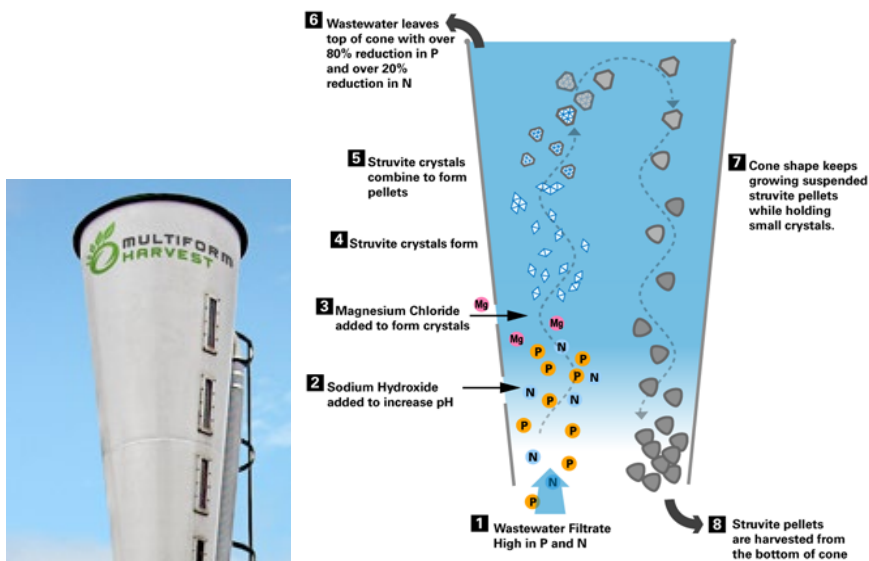
MultiForm Harvest

Teknologibeskrivelse

MultiForm Harvest markedsfører en proces med en speciel konisk reaktor, hvori der sker en fluidisering af struvitgranuler. Processen blev udviklet til at håndtere flydende gylle og spildevand fra landbrug med kvæg og svin, men angives at være lige så egnet til rejektivandsbehandling.

I processen tilsættes natriumhydroxid og magnesiumklorid, og struvitgranuler udtages i bunden af reaktoren.

Produktet er et granulater svarende til det, der kommer fra øvrige systemer, men markedsføres i en form, hvor det er videreforarbejdet til blokke, stiks og piller med iblanding af organisk materiale.



Figur 7.6– Illustration af MultiForm Harvest struvitgranulering i reaktor.

Referencer

http://www.oardc.ohio-state.edu/ocamm/images/ManureTech11_bowers.pdf

Websites

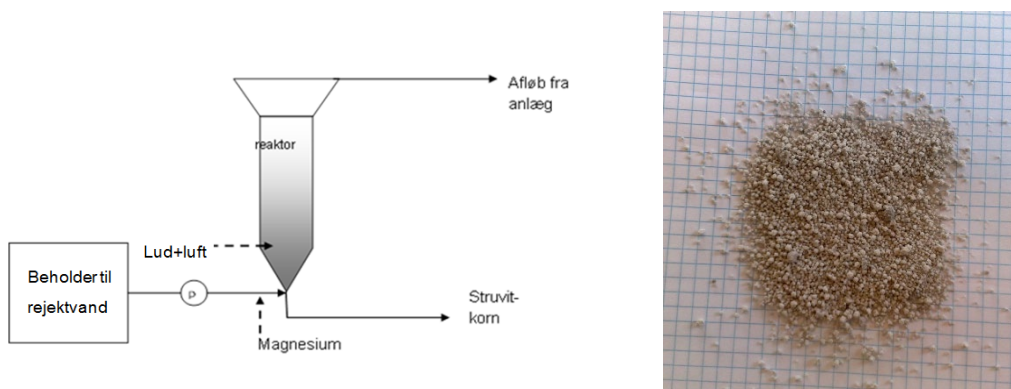
<http://www.multiformharvest.com/>

Åby renseanlæg, pilotforsøg

Aarhus Vand har gennemført pilotforsøg på rejeftvand sammen med firmaet Norconsult Danmark A/S på Åby renseanlæg med struvitudfældning. Der er benyttet en reaktor med et design af Norconsult bestående af en fluidiseret struvitudfældning/granulering, luftstripping af CO₂ og udtag af produktet fra bunden af reaktoren. Afhængigt af procesbetingelser er det muligt at opnå et granulat med partikelstørrelse på 2-4 mm. Som fældningskemikalie er benyttet magnesiumklorid, og pH er justeret med natriumhydroxid. Rensegraden for fosfor ligger på rejeftvand på 90-95 %.

Der er udtaget analyser af struvit fra processen og tungmetalindholdet ligger ganske lavt svarende til andre undersøgelser.

Resultatet af forsøget er præsenteret på Nordisk Spildevands Konference i Helsinki 2011 og i artikel i Spildevandstekniks Tidsskrift december 2011.



Figur 7.7 – Proces layout og struvitkorn 1-3 mm.

Referencer:

Åby Renseanlæg pilotforsøg, 200 l/h.

Herning Renseanlæg, 200 l/h.

<http://issuu.com/spildevandsteknisktidsskrift/docs/ed8e74d1a1d84f699ae3d12719e3bdf0>

Websites:

<http://www.norconsult.dk/?did=9106838>

Bilag 5: Hydroxylfældede processer

Der findes i udlandet en række mere eller mindre forskellige processer, der enten er patenterede eller benytter registrerede varemærker. I det følgende beskrives den mest kendte ud fra oprindelse, teknologi, referencer og en karakterisering af fosfor-produktet.

PhoStrip processen

Teknologibeskrivelse

Denne fosforsepareringsteknologi udnytter mikrobielle samfunds evne til at optage fosfor under aerobe forhold (i biomasse), som efterfølgende frigives under anaerobe forhold. Processen integreres i et konventionelt spildevandsbehandlingsanlæg med aktiveret slam trin: En delmængde af slam (fosfor rigt) fra den sekundære sedimentationstank (efter aktivt slam anlæg) føres til anaerob tank (anaerobic completely stirred tank reactor, CSTR) for fosforfrigørelse (anaerob stripning). Denne frigørelse af fosfor til væskefasen kan evt. forøges ved tilsætning af eddikesyre. Efter separation (bundfældning) føres væskefasen til reaktionstank, hvor der tilsættes kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), og det opløste fosfor bundfældes som calciumfosfat. Slamfasen (nu fosfor fattig) føres tilbage til aktivt slam anlæg. PhoStrip har været anvendt og anvendes muligvis stadig på mindst fire fuldskalaanlæg i USA.

Produktkvalitet

Det har ikke umiddelbart været muligt at finde data på indhold af miljøfremmede stoffer. Da der her er tale om fældning baseret på væskefasen, formodes indholdet af metaller at være lavt. Betydningen af behandlingen under anaerobe (reduktive) forhold for evt. frigivelse af stoffer fra slammet (f.eks. ved reduktiv spaltning) kunne evt. undersøges.

På pilotskalaanlæg i USA er målt P-fjernelsesprocenter på 88 % – 92 % af indgående P-koncentrationer (rå-spildevand) på omkring 7 mg/L.

Referencer

Nutrient recovery and management 2011:

http://www.wef.org/uploadedFiles/Conferences_and_Events/Specialty_Conferences/Specialty_Conferences_Details/Nutrient%20Recovery%20and%20Management%202011%20Draft%20Program%20as%20of%2010-25-10.pdf

State of science report energy and resource recovery from sludge (2008):

[http://www.iwahq.org/contentsuite/upload/iwa/Document/GWRC_report_Energy_and_Resource_Recovery_\(2007\).pdf](http://www.iwahq.org/contentsuite/upload/iwa/Document/GWRC_report_Energy_and_Resource_Recovery_(2007).pdf)

Cut P for less money (1974): <http://www.gillevin.com/Health-and-Environment/070%20GilVLevin.pdf>

Økonomi

Processens økonomi er sandsynligvis god, da energiforbrug vurderes at være lavt og investering i hardware overkommelig (mulighed for, at P opkoncentreres i et volumen svarende til kun 5 % af den indgående spildevandsstrøm, stripningstank, reaktionstank m.m.).

Forbrug af CaO udgør 20 – 24 mg/L udledt spildevand iht. amerikanske undersøgelser.

Crystalactor® Technology

The Crystalactor® Technology uses sand as the seed material for crystal development. The process reactor is filled with sand as seeding material. In operation, the reactor receives a portion of the settled activated sludge from the secondary clarifier of a BNR plant. A solution State of Science Report: Energy and Resource Recovery from Sludge 33 of lime [Ca(OH)₂] is added to the reactor to increase the pH to about 8, and the concentration of calcium ions to create optimal conditions for precipitation of calcium phosphate.

With time, the calcium pellets increase in size and weight. Larger and denser pellets descend to the bottom of the reactor. The pellets are discharged from the bottom of the reactor and make-up sand material is added. The pellets typically consist of 40 - 50% calcium phosphate, 30 - 40% sand, and up to 10% calcium carbonate (STOWA, 2006a). The Crystalactor® Technology has been applied at full-scale in the Netherlands. The technology was installed at the Geestmertambacht, Heemsted and Westerbroek (Stack, 2007).

The cost of calcium phosphate production using the Crystalactor® process has been estimated as 22 times higher than the cost of mined phosphate rock (Roeleveld et al., 2004) and is therefore not considered viable from a purely economic point of view.

The Crystalactor® process is an add-on process and does not require significant modification to existing sludge handling processes. The process requires readily available lime to raise pH. It does not need hydrocarbon fuel inputs, and therefore has a lower carbon footprint. The product can be used as a fertilizer raw material.

The cost of production is high relative to natural sources, but the value of the recovered calcium phosphate should increase, as natural supplies dwindle.

Reference:

<http://www.dhv.com/Markets/Water/Water-Treatment/Water-treatment---Wastewater/Crystalactor>

<http://www.dhv.com/dhvcom/files/6f/6f5a1638-bdfa-4c2c-83ae-682c5a96fb60.pdf>

Bilag 6: Uddrag af Bekendtgørelse nr. 1309 af 18. december 2012 om affald (Affaldsbekendtgørelsen) i forhold til anvendelse af spildevandsslam

<p>Bekendtgørelse nr. 1415 af 12. december 2011 om affald (Affaldsbekendtgørelsen)</p> <p>Anvendelsesområde: Bekendtgørelsen omfatter håndtering af affald, der ikke er reguleret af anden lovgivning, samt klassificering af affald, planlægning om affald, regulativer om affald, ordninger for affald, data om affald, gebyrer for affald, brug af affaldssystemer, mærkning af affald, anvisning af affald, anmeldelse af affald, godkendelse og registrering af affaldsbehandlingsanlæg, indsamlere af affald, benchmarking af affaldsbehandlingsanlæg m.v.</p> <p>Kort beskrivelse af omfang: Bekendtgørelsen regulerer mange forhold, men i oversigten nedenfor er med fed angivet hvilke kapitler, der er særlig relevante. Kapitel 1: Anvendelsesområde Kapitel 2: Definitioner Kapitel 3: Klassificering Kapitel 4: Affaldshierarki Kapitel 5: Planlægning Kapitel 6: Regulativpligt Kapitel 7: Kommunale affaldsordninger Kapitel 8: Principper for kommunalbestyrelsens fastsættelse og opkrævning af gebyr Kapitel 9: Deponering af affald Kapitel 10: Erhvervsaffald og kildesorteret erhvervsaffald egnet til materialenyttiggørelse Kapitel 11: Særlige regler om farligt affald fra virksomheder Kapitel 12: Oplysningspligt i forbindelse med håndteringen af erhvervsaffald Kapitel 13: Særlige regler om private og professionelle bygherrers identifikation af PCB i bygninger og anlæg og anmeldelse af affald Kapitel 14: Kommunale behandlingsanlæg Kapitel 15: Benchmarking af affaldsforbrænding - og deponeringsanl Kapitel 16: Den nationale regulativdatabase Kapitel 17: Tilsyn Kapitel 18: Administrative bestemmelser Kapitel 19: Straf Kapitel 20: Ikrafttrædelse og overgangsbestemmelser</p> <p>Bilag 1: Indholdsfortegnelse Bilag 2: Listen over affald, jf. § 2, stk. 1 Bilag 3: Oplysninger, som skal indberettes til brug for benchmarking, jf. § 88, stk. 1 Bilag 4: Egenskaber og procentgrænser der gør affald farligt Bilag 5 A: Former og metoder for bortskaffelse, jf. § 3, nr. 14 Bilag 5 B: Former og metoder for nyttiggørelse, jf. § 3, nr. 40 Bilag 6: Standardregulativ for husholdningsaffald, jf. § 19, stk. 3 Bilag 7: Standardregulativ for erhvervsaffald, jf. § 19, stk. 3 Bilag 8: Fritagelse for affaldsgebyrer – branchekoder, jf. § 60, stk. 1 Bilag 9: Fritagelse for affaldsgebyrer – virksomhedsformer, jf. § 60, stk. 2 Bilag 10: Branchekoder, der omfatter håndværkere og anlægsgartnere, jf. § 58, stk. 4 Bilag 11: Sreeningsskema for PCB, jf. § 78, stk. 3</p>

Relationer til anden dansk lovgivning:

Affaldsbekendtgørelsen er hovedbekendtgørelsen i forhold til de lovgivningsmæssige rammer, der vedrører affald, og som er nærmere fastlagt i Miljøbeskyttelsesloven og tilknyttede bekendtgørelser og cirkulærer.

Relationer til EU-lovgivning:

Bekendtgørelsen implementerer Europaparlamentets og Rådets direktiv 2008/98/EF af 19. november 2008 om affald om ophævelse af visse direktiver samt Kommissionens Beslutning 2000/532/EF af 3. maj 2000 om udarbejdelse af en liste over affald (og efterfølgende ændringer).

Forhold af (potentielt) relevans for genanvendelse af fosfor:*Definitioner*

Ved affald forstås i bekendtgørelsen ethvert stof eller enhver genstand, jf. bilag 2, som indehaveren skiller sig af med eller agter eller er forpligtet til at til at skille sig af med.

Som affald anses dog ikke stoffer eller genstande, som er resultatet af en produktionsproces, som ikke primært sigter mod fremstilling af dette stof eller denne genstand, og hvis

1. det er sikkert, at stoffet eller genstanden videreanvendes,
2. stoffet eller genstanden kan anvendes direkte uden anden yderligere forarbejdning, end hvad der er normal industriel praksis,
3. stoffet eller genstanden fremstilles, som en integreret del af produktionsproces, og
4. videreanvendelse er lovlig, dvs. stoffet eller genstanden lever op til alle relevante krav til produkt-, miljø- og sundhedsbeskyttelse for den pågældende anvendelse og vil ikke få generelle negative indvirkninger på miljøet eller menneskers sundhed.

I bekendtgørelsens § 3 defineres affald som egnet til henholdsvis materialenyttiggørelse (tidl. Genanvendelse – genanvendelse er nu en delmængde heraf), anden endelig materialenyttiggørelse, forbrændingseget og deponeringseget. Genanvendelse er fra 1. januar 2012 erstattet med det bredere begreb: affald egnet til materialenyttiggørelse, § 3, stk. 1, som består af "genanvendelse", udvidet med det eksisterende begreb "forberedelse til genbrug" og det nye begreb "anden endelig materialenyttiggørelse". Genbrug er ikke med i denne definition, da genbrug ikke er affald.

Affald egnet til materialeudnyttelse er affald, som kan forberedes til genbrug, genanvendes eller anvendes til anden endelig materialenyttiggørelse.

Ved genanvendelse forstås enhver nyttiggørelsesoperation, hvor affaldsmaterialer omforarbejdes til produkter, materialer eller stoffer, hvad enten de bruges til det oprindelige formål eller til andre formål. Heri indgår omforarbejdning af organisk materiale, men ikke energiudnyttelse og omforarbejdning til materialer der skal anvendes til brændsel eller opfyldningsoperationer.

Affald, der anvendes til anden endelig materialenyttiggørelsen, er enhver nyttiggørelse, bortset fra de operationer, hvor affald forberedes til genbrug, genanvendes, energiudnyttelse eller forhandles. Det vil sige en udelukkelseskategori, hvor affald ikke forberedes til genbrug, genanvendes, energiudnyttes eller forbehandles. Efter endt proces er affaldsfraktionen fortsat affald og ikke et produkt. Affald til endelig materialenyttiggørelse vil være affaldstyper, som f.eks. spildevandsslam og kompost (ikke have-parkaffald).

Klassificering

Det fremgår af bekendtgørelsens § 4, at det er kommunalbestyrelsen, der afgør om affald er henholdsvis egnet til materialenyttiggørelse, forbrænding eller deponering.

Det fremgår endvidere af bekendtgørelsens § 4, stk. 4, at det er kommunalbestyrelsen, der træffer afgørelse om, at affald, som opfylder følgende kriterier, ikke længere er affald (End of Waste kriterier):

1. affaldet har gennemgået en nyttiggørelsesoperation, herunder genanvendelse
2. affaldet er almindeligt anvendt til specifikke formål
3. der findes et marked for eller en efterspørgsel efter affaldet
4. affaldet opfylder de tekniske krav til de specifikke formål og lever op til gældende lovgivning og normer vedrørende produkter og
5. anvendelsen af affaldet får ikke generelle negative indvirkninger på miljøet eller menneskers sundhed.

Kommunalbestyrelsen skal orientere Miljøstyrelsen om afgørelser truffet efter § 4, stk. 4.

Det fremgår af § 12, at affaldshåndtering skal ske i overensstemmelse med følgende affaldshierarkiet:

1. Forberedelse med henblik på genbrug
2. Genanvendelse
3. Anden nyttiggørelse
4. Bortskaffelse

Affaldshierarkiet kan dog fraviges for særlige affaldsstrømme, hvis fravigelsen er begrundet i en livscyklusbetragtning. Anvendelsen af affaldshierarkiet og fravigelser herfra skal ske med henblik på at opnå den bedste samlede miljømæssige resultat.

Anvendelse af kompost, der har opnået End of Waste status på EU niveau, og have-parkaffald betragtes som genanvendelse.

Mens spildevandsslam og kompost, der ikke har opnået End of Waste status, til udspreddning på landbrugsjord, betragtes som anden endelig materialenyttiggørelse. Spildevandsslam, der bioforgasses og efterfølgende udspreddes på landbrugsjord, betragtes som energiuudnyttelse med materialednyttelse. Begge anvendelser betragtes som anden nyttiggørelse i henhold til affaldshierarkiet.

Forbrænding af affald

Bekendtgørelsens §§ 50 til 52 omhandler forbrænding af affald, og her fremgår det, at det kun er tilladt at forbrænde forbrændingseget affald på dertil godkendte anlæg, og at kommunalbestyrelsen skal sikre at forbrændingseget affald bliver forbrændt på dertil godkendte anlæg, dog med enkelte undtagelser, herunder at kommunalbestyrelsen kan anvise forbrændingseget affald til midlertidig oplagring i en periode op til et år, og at Miljøstyrelsen kan dispensere fra fristen på 1 år, hvis der opstår midlertidige kapacitetsproblemer på forbrændingsanlæggene

Deponering af affald

Der henvises til deponeringsbekendtgørelsen, og det fremgår derudover bl.a. af bekendtgørelsens § 50 at affald skal forbehandles før det kan deponeres, men at kommunalbestyrelsen kan fravige kravet om forbehandling, hvis forbehandlingen ikke vil nedbringe mængden af affaldet eller farerne for mennesker sundhed eller miljøet.

Bilag 7: Uddrag af Bekendtgørelse nr. 1650 af 13. december 2006 om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen) i forhold til anvendelse af spildevandsslam

<p>Bekendtgørelse nr. 1650 af 13. december 2006 om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen)</p>
<p>Anvendelsesområde: Bekendtgørelsen fastsætter regler om, i hvilket omfang affald fra husholdninger, institutioner og virksomheder, herunder biologisk behandlet affald, processpildevand og spildevandsslam, kan anvendes, således at hensynet til miljøbeskyttelsen ikke tilsidesættes.</p>
<p>Kort beskrivelse af omfang: Bekendtgørelsen regulerer mange forhold, men i oversigten nedenfor er med fed angivet hvilke kapitler, der er særlig relevante.</p> <p>Kapitel 1: Bekendtgørelsens område mv. Kapitel 2: Anvendelse af affald optaget på bilag 1 Kapitel 3: Generelle krav til affald, der skal anvendes til jordbrugsformål Kapitel 4: Opbevaring og anvendelse af affald, der tilføres husdyrgødningbaserede biogas- eller forarbejdningsanlæg Kapitel 5: Generelle krav til affaldsproducenten Kapitel 6: Krav til anvendelse af slam fra offentlige spildevandsanlæg og biologisk behandles kildesorteret affald til jordbrugsformål Kapitel 7: Affald, der ikke er omfattet af kapitel 6, og som skal anvendes til jordbrugsformål. Kapitel 8: Brugers anvendelse af affald Kapitel 9: Særlige bestemmelser om tungmetaller i jord Kapitel 10: Anvendelse af affald, som ikke er optaget på bilag 1 Kapitel 11: Tilsyn og håndhævelse Kapitel 12: Dispensation og klage Kapitel 13: Straf Kapitel 14: Ikrafttræden og overgangsbestemmelser</p> <p>Bilag 1: Liste over affald med jordbrugsmæssig værdi, som kan anvendes uden forudgående tilladelse efter reglerne i denne bekendtgørelse Bilag 2: Grænseværdier Bilag 3: Hygiejnisk begrundede anvendelsesrestriktioner for affald Bilag 4: Grænseværdier og prøvetagnings- og analysemetoder for indhold i jord, jf. § 28 Bilag 5: Prøvetagning, analysehyppighed, analyseparametre samt analysemetoder, jf. § 8</p>
<p>Relationer til anden dansk lovgivning: Slambekendtgørelsen er udstedt i medfør af lov om miljøbeskyttelsesloven.</p>
<p>Relationer til EU-lovgivning: Bekendtgørelsen indeholder bestemmelser, der gennemfører Rådets direktiv 86/278/EØF af 12. juni 1986 om beskyttelse af miljøet, navnlig jorden, i forbindelse med anvendelse i landbruget af slam fra rensningsanlæg.</p>
<p>Forhold af (potentielt) relevans for genanvendelse af fosfor: <i>Bekendtgørelsens område mv.:</i> Det fremgår af § 2, at bekendtgørelsen omfatter affald fra husholdninger, institutioner og virksomheder, herunder biologisk behandlet affald, processpildevand og spildevandsslam, i det omfang affaldet påtænkes anvendt til jordbrugsformål.</p>

Anvendelse af affald:

I kapitel 2 er det angivet, at affald, herunder spildevandsslam, der er optaget på bekendtgørelsens bilag 1, kan uden forudgående tilladelse efter miljøbeskyttelseslovens § 19 anvendes til jordbrugsformål. Ved anvendelse i skove af affald, som er optaget på bilag 1, skal der søges tilladelse efter miljøbeskyttelseslovens § 19.

Generelle krav til affald, der anvendes til jordbrugsformål

Der stilles krav til kvaliteten af affaldet med hensyn til såvel indholdet af tungmetaller som miljøfremmede stoffer og hygiejniske og behandlingsmæssige krav, så anvendelsen ikke skader miljøet og ikke udgør en risiko for menneskers og dyrs sundhed.

Affald, herunder spildevandsslam, der skal anvendes til jordbrugsformål eller tilføres husdyrgødningsbaserede biogas- eller forarbejdningsanlæg, skal overholde grænseværdierne for tungmetaller og miljøfremmede stoffer, angivet i bekendtgørelsens bilag 2, og må ikke indeholde væsentlige mængder af andre miljøskadelige stoffer, jf. § 6. Med væsentlige mængder menes indhold, der vurderes at kunne give negative effekter på miljøet og menneskers og dyrs sundhed.

Ved sammenblanding af flere affaldsproducenters affald, herunder spildevandsslam fra forskellige anlæg, samt ved sammenblanding af affald med produkter, skal de enkelte affaldstyper inden sammenblanding prøvetages med henblik på analyse af, om grænseværdierne for tungmetaller og miljøfremmede stoffer, nævnt i bilag 2, overholdes.

Krav til anvendelse af slam fra offentlige spildevandsanlæg og biologisk behandlet kildesorteret affald til jordbrugsformål:

Brugers anvendelse af affald

På arealer, der tilføres affald, må den samlede tilførsel af næringsstoffer i form af affald og husdyrgødning ikke overstige 170 kg totalkvælstof og 30 kg totalfosfor pr. ha pr. år.

Anvendelsen af affald må ikke give anledning til forurening af grundvandet, væsentlige gener eller uhygiejniske forhold.

Særlige bestemmelser om metaller i jord:

Bekendtgørelsens §§ 46 til 48 omhandler forbrænding af affald, og her fremgår det, at det kun er tilladt at forbrænde forbrændingseget affald på dertil godkendte anlæg, og at kommunalbestyrelsen skal sikre at forbrændingseget affald bliver forbrændt på dertil godkendte anlæg, dog med enkelte undtagelser, herunder at kommunalbestyrelsen kan anvise forbrændingseget affald til midlertidig oplagring i en periode op til et år, og at Miljøstyrelsen kan dispensere fra fristen på 1 år, hvis der opstår midlertidige kapacitetsproblemer på forbrændingsanlæggene

Bilag 8: Uddrag af Bekendtgørelse nr. 1356 af 21. dec. 2011 om anlæg, der forbrænder affald i forhold til anvendelse af spildevandsslam

Bekendtgørelse nr. 1356 af 21. dec. 2011 om anlæg, der forbrænder affald
Anvendelsesområde: Bekendtgørelsen fastsætter regler for indretning og drift af anlæg der forbrænder eller medforbrænder affald.
Kort beskrivelse af omfang: Bekendtgørelsen omfatter ni kapitler med lovtæst og ni bilag: Kapitel 1: Område og definitioner Kapitel 2: Generelle bestemmelser Kapitel 3: Krav til indholdet af ansøgning og afgørelse Kapitel 4: Bestemmelser om anlægget drift m.v. Kapitel 5: Forureningsbegrænsning Kapitel 6: Egenkontrol Kapitel 7: Rapportering og offentlighed Kapitel 8: Straffebestemmelser Kapitel 9: Ikrafttrædelse, overgangsbestemmelser m.v. Bilag 1: Toksiske ækvivalenter Bilag 2: Krav til modtagelse af affald på anlægget Bilag 3: Konstruktions- og driftskrav for anlæg Bilag 4: Krav til målinger Bilag 5: Bestemmelse af grænseværdier for luftemissioner fra medforbrændingsanlæg Bilag 6: Emissionsgrænseværdier for udledning af spildevand fra røggasrensning Bilag 7: Grænseværdier for luftemission fra forbrændingsanlæg Bilag 8: Overholdelse af emissionsgrænseværdier for luft i bilag 5 og 7 Bilag 9: Krav til afbrænding af olieaffald
Relationer til anden dansk lovgivning: <ul style="list-style-type: none">• Bekendtgørelse nr. 1640 af 13. dec. 2006 om godkendelse af listevirksomhed• Bekendtgørelse nr. 1415 af 12. dec. 2011 om affald ("Affaldsbekendtgørelsen")
Relationer til EU-lovgivning: <ul style="list-style-type: none">• Direktiv 2000/76/EF af 4. dec. 2000 om forbrænding af affald.
Forhold af (potentielt) relevans for spildevandsslam: <ul style="list-style-type: none">• §6, stk. 2 og §7, litra 1 foreskriver, at der skal ansøges om tilladelse til, hvilke affaldsfraktioner m. EAK-kode, der kan forbrændes på det enkelte anlæg.• §8 stiller krav om mængder af farligt affald og dets brændværdi.• §15, stk. 2 foreskriver, at medforbrændingsanlæg skal overholde de samme emissionsgrænseværdier som forbrændingsanlæg, når der forbrændes mere end 40 % farligt affald.• §22, stk. 2, siger at optagelse af farligt affald på positivlisten for et anlæg, der tidligere alene har forbrændt ikke-farligt affald er at regne for en <i>væsentlig ændring eller udvidelse</i> iht. godkendelsesbekendtgørelsens §11, som udløser krav om gennemførelse af VVM.• Bilag 2, punkt 3 stiller krav til modtagekontrol og dokumentation ved modtagelse af farligt affald.

Bilag 9: Uddrag af Bekendtgørelse nr. 719 af 24. juni 2011 om deponeringsanlæg (Deponeringsbekendtgørelsen) i forhold til anvendelse af spildevandsslam

Bekendtgørelse nr. 719 af 24. juni 2011 om deponeringsanlæg ("Deponeringsbekendtgørelsen")
Anvendelsesområde: Bekendtgørelsen fastsætter regler om deponeringsanlæg. Bekendtgørelsens regler supplerer reglerne i bekendtgørelse om godkendelse af listevirksomhed og bekendtgørelse om affald.
Kort beskrivelse af omfang: Bekendtgørelsen omfatter 11 kapitler lovtekst og 7 bilag: Kapitel 1: Anvendelsesområde Kapitel 2: Definitioner Kapitel 3: Godkendelse af deponeringsanlæg Kapitel 4: Fastsættelse af vilkår om sikkerhedsstillelse Kapitel 5: Affaldsdeponering Kapitel 6: Grundlæggende karakterisering, overensstemmelsestestning og prøvetagningsplaner mv. Kapitel 7: Kontrol på stedet Kapitel 8: Daglig drift Kapitel 9: Tilsyn Kapitel 10: Straffebestemmelser Kapitel 11: Overgangs- og ikrafttrædelsesbestemmelser Bilag 1: Supplerende oplysninger vedrørende ansøgning om godkendelse af alle klasser af deponeringsanlæg samt godkendelsespligtige ændringer og udvidelser Bilag 2: Supplerende krav ved godkendelse af alle klasser af deponeringsanlæg samt godkendelsespligtige ændringer og udvidelser Bilag 3: Grundlæggende karakterisering af affald (omfatter også grænseværdier for stofudvaskning og indhold af organiske stoffer mv.) Bilag 4: Oversigt over delelementer til brug ved sikkerhedsstillelse Bilag 5: Prøvetagning af affald Bilag 6: Testning i forbindelse med grundlæggende karakterisering og overensstemmelsestestning Bilag 7: Metoder og kvalitetskrav til prøvetagning, test og analyse
Relationer til anden dansk lovgivning: <ul style="list-style-type: none">• Bekendtgørelse nr. 1415 af 12. december 2011 om affald ("Affaldsbekendtgørelsen")• Bekendtgørelse nr. 1640 af 13. december 2006 om godkendelse af listevirksomhed• Lov om afgifter på affald og råstoffer• Bekendtgørelse nr. 718 af 24. juni 2011 om uddannelse af driftsledere og personale beskæftiget på deponeringsanlæg
Relationer til EU-lovgivning: BEK 719/2011 implementerer følgende EU-lovgivning i dansk lovgivning: <ul style="list-style-type: none">• Rådets direktiv 1999/31/EF af 26. april 1999 om deponering af affald ("Deponeringsdirektivet")• Rådets beslutning 2003/33/EF af 19. december 2002 om opstilling af kriterier og procedurer for modtagelse af affald på deponeringsanlæg i henhold til artikel 16 og bilag II i direktiv 1999/31/EF (den berigtigede version fra 20. maj 2003)

Derudover er der relationer til:

- Europaparlamentets og Rådets direktiv 2008/98/EF af 19. november 2008 om affald og om ophævelse af visse direktiver ("Affaldsrammedirektivet")
- Kommissionens beslutning 2000/532/EF om udarbejdelse af en liste over affald ("Farligt affalds-direktivet") – og efterfølgende ændringer/tilføjelser
- Europaparlamentets og Rådets forordning (EF) Nr. 850/2004 af 29. april 2004 om persistente organiske miljøgifte (POPs-forordningen) – og efterfølgende ændringer/tilføjelser

Forhold af (potentiel) relevans for spildevandsslam:

1. Bestemmelsen i Bilag 3, afsnit 2.2 om, at der i den obligatoriske grundlæggende karakterisering skal indgå en vurdering af, om affaldet eller dele heraf kan genanvendes eller nyttiggøres på anden måde.
2. Klassificeringen i farligt og ikke-farligt affald (også Bilag 3, afsnit 2.2), som er første skridt i allokeringen af affald til deponeringsenheder for henholdsvis inert, mineralsk, blandet og farligt affald baseret på klassificering.
3. Acceptkriterierne for modtagelse på deponeringsenheder for inert og farligt affald (og testning og grænseværdier for modtagelse på deponeringsenheder for mineralsk affald skulle blive genindført – på deponeringsenheder for mineralsk affald). Indholdet af DOC/TOC kan evt. være kritisk. Indholdet af tungmetaller kan ligeledes være kritisk.

Barrierer og incitamenter for genvinding af ressourcer:

- Kravet om, at det skal undersøges, om affaldet kan genanvendes eller nyttiggøres (og implicit, at dette så skal ske) forud for en eventuel deponering (punkt 1 ovenfor), må karakterises som et incitament til nyttiggørelse.
- Klassificeringen som farligt eller ikke-farligt affald med henblik på allokering til en deponeringsenhed kan både være en barriere og et incitament, afhængigt af klassificeringen og af afgiftspolitikken (som ikke er reguleret af Deponeringsbekendtgørelsen, men af Lov om afgifter på affald og råstoffer).
- Acceptkriterierne synes pt. at fungere som et incitament til at undgå deponering (jf. punkt 3 ovenfor), og er dermed et incitament til at finde andre disponeringsformer, herunder oparbejdning/nyttiggørelse. Dette regnestykke skal dog suppleres med de eventuelle afgifter, som skal betales ved deponering af en eventuel behandlingsrest.
- Udgifterne til deponering (den del, som ikke er afgift/skat) varierer fra deponeringsanlæg til deponeringsanlæg, men udgør sammen med afgifterne et incitament til at undgå deponering og i stedet genvinde ressourcerne (set fra affaldsproducentens side). Fra deponiejernes side kan usikkerheden omkring efterbehandlingstidens varighed (eller sikkerhed for lang varighed) og de dermed forbundne udgifter føre til en forhøjelse af udgifterne, hvilket for producenten udgør endnu et incitament til oparbejdning/nyttiggørelse. Dette regnestykke skal dog suppleres med omkostningerne ved deponering af en eventuel behandlingsrest.

Eventuelle vigtige forhold vedrørende kompetencer og beslutningstagere:

Reglerne i deponeringsbekendtgørelsen fastlægges af Miljøministeriet/Miljøstyrelsen, mens afgifter og afgiftspolitikken administreres af SKAT. Det vil være vigtigt at påpege eventuelle uensigtsmæssigheder i samspillet mellem oparbejdning/nyttiggørelse, deponering og afgiftspolitikken, med henblik på i givet fald at foreslå ændringer i forvaltning eller fastlæggelse af afgiftspolitikken.

Bilag 10: Grænseværdier for spildevandsslam

Table B2 Grænseværdier for tungmetaller (mg per kg tørstof) i spildevandsslam til anvendelse i landbruget (EC DG Environment, 2010) (visse lande har i stedet eller supplerende regelsæt med max. årlig tilførsel i alt)

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Direktiv 86/278/EEC	20-40	-	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000
Østrig							
Lower Østrig	2	50	300	2	25	100	1500
Upper Østrig	10	500	500	10	100	400	2000
Burgenland	10	500	500	10	100	500	2000
Voralberg	4	300	500	4	100	150	1800
Steiermark	10	500	500	10	100	500	2000
Carinthia	2.5	100	300	2.5	80	150	1800
Belgien (Flanders)	6	250	375	5	100	300	900
Belgien (Walloon)	10	500	600	10	100	500	2000
Bulgarien	30	500	1600	16	350	800	3000
Cypern	20-40	-	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000
Tjekkiet	5	200	500	4	100	200	2500
Danmark	0,8	100	1000	0,8	30	120	4000
Estland	15	1200	800	16	400	900	2900
Finland	3	300	600	2	100	150	1500
Frankrig	20	1000	1000	10	200	800	3000
Tyskland (gældende BMU 2002) 1)	10	900	800	8	200	900	2500
Tyskland (forslag til nye værdier, BMU 2007) 2)	2	80	(600)	1.4	60	100	(1500)
Grækenland	20-40	500	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000
Ungarn	10	1000/1 (3)	1000	10	200	750	2500
Irland	20		1000	16	300	750	2500
Italien	20		1000	10	300	750	2500
Letland	20	200	1000	16	300	750	2500
Litauen	-	-	-				
Luxembourg	20-40	1000-1750	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000
Malta	5	800	800	5	200	500	2000
Holland	1.25	75	75	0.75	30	100	300
Polen	10	500	800	5	100	500	2500
Portugal	20	1000	1000	16	300	750	2500
Rumænien	10	500	500	5	100	300	2500
Slovakiet	10	1000	1000	10	300	750	2500
Slovenien	0.5	40	30	0.2	30	40	100
Spanien	20	1000	1000	16	300	750	2500
Spanien	40	1750	1750	25	400	1200	4000
Sverige ⁴²	2	100	600	2.5	50	100	800
UK	Tungmetaller reguleres via grænseværdier for jorden						

- 1) Grænseværdier i German 1992 Sewage Sludge Ordinance (BMU, 2002), 2) Forslag til ny grænseværdi (BMU, 2007), 3) Krom VI

⁴² Sverige har også grænse for max. tilførsel pr. år.

Tabel B3 Grænseværdier for patogene bakterier i spildevandsslam (EC DG Environment, 2010)

	Salmonella	Andre patogener
Danmark ^{a)}	Må ikke påvises	Fækale streptokokker: <100/g
Frankrig	8 MPN/10 g tørstof	Enterovirus: 3MPCN/10 g tørstof Æg fra helminther: 3/10 g tørstof
Finland (539/2006)	Må ikke påvises i 25 g	E. coli: < 1000 cfu
Italien	1000 MPN /g tørstof	
Luxembourg		Enterobacterier: 100/ g Ingen ormeæg, som kan være smitsomme
Polen	Slammet må ikke anvendes i landbruget, hvis det indeholder salmonella	

a) gælder kun for kontrolleret hygiejniserings

Table B4 Grænseværdier for miljøfremmede stoffer i spildevandsslam (mg/kg tørstof med undtagelse af PCDD/F ng TEQ/kg tørstof (EC DG Environment, 2010))

	AOX	Bi(2-ethylhexyl)phthalat (DEPH)	Lineære alkylbenzen sulfonater (LAS)	Nonylphenol/Nonyl-phenol-ethoxlate NP/NPE	Polycykliske aromatiske hydrocarbonater (PAH)	Poly-chloreerede biphenoler (PCB)	Dioxiner (PCDD/F)	Andre
Direktiv 86/278/EEC	-	-	-	-	-	-	-	-
EC (2000) a)	500	100	2600	50	6 b)	0,8 c)	100	
EC (2003) a)			5000	450	6 b)	0,8 c)	100	
Østrig:								
Lower Østrig	500	-	-	-	-	0,2 d)	100	
Upper Østrig	500					0,2 d)	100	
Vorarlberg	-					0,2 d)	100	
Carinthia	500				6	1	50	
Danmark		50	1300	10	3 b)			
Frankrig					Fluoranthene: 4 Benzo(b)fluoranthene: 2,5 Benz(a)pyrene: 1,5	0,8 c)		
Tyskland (BMU, 2002)	500					0,2 e)	100	
Tyskland (BMU, 2007 f)	400				Benzo(a)pyren: 1	0,1 e)	30	MTB+ OBT: 0,6 Tonalid:15 Glaxolide:10
Sverige	-			50	3 b)	0,4 c)		
Tjekkiet	500					0,6		

- a) forslag til nyt direktiv, som blev trukket tilbage
b) summen af 9 congenger: acenapthen, fluoren, phenanthren, fluoranthen, pyren, benzo (b+j+k) fluoranthen, benzo(a)pyren, benzo(ghi)perylene, indeno (1,2,3-c,d)pyren
c) summen af 7 congenger: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153, PCB 180
d) summen af 6 congenger: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153, PCB 180
e) per congener
f) forslag til nye værdi i Tyskland (BMU 2007)

Bilag 11: Foreløbig oversigt over affaldshierarkiet og dets nøglebegreber baseret på Europa-Kommissionens "Guidance on the interpretation of the key provisions of Directive 2008/98/EC on waste" (MST, 2012a).

Affaldshierarkiet og dets nøglebegreber (WFD art. 4, mbl. § 6 b og affbkg. § 12, stk. 1)

- 1) Affaldsforebyggelse
- 2) Forberedelse med henblik på genbrug
- 3) Genanvendelse
- 4) Anden nyttiggørelse
- 5) Bortskaffelse

(1) Affaldsforebyggelse		
<p>Ikke affald</p> <p>Produkter og biprodukter WFD art. 5/ affbkg. § 2, stk. 2. "Biprodukter 1. Et stof eller en genstand, der er resultatet af en produktionsproces, som ikke primært sigter mod fremstilling af dette stof eller denne genstand, kan kun anses for ikke at være affald i henhold til artikel 3, nr. 1), men et biprodukt, hvis følgende betingelser er opfyldt: a) det er sikkert, at stoffet eller genstanden videreanvendes b) stoffet eller genstanden kan anvendes direkte uden anden yderligere forarbejdning, end hvad der er normalt indenfor praksis c) stoffet eller genstanden fremstilles som en integreret del af en produktionsproces, og d) videreanvendelse er lovlig, dvs. at stoffet eller genstanden lever op til alle relevante krav til produkt, miljø og sundhedsbeskyttelse for den pågældende anvendelse og ikke vil få generelle negative indvirkninger på miljøet eller menneskers sundhed.</p>	<p>Forebyggelse/prevention WFD art. 3, nr. 12 "forebyggelse": Foranstaltninger, der træffes, inden stoffer, materialer eller produkter bliver til affald, og som mindsker: a) affaldsmængden, herunder via genbrug af produkter eller forlængelse af produkternes levetid b) de negative konsekvenser, som det producerede affald har for miljøet og menneskers sundhed, eller c) indholdet af skadelige stoffer i materialer og produkter.</p> <p>Genbrug/re-use WFD art. 3, nr. 13/ affbkg. § 3, nr. 31 "genbrug": enhver operation, hvor produkter eller komponenter, der ikke er affald, bruges igen til samme formål, som de var udfordret til.</p>	<p>Eksempler:</p> <p>a) Kampagner mod madspild. Etablering af ordninger (ordninger, hvor flere personer deler et aktivt, f.eks. haveudskaber, værktøjer eller biler). Pant- og retursystemer, der sikrer genbrug af f.eks. ølflasker. Byttecentre i boligforeninger. Initiativer til forlængelse af levetiden af produkter, herunder sikring af adgang til reservedele og forbedring af muligheden for reparation af produkter. Genbrug af produkter og komponenter. b) og c) Weee-direktivets krav om, at farlige stoffer og komponenter, f.eks. batterier og asbestholdigt materiale, fjernes fra indsamlet elektronskaffald RoHS-direktivet om begrænsning af anvendelsen af visse farlige stoffer i elektrisk og elektronisk udstyr, som begrænser anvendelsen af visse farlige stoffer, f.eks. bly og cadmium, i elektronskaffald. Tøj afleveret til en genbrugsbutik. Ølflasker (indsamlles via trykgerter og ikke via kommunalt indsamlingssystem – bliver aldrig affald i modsetning til f.eks. flasker, der indsamles via det kommunale indsamlingssystem).</p>
(2-5) Affaldshåndtering - nyttiggørelse (2-4) og bortskaffelse (5)		
<p>Affald/Waste WFD art. 3, nr. 1 (affbkg. § 2, stk. 1) "affald": ethvert stof eller enhver genstand, som indehaveren skiller sig af med eller agter eller er forpligtet</p>	<p>Nyttiggørelse af affald/recovery – (jf. a) c) nedenfor WFD art. 3, nr. 15 (affbkg. § 3, nr. 41) "nyttiggørelse": enhver operation, hvis hovedresultat er, at affald opfylder et nyttigt formål ved at erstatte anvendelsen af andre materialer, der ellers ville være blevet anvendt til at opfylde en bestemt funktion, eller som er forberedt med henblik på at opfylde den bestemte funktion i anlægget eller i samfundet generelt. Bilag II indeholder en liste over nyttiggørelsesoperationer Kan omfatte både materialenyttiggørelse (affbkg. § 3, nr. 1) (f.eks. kompostering) og energinyttiggørelse (f.eks. forbrænding).</p>	<p>(2-4) Nyttiggørelse</p>

til at skille sig af med.				
	<p>Foreløbig anvendelse</p> <p>Forbehandling (afbbg. § 3, nr. 25) kemiske eller biologiske processer fond for nyttiggørelse eller bortskaffelse, herunder sortering, knusning, sammenpresning, pelletering, tørring, neddeling, konditionering, adskillelse, og fond for nyttiggørelse endvidere demontering, ompakning, blanding eller blanding, hvorved affaldets egenskaber ændres med det formål at mindske dets omfang eller farlighed eller på anden måde gøre den videre håndtering lettere, jf. fodnoten til R.12 i bilag II i WFD.</p> <p>Forbehandling forud for nyttiggørelse eller bortskaffelse/ Preparation prior to recovery or disposal. Pre-processing prior to recovery, e.g. dismantling, sorting, crushing, compacting, pelletising, drying, shredding, conditioning, repackaging, separating, blending or mixing prior to R.1- R.11. R.12</p> <p>Herunder genvinding (som led i genanvendelse)</p>	<p>(2) a) Forberedelse med henblik på genbrug/Preparation for re-use WFD art. 3, nr. 16 (afbbg. § 3, nr. 26) "forberedelse med henblik på genbrug": enhver nyttiggørelsesoperation i form af kontrol, rengøring eller reparation, hvor produkter eller produktkomponenter, der er blevet til affald, forberedes, således at de genbruges uden anden forbehandling.</p>	<p>Brugte produkter og produktkomponenter. Eksempler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rengøring, eftersyn, reparation af cykler, møbler og byggemateriale, f.eks. rengøring af gamle mursten med henblik på reparation af gamle bygninger. • Tøj afleveret i en genbrugscontainer, som bliver repareret og brugt igen. • Genpålidelige flasker, der indsamles via det kommunale indsamlingssystem og dermed bliver affald, og som derefter rengøres og genpålides, f.eks. vinflasker, men ikke ølflasker, der indsamles via bryggerierne. • Frasortering af hele vinflasker fra de kommunale glascontainere, hvor en blanding af flasker og skår er afleveret i affaldssystemet, og hvor de hele flasker frasorteres, kontrolleres og rengøres, hvorefter de kan genpålides og genbruges som emballage. 	<p>Ikke affald (længere)</p> <p>Ud af affaldsstrømmen via EoW-kriterier (f.eks. Via EoW kriterier fastsat efter WFD eller nationale EoW-kriterier, jf. WFD artikel 6 og afbbg. § 4, stk. 4-6^{*)}. Reguleres ikke længere af affaldsregler, men af produktregler og andre regler.</p>
	<p>Endelig anvendelse</p> <p>(3) b) Genanvendelse/Recycling WFD art. 3, nr. 17 (afbbg. § 3, nr. 29) "genanvendelse": enhver nyttiggørelsesoperation, hvor affaldsmaterialer omforarbejdes til produkter, materialer eller stoffer, hvad enten de bruges til det oprindelige formål eller til andre formål. Heri indgår omforarbejdning af organisk materiale, men ikke energiudnyttelse og omforarbejdning til materialer, der skal anvendes til brændsel eller til opfyldningsoperationer. (R.2-6 og R.9)</p>	<p>(4) c) Anden nyttiggørelse, f.eks. energiudnyttelse/other recovery, e.g. energy recovery Kan både være a) anden materiale nyttiggørelse (afbbg. § 3, nr. 9)(R2 – R5, R.7- R8 og R.10) b) energiudnyttelse (R1)</p> <p>Anden materiale nyttiggørelse, herunder opfyldningsoperationer med anvendelse af affald som ersättning for andre materialer, af ikke-farligt bygge- og nedrivningsaffald, jf. WFD artikel 11/7</p>	<p>Materialer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kompost, der opfylder produktivitetskriterier f.eks. EoW-kriterier, typisk kompost af almindeligt havesaffald R.3 • Genanvendelse af materialer, som f.eks. papir, glas, plast eller metal, hvor materialerne efter indsamling i affaldssystemet sættes til virksomheder og indgår i produktionen af nye produkter. Genanvendelse af papir, glas, plastik og metal, f.eks. plastprodukter eller komponenter, der indgår i nyt plastmateriale, smeltning af glas til glasproduktion, brug af papir i papirfabrik, R.4 og R.5 • Nedkøst gipsaffald, der anvendes til produktion af nye gipsplader eller til cementproduktion. • Tøj, der vaskes og laves til klude. • Anvendelse af nedfaldet affaldsstrå til spånladeproduktion. 	<p>Affald (også efter slubehandling og evt. salg som en form for "produkt"), dvs. omfatter af affaldsregulering og ikke produktregulering og andre regler.</p>
			<p>Materialer:</p> <p>a) Anden materiale nyttiggørelse</p> <p>Eksempler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kompost, der ikke opfylder produkt-kvalitetskriterier. R.10 • Udbrugging af slam og andet organisk affald til jordbrugsformål. R.10 • Nedkøst bygge- og anlægsaffald og slæger fra affaldsforbrænding, der anvendes til opfyldning som ersättning for andre materialer i f.eks. veje, stier, pladser, støjvolde, ramper, diger, dæmninger, terrænregulering, opfyldning i gulve og under 	

	<p>Genvinding er knyttet til bestemte materialer som f.eks. metal. Genvinding er, når der efter behandling fremkommer "rene" fraktioner af materialet, der egner sig til at indgå direkte i en genanvendelsesoperation. Der skal være tale om mindst 80 % af det indkomne materiale. Er der andre materialer, der efter behandling kan genanvendes (f.eks. en plastraktion fra metalgenvinding), så kan de ikke tælle med i de 80. R2-R5</p> <p>Eksempler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biogasanlæg kan være forbehandling (men også energiudnyttelse). 	<p>Opfyldning/Backfilling Kommissionens afgørelse af [...] om fastlæggelse af regler og beregningsmetoder med henblik på at kontrollere overholdelse af de mål, der er omhandlet i artikel 11, stk. 2, i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2008/98/EF (ikke autoritativt) (præcedens)</p> <p>6) "opfyldning": en nyttiggørelsesoperation, hvor eget affald anvendes til reetablering af udgravede områder eller ingeniortekniske formål i forbindelse med anlægsarbejder, og hvor affaldet anvendes som erstatning for andre ikke-affaldsmaterialer.</p> <p>Eurostat: Backfilling means a recovery operation where waste is used in excavated areas (such as underground mines, gravel pits) for the purpose of slope reclamation or safety or for engineering purposes in landscaping and where the waste is substituting other non-waste materials which would have had to be used for the purpose. This includes: the use of waste for stowage of mines and quarries; the use of waste for recultivation, land reclamation or landscaping. Backfilling does not have a clear assignment to the R-codes.</p>	<p>fundamenter. R 5 Nedkunst gipsaffald, der anvendes i kompost som smikthorforbedringsmiddel. R 5</p> <p>b) Energiudnyttelse Eksempler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forbrænding af affald i anlæg dedikeret til forbrænding af kommunalt fast affald. Anlægget skal opfylde R1-kriteriet for så vidt angår energiudnyttelse. R 1 • Udnyttelse af affald som brændsel, f.eks. medforbrænding af affald på Aalborg Portland. R 1 • Biomasseaffald i f.eks. fjernvarmeanlæg. • Tøj alleveret i en genbrugscontainer, som ikke kan repareres og bruges igen, men som skal forbrændes. 	
	<p>Forbehandling (afbbg. § 3, nr. 25) Forbehandling: De fysiske, kemiske, biologiske eller biologiske processer, som anvendes til at stabilisere eller forberede affald til bortskaffelse eller forbrænding. Herunder sortering, knusning, sammempresning, pelletering, tørring, neddeling, konditionering, adskillelse, og fond for nyttiggørelse anvender demontering, ompakning, blanding eller blanding, hvorved affaldets egenskaber ændres med det formål at mindske dets omfang eller farlighed eller på anden måde gøre den videre håndtering lettere.</p> <p>Forbehandling, fond for nyttiggørelse eller bortskaffelse/</p> <p>Eksempler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biologisk stabilisering af affald, fond for deponering = forbehandling, fond for bortskaffelse. D 13 	<p>(5) Bortskaffelse</p> <p>(5) Bortskaffelse/ (disposal/afbbg. § 3, nr. 15) "bortskaffelse": enhver operation, der ikke er nyttiggørelse, også hvis operationen som sekundær konsekvens fører til genvinding af stoffer eller til energiudnyttelse. Bilag I indeholder en ikke-udtømmende liste over bortskaffelsesoperationer</p>	<p>Materialer.</p> <p>Eksempler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deponering af affald i henhold til deponeringsdirektivet. D 1 • Forbrænding af affald uden energiudnyttelse eller hvor R1-kriteriet ikke opfyldes. D 10. • Gipsaffald anvendt som afækningsmateriale, hvis det vurderes, at affaldet ikke erstatter andre materialer. D 1 • Deponering af regnskabsprodukt fra affaldforbrænding. 	<p>Affald</p>

* Artikel 6

Affaldsrensens ophør

1. Visse særlige former for affald ophører med at være affald, jf. artikel 3, nr. 1), når det har gennemgået en nyttiggørelsesoperation, herunder genanvendelse, og opfylder de særlige kriterier, der udspecificeres i følgende betingelser:
 - a) stoffet eller genstanden er almindeligt anvendt til specifikke formål
 - b) der findes et marked for eller en efterspørgsel efter et sådant stof eller en sådan genstand
 - c) stoffet eller genstanden opfylder de tekniske krav til de specifikke formål og lever op til gældende lovgivning og normer vedrørende produkter, og anvendelsen af stoffet eller genstanden får ikke generelle negative indvirkninger på miljøet eller menneskers sundhed.
 - d) Kriterierne skal om nødvendigt omfatte grænseværdier for forurenende stoffer og skal tage hensyn til stoffets eller genstandens miljøskadelige virkninger.
2. De foreslåede kriterier skal omfatte ikke-væsentlige bestemmelser i dette direktiv ved at supplere det, og som vedrører vedtagelse af de i stk. 1. fastsatte kriterier og præciserer typen af affald, sådanne kriterier skal finde anvendelse på, vedtages efter forskriftsproceduren med kontrol i artikel 39, stk. 2. Der bør bl.a. tages hensyn til specifikke kriterier for affaldsrensens ophør, i det mindste for tekstilaffald, papir, glas, metal, dæk og tekstiler.
3. Affald, der ophører med at være affald i overensstemmelse med stk. 1 og 2, ophører også med at være affald i forbindelse med de nyttiggørelses- og genanvendelsesmål, der er fastsat i direktiv 94/62/EF, 2000/53/EF, 2002/96/EF og 2006/66/EF og anden relevant fællesskabslovgivning, når kravene om genanvendelse og nyttiggørelse i denne lovgivning er opfyldt.
4. Hvis der ikke er fastsat kriterier på fællesskabsniveau eller proceduren i stk. 1 og 2, kan medlemsstaterne fra sig til sig beslutte, om affaldsfasen er ophørt, under hensyntagen til relevant praksis. De underretter Kommissionen om sådanne beslutninger i overensstemmelse med Europa-parlamentets og Rådets direktiv 98/34/EF af 22. juni 1998 om en informationsprocedure med hensyn til tekniske standarder og forskrifter samt forskrifter for informationsprogrammer til tekniske tjenester [24].

Såfremt nævnte direktiv kræver det

Afflg., § 4, stk. 4-6

Så 4. Kommunalbestyrelsen skal træffe afgørelse om, at stoffer eller genstande, som opfylder kriterierne i stk. 5, ikke længere er affald.

Så 5. Kommunalbestyrelsen skal i sin afgørelse efter stk. 4 inddrage følgende kriterier

- 1) stoffet eller genstanden har gennemgået en nyttiggørelsesoperation, herunder genanvendelse,
- 2) stoffet eller genstanden er almindeligt anvendt til specifikke formål,
- 3) der findes et marked for eller en efterspørgsel efter et sådant stof eller en sådan genstand
- 4) stoffet eller genstanden opfylder de tekniske krav til de specifikke formål og lever op til gældende lovgivning og normer vedrørende produkter, og anvendelsen af stoffet eller genstanden får ikke generelle negative indvirkninger på miljøet eller menneskers sundhed.

Så 6. Kommunalbestyrelsen skal orientere Miljøstyrelsen om afgørelser truffet efter stk. 4. Miljøstyrelsen offentliggør disse afgørelser på www.mst.dk.

Innovationspartnerskabet for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam

Innovationspartnerskabet blev etableret i december 2011 som et led i regeringens affaldsstrategi 2010 og implementeringen af regeringens miljøteknologiske handlingsplan (2010-2011). Formålet med partnerskabet var at skabe en platform for strategisk samarbejde om udvinding/nyttiggørelse af fosfor i spildevand og spildevandsslam med fokus på teknologi-, markeds- og reguleringsudvikling:

- Der blev udarbejdet en liste over teknologier til udvinding/udnyttelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam, som omfatter veletablerede teknologier samt udviklingsteknologier. Konkrete forslag til teknologiudvikling omfatter en forbedring af den biologiske fosforfjernelse på rensningsanlæg, udvinding af fosfor fra rejeckt vand samt dedikeret slamforbrænding med efterfølgende kontrolleret deponering af slammaske i fosforbanker.
- Der blev skabt et overblik over markedet for anvendelse af spildevandsslam samt for potentielle markeder for afsætning af teknologi samt salg af oparbejdede fosforprodukter. Det blev vurderet, at de danske styrker i en eksportsammenhæng primært ligger inden for knowhow, og at der er muligheder for systemeksport uden for EU.
- De regulatoriske rammer for genanvendelse/udvinding af fosfor samt eventuelle u hensigtsmæssige overlap på tværs af lovgivningen blev belyst. Indplaceringen af udvinding af fosfor fra aske i affaldshierarkiet blev identificeret som en af udfordringerne. Såfremt det ikke kan betragtes som genanvendelse, vil det være en barriere for den videre teknologiudvikling i forbindelse med udvinding af fosfor fra aske. Vandsektorlovens bestemmelser om prisloftet er en anden udfordring, idet prisloftet kan have indflydelse på, om spildevandsforsyningerne vil indføre nye tek-



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
DK - 1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk