



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# Potentialer og barrierer for øget fosforudnyttelse i vandsektoren

Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 32

Juni 2019



Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: NIRAS A/S

Fotos: NIRAS A/S (forside)

ISBN: 978-87-7038-083-6

Miljøstyrelsen 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

<b>1.</b>	<b>Baggrund</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Slam og slambehandling i dag</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Kortlægning af initiativer</b>	<b>7</b>
3.1	Dansk fosfornetværk og fosforstrategi	7
3.1.1	Opsamling fra fosfornetværket	7
3.2	Vidensyntese om fosfor	8
3.2.1	Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand	8
3.2.2	Genanvendelse af fosfor fra slamaske	9
3.2.3	Analyse af potentialer for ressourceudnyttelse i vand- og spildevandsforsyningen	9
3.2.4	Comparison of phosphorus recovery from incineration and gasification sewage sludge ash	9
3.2.5	Low temperature biomass gasification	9
3.2.6	Low temperature circulating fluidized bed gasification and co-gasification of municipal sewage sludge. Part 1 and 2	10
3.3	Relevante MUDP-projekter	10
3.3.1	Genanvendelse af Fosfor og Kvælstof ved inddampning af rejeftvand (GAFOKIR)	10
3.3.2	Innovationspartnerskab for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam fra spildevandsforsyninger	11
3.3.3	Tørring og pelletering af gødning fra fosforholdige asker	11
3.3.4	Poleringsteknologi til vidtgående fosforjernelse	12
3.3.5	Udvinning af fosfor fra slamaske med elektrokemisk teknik	12
3.3.6	Fra spildevand til fosforholdige produkter	12
3.3.7	Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand	13
3.3.8	Genindvending af fosfor fra spildevandsslam	14
3.3.9	Genanvendelse af fosfor fra slamaske	14
3.3.10	Improving phosphorus recovery by supplementing wastewater treatment with electro dialysis	15
3.3.11	VARGA	15
<b>4.</b>	<b>Vurdering af potentialer</b>	<b>16</b>
	<b>Bilag 1.Fosforrelaterede MUDP-projekter</b>	<b>20</b>
<b>5.</b>	<b>Referencer</b>	<b>22</b>

# 1. Baggrund

Denne kortlægning af udnyttelsen af fosfor i spildevandsslam er en del af 'Partnerskab til fremme af ressourceudnyttelse i vandsektoren'. Baggrunden for kortlægningen er, at der i [resourceplanen for affaldshåndtering 2013-2018](#) formuleres den forventede effekt, at 80% af fosfor i spildevandsslam udnyttes i 2018. Det er i lyset heraf, at potentialer og barrierer for en øget udnyttelse af fosfor i spildevandsslam undersøges. Undersøgelsen er i form af en kortlægning af henholdsvis de nuværende pilotprojekter i forhold til fosforudnyttelse fra slammaske og struvit, samt en overordnet kortlægning af potentialerne for øget udnyttelse af fosfor i spildevandsslam i Danmark. Kortlægningen munder ud i en overordnet vurdering af potentialerne for øget udnyttelse af fosfor i spildevandsslam i Danmark.

Det skal indledningsvist understreges at flere forsyninger og spildevandsselskaber i varierende omfang allerede har igangsat fosfor-genindvindingsinitiativer. Nogle af disse initiativer har baggrund i eller har hentet inspiration fra nogle af de undersøgelser og projekter der er med i denne kortlægning.

Indtil nu har det primært været anlæg til udvinding af fosfor i form af struvit der er blevet etableret. Disse anlæg er pt.:

- Marselisborg Renseanlæg i Aarhus
- Herning Centralrenseanlæg
- Helsingør Renseanlæg
- Aaby Renseanlæg i Aarhus

Andre har også undersøgt mulighederne for etablering af struvitanlæg til øget fosforudnyttelse, for eksempel i Horsens Vand og Billund Vand har man haft overvejelserne, men man valgte ikke at gå videre, da potentialet ikke var stort nok.

Udnyttelsesgraderne på de etablerede struvitanlæg ligger ifølge kilder i branchen på 35-50% af fosformængden i tilløbet, svarende til 80-90% af fosformængden i rejeckt vandet fra det udrådnede slam. Udnyttelsesgraderne er dog følsomme overfor justeringer af processerne og det samlede renseanlæg. På Marselisborg Renseanlæg, der er et af de større danske renseanlæg, er struvitanlæggets maksimale årlige kapacitet 250 tons gødningsprodukt.

Det er imidlertid ikke kun øget fosforudnyttelse gennem struvitfældning, som danske forsyninger og spildevandsselskaber fokuserer på. Som det også fremgår af nogle af de undersøgelser og projekter der er med i denne kortlægning, arbejder BIOFOS i hovedstadsområdet med at udvinde fosfor fra den slammaske, der er tilbage, når det afvandede spildevandsslam er forbrændt og energiudnyttet. BIOFOS har senest underskrevet en aftale i form af et Memorandum of Understanding (MoU) med et svensk selskab. Ifølge BIOFOS kan udvinding af fosfor fra slammasken potentielt reducere Danmarks samlede import af fosfor med op til 10%. Forsøg har vist, at op mod 90% af fosforen i slammasken fra BIOFOS' renseanlæg kan udvindes af det svenske selskab. Som en sidegevinst kan op til halvdelen af fosforfældningsmidlerne jern og aluminium samtidig udvindes. Slammasken skal dels komme fra BIOFOS' løbende produktion på cirka 8.000 tons slammaske om året og dels fra de askedepoter på omkring 280.000 tons man gennem årene har opbygget.

Selvom slammaske også produceres på andre danske renseanlæg blandt andet i Aalborg, Furusø og Lyngby, er det umiddelbart kun BIOFOS, der pt. er så langt med planerne om at udvinde fosfor af slammasken.

## 2. Slam og slambehandling i dag

Der genereres årligt omkring 130.000 tons slam (tørstof) fra de danske renselanlæg. Dette har været relativt stabilt de seneste år, som det fremgår af nedenstående tabel fra Miljøstyrelsens affaldsstatistik 2016 (Miljøstyrelsen(a), 2018):

**TABEL 1.** Affaldsmængder 2014-2016: Slam fra renselanlæg, 1000 tons tørstof

Tørstof, tons (1000)	2014	2015	2016
Slam - Rensningsanlæg	132	131	132

Kilde: (Miljøstyrelsen(a), 2018), tabel 2.4

Af affaldsstatistikken fremgår også, hvordan den samlede mængde slam fra renselanlæggene slutdisponeres. Dette fremgår af nedenstående oversigt:

**TABEL 2.** Slambehandling 2014-2016: Slam fra renselanlæg

	2014	2015	2016
Udbringning på landbrugsjord	66%	65%	64%
Kompostering mv.	8%	6%	9%
Forbrænding	25%	28%	26%
Deponering	0%	1%	1%
Total (Tørstof, tons)	132	131	132

Kilde: (Miljøstyrelsen(a), 2018), tabel 3.17

Hvis det antages, at fosforindholdet er nogenlunde på samme niveau, uanset hvordan slammet slutdisponeres, blev 73% af fosforindholdet i spildevandsslammet i 2016 udnyttet ved anvendelse til jordbrugsformål. Dels ved at 64% af slammet blev udbragt på landbrugsjord, og dels ved at 9% blev komposteret jf. ovenstående tabel.

De 26% af slammet fra renselanlæg, der i 2016 blev sendt til forbrænding, svarer ud fra ovenstående statistikker til 35.000 tons og den ene procent der deponeres til 1.000 tons. Antages et gennemsnitligt fosforindhold i spildevandsslammet på 3-4% jf. (Miljøstyrelsen(b), 2015) svarer det til, at omkring 1.200 tons fosfor ikke blev udnyttet ud af en samlet mængde fosfor på 4.600 tons. Af tabellen herunder fremgår de beregnede mængder fosfor, ligesom det er beregnet, hvor store mængder fosfor der skal udnyttes i de slammængder, der i 2016 blev sendt til forbrænding eller deponering.

**TABEL 3.** Beregnet fosforindhold 2016: Slam fra renseanlæg

2016 (tørstof, tons)	Slam-mængde t. slutdisponering	Fosfor-mængde (P-indhold 3%)	Fosfor-mængde (P-indhold 4%)	Gns. Fosfor-mængde	Fosfor-mængde ved 80% udnyttelse	Gns. Udnyttelse v. 80%-målsætning
Udbringning på landbrugsjord	84.000	2.520	3.360	2.940	2.940	100%
Kompostering mv.	12.000	360	480	420	420	100%
Forbrænding	35.000	1.050	1.400	1.225	<b>336</b>	<b>27%</b>
Deponering	1.000	30	40	35		
<b>Total (tons)</b>	<b>132.000</b>	<b>3.960</b>	<b>5.280</b>	<b>4.620</b>	<b>3.696</b>	<b>80%</b>

For at nå den forventede effekt om 80% udnyttelse af fosforindholdet i spildevandsslam fra renseanlæg ville det betyde at man i 2016 skulle reducere slamforbrænding og deponering af slammaske uden fosforudnyttelse til maksimalt 20%, eller at man skulle udvinde en tilstrækkelig mængde fosfor fra slammasken eller slammet inden deponering. Dette ville svare til, at man i gennemsnit skulle udvinde omkring 300 tons fosfor fra den mængde slam der blev sendt til forbrænding eller deponering, eller med andre ord opnå en gennemsnitlig udnyttelsesgrad på omkring 27% af den totale mængde fosfor i slammet, der sendes til forbrænding uden fosforudnyttelse eller deponering.

Flere forhold kan trække i retning af såvel højere som lavere fosforudnyttelse i fremtiden. Hvis BIOFOS får igangsat en 90% udnyttelse af fosforen i deres slammaske, vil dette alene kunne sikre at den forventede effekt nås, da BIOFOS renseanlæg Lynetten og Avedøre årligt forbrænder omkring 23.000 tons af de samlede 35.000 tons slam der forbrændes på landsplan (DANVA, Danva-Nyheder, 2018). Det kan imidlertid også blive nødvendigt at opnå høje fosforudnyttelsesgrader fra slammaske, hvis udviklingen i Danmark går ligesom i vores nabolande Tyskland og Sverige, hvor der arbejdes på lovgivninger, der vil reducere mængden af spildevandsslam på landbrugsjord.

I Tyskland stilles der i ny slambekendtgørelse krav om højere fosforudnyttelse ved at slammet forbrændes og fosforen derefter udvindes af slammasken (DAKOFA, 2018). I Sverige overvejes et forbud mod udbringning af spildevandsslam på landbrugsjord, men forbuddet er ikke endeligt besluttet endnu (Svensk\_Vatten, 2018).

## 3. Kortlægning af initiativer

I lyset af status for den nuværende udnyttelse af fosfor i spildevandsslam kortlægges i de følgende afsnit de initiativer, der kan understøtte en højere udnyttelse i fremtiden.

Udgangspunktet for kortlægningen er den liste over fosforrelaterede MUDP-projekter, som ses i Bilag 1. Der er desuden foretaget en supplerende litteratursøgning for andre relevante initiativer. Endeligt er erfaringer fra videnssynthesen om fosfor udført af Aarhus Universitet (DCE, 2018) inddraget i kortlægningen, ligesom udvalgte erfaringer fra Dansk Fosfornetværk og arbejdsgruppen omkring fosforhierarkiet er inkluderet (DAKOFA, Dansk kompetencecenter for affald og ressourcer, 2018).

Alle initiativer er beskrevet i forhold til de hovedkonklusioner, der er fundet i de pågældende projekter og initiativer, hvor særligt fokus er på potentialer og barrierer for øget fosforudnyttelse på spildevandsanlæg i Danmark.

### 3.1 Dansk fosfornetværk og fosforstrategi

Det danske fosfornetværk blev oprettet i 2015 af Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2016). Netværket har til formål at skabe grobund for øget genanvendelse af fosfor, samt eksport af dansk løsninger til fosfor-genindvinding (DANVA, DANVA nyheder, 2018). I 2017 anbefalede netværket, at der skulle arbejdes videre med en national fosforstrategi, hvori der indgik fosfor fra spildevandsslam. Derudover pegede netværket på en række initiativer og forslag til projekter indenfor følgende hovedområder (DANVA, DANVA nyheder, 2018):

- Fosfor-genanvendelse på renseanlæg fra spildevand og spildevandsslam
- Fosfor-genanvendelse fra spildevandsslam ved udnyttelse i landbruget
- Fosfor-genanvendelse fra slamforbrænding

Desuden blev der i fosfornetværket peget på, at et fosforhierarki kunne være med til at fremme og udvikle målrettede initiativer til at øge genanvendelsen af fosfor fra spildevand og slam. Efterfølgende igangsatte Miljøstyrelsen et projekt, der skulle resultere i et udkast til et fosforhierarki som mulig guideline for kommende initiativer i en affaldsstrategi. Medlemsorganisationerne DAKOFA og DANVA blev bedt om at varetage projektet i fællesskab, og en ekspertgruppe blev involveret i arbejdet. Output fra arbejdet blev grundlag for drøftelser i det nordiske fosfornetværk og udgangspunkt for et fælles nordisk P-hierarki. Dette blev præsenteret på et seminar i december 2018 (DAKOFA, DAKOFA-Fosforhierarki, 2018).

#### 3.1.1 Opsamling fra fosfornetværket

Projekt: Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr.1895, 2016

Beskrivelse: Erfaringerne fra opstarten i 2015 samt deres forventninger til det videre forløb opsummerede Dansk fosfornetværk i 2016 i Miljøprojekt nr.1895 (Miljøstyrelsen, 2016). I afrapporteringen indgår to rapporter af Syddansk Universitet (SDU), hvor den ene fokuserer på markedet for spildevandsslam (biogødning) og den anden på fosforprisens forventede udvikling. Derudover indgår et tredje bilag i form af en oversigt over eksisterende viden om plantetilgængelighed af fosfor i forskellige slamprodukter udarbejdet af Københavns Universitet (KU). Endeligt er der som et fjerde bilag en opsamling på gennemførte projekter vedrørende fosfor-genanvendelse i EU og Norden per 2015, herunder en overordnet kortlægning af MUDP-støttede danske projekter om fosfor.

Konklusion: I forhold til markedet for spildevandsslam konkluderes det, at usikkerheden omkring indholdet i spildevandsslam er en udfordring for udnyttelse til jordbrugsformål. Derudover at fosforgødningsværdien ikke umiddelbart afspejles positivt i markedsværdien af spildevandsslam til jordbrugsformål (biogødning). Med hensyn til fosforprisen konkluderes det, at fosforreserven generelt set er steget med markedsprisen på fosfor. Dette fører til en øget produktion, dog med en vis forsinkelse indtil en ny ligevægtspris er opnået. For så vidt angår gødningsværdien af de forskellige slamprodukter, er konklusionen, at biologisk indbygning af fosfor, fremfor kemisk fældning, giver størst gødningsværdi. Med en fældning baseret på magnesium til struvitproduktion, fås et fosforprodukt med høj gødningsvirkning. Generelt blev det på netværkets første møde konkluderet at:

- *"...Der er i dag ingen rammevilkår, der i sig selv fordrer genanvendelse af fosfor..."*
- *"...De nuværende værdikæder vælges ud fra andre kriterier end målsætninger om genanvendelse af fosfor..."*

Med hensyn til markedsværdien for fosfor udvundet af spildevandsslam er det værd at bemærke at højere priser potentielt kan opnås, hvis fosforen anvendes i gødningsprodukter der sælges som "genanvendte" f.eks. i havegødning og -kompost. Struvitproduktionen fra de pt. fire danske anlæg sælges i nogen grad til sådanne produkter (Aarhus\_Vand, 2019). Ligeledes kan fosforprodukter udvundet af spildevandsslam potentielt opnå højere priser ved anvendelse i økologisk jordbrug. Struvit er pt. godkendt til anvendelse i konventionelt jordbrug (Aarhus\_Universitet, December 2018), men godkendelsen til anvendelse i økologisk jordbrug udestår. Når struvit af EU er godkendt som gødningsprodukt, er det af EU-ekspertgruppen EGTOP anbefalet at det godkendes til anvendelse i økologisk jordbrug (EGTOP, Februar 2016). Det er forventningen at godkendelsen opnås indenfor ét år efter at STRUBIAS-rapporten fra EU-kommissionen (JRC, August 2018) er endelig (MFVM, 2019).

Potentiale: Vurderes ikke nærmere

Barrierer: Usikkerhed omkring indholdet i spildevandsslam. Markedssituation for fosfor som ressource. Manglende rammevilkår.

Udviklingsmuligheder: Udvikling af markedets kendskab til og viden om egenskaberne for spildevandsslam. Mere viden om forskellige slamprodukters egenskaber og gødningsværdi.

## **3.2 Vidensyntese om fosfor**

Som opfølgning på ændring af lov om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug (husdyrbrugloven), hvor der blev indført en ny fosforregulering i form af fosforlofter for forskellige gødnings typer, udarbejder DCE (Nationalt center for miljø og energi) ved Aarhus Universitet for Miljø- og Fødevarerministeriet en vidensyntese om fosfor (DCE, 2018). Fosforvidensyntesen skal beskrive fosfor som en naturressource, anvendelsen i landbruget og miljøpåvirkningen herved. Syntesen skal kortlægge viden om fosforstrømmene inden for landbrug, spildevand, slam og affald. Endvidere skal syntesen bidrage til en afdækning af muligheder og barrierer for en øget genanvendelse af fosfor.

Syntesen forventes færdig og offentliggjort i 2019. Syntesen henvender sig til politiske beslutningstagere og udarbejdes på baggrund af primært to faglige rapporter fra DCE, dvs. teknisk rapport nr. 77 "Redegørelse for udvikling i landbrugets fosforforbrug, tab og påvirkning af Vandmiljøet", og "Husdyrs fosforudnyttelse og fosfors værdikæde fra husdyrgødning, bioaffald og spildevand - Faglig baggrundsrapport for fosforvidenssyntesen" (under forberedelse).

### **3.2.1 Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand**

Se afsnit 3.3.7.



### 3.2.2 Genanvendelse af fosfor fra slammaske

Se afsnit 3.3.9.

### 3.2.3 Analyse af potentialer for ressourceudnyttelse i vand- og spildevandsforsyningen

Projekt: Naturstyrelsen, 2015.

Beskrivelse:

Som en del af udviklingen af fakta om den miljøteknologiske branche i Danmark udgav Naturstyrelsen i 2015 'Analyse af potentialer for ressourceudnyttelse i vand- og spildevandsforsyningen' (Ecoinnovation, 2018). Rapportens formål er at give et overblik over de nye teknologiske muligheder for at øge ressourceudnyttelsen i spildevandsrensningen i Danmark. Ud over at præsentere de enkelte teknologiske løsninger vurderes deres teknologiske modenhed samt potentiale. I rapporten er især 'TEK16 Fosforagenindvinding – biologisk fosforfjernelse og struvitfældning' samt 'TEK19 Høst af fosfor og kvælstof relevant for indeværende kortlægning.

Konklusion: Ved at anvende biologisk fosforfjernelse (Bio-P) opnås en høj biotilgængelighed af den fosfor, der er indeholdt i slam udbragt på landbrugsjord. Nye metoder vil på sigt muliggøre en afkobling mellem slam og næringssalte.

Potentiale: Ved struvitfældning fjernes ifølge analysen ca. 80-90% fosfat, hvilket svarer til cirka 35% af fosforen i rensesanlæggets tilløb og 10-20% ammonium i rejektvandet. Der fås endvidere ved hjælp af struvitfældning et koncentreret produkt, der kan lagres og transporteres.

Barrierer: Der er tale om modne tekniske løsninger, og det vurderes samtidig ikke, at der er væsentlige barrierer for udbredelsen. For eksempel vurderes økonomien i Bio-P og struvitfældning at være god.

Udviklingsmuligheder: Er implementeret i fuld skala men trods det stadig ny teknologi.

### 3.2.4 Comparison of phosphorus recovery from incineration and gasification sewage sludge ash

Projekt: Artikel publiceret i 'Water science and technology', 2017

Beskrivelse: For at undersøge eventuelle forskelle i fosfortilgængeligheden imellem forskellige slammasker blev slam fra Bjergmarken rensesanlæg i Roskilde indsamlet. Én prøve blev brændt på Avedøre Renssanlæggs forbrændingsanlæg og en anden på DTU's fluidized bed gasifier i Roskilde.

Konklusion: Op til 80% af fosforen i slammasken fra de to prøver kunne efterfølgende udvindes ved hjælp af elektrodialytiske processer.

Potentiale: Ikke nærmere angivet.

Barrierer: Ikke nærmere angivet.

Udviklingsmuligheder: Ikke nærmere angivet

### 3.2.5 Low temperature biomass gasification

Projekt: EUDP project 64011-0337, 2017

Beskrivelse: Det primære formål med projektet har været at teste en lavtemperatur fluidized bed gasificeringsteknologi kaldet PYRONEER. En del af projektet var samtidig at undersøge hvordan bio-aske fra gasificeringen kan udnyttes som gødning. Ét af de undersøgte biomasser var spildevandsslam.

Konklusion: I projektets arbejdsplan 2 blev det konkluderet, at ved at anvende elektrodialytiske metoder kan mindst 70% af fosforen udvindes fra slamasken fra PYRONEER-gasificeringen. Indholdet af uønskede metaller såsom jern, aluminium og tungmetaller i fosforproduktet var i øvrigt sammenligneligt med kommercielle gødningsprodukter.

Potentiale: Baseret på projektets resultater vurderes det, at der er et stort potentiale for at optimere behandlingen af spildevandsslam ved at anvende de rette termiske processer. Således er det muligt at udnytte slammets energipotential fuldt ud og samtidig producere et brugbart gødningsprodukt.

Barrierer: Håndtering og transporten af gødningsproduktet fra slamasken er sammen med store variationer i kvaliteten af gødningen nævnt som væsentlige udfordringer. Derudover er langtidseffekterne af gødningen ikke undersøgt, ligesom landbruget ikke efterspørger et alternativ til de konventionelle fosfor-gødningsprodukter.

Udviklingsmuligheder: Det vurderes, at yderligere optimeringer er mulige i forhold til kvaliteten af det færdige gødningsprodukt ved for eksempel at blande behandlede biomasser. Derudover er der potentiale for at forfine ekstraktionsprocesserne samt oplyse markedet om mulighederne med det færdige gødningsprodukt.

### **3.2.6 Low temperature circulating fluidized bed gasification and co-gasification of municipal sewage sludge. Part 1 and 2**

Undersøgelserne er relateret til EUDP projekt 64011-0337, 2017 og konklusionerne er opsummeret her. Se afsnit 3.2.5.

## **3.3 Relevante MUDP-projekter**

Udgangspunktet for kortlægningen af relevante MUDP-projekter har været listen over fosforrelaterede MUDP-projekter som ses i Bilag 1. Hvert af projekterne beskrives i de følgende afsnit.

### **3.3.1 Genanvendelse af Fosfor og Kvælstof ved inddampning af rejektivand (GAFOKIR)**

Projekt: Projekt støttet af Miljøministeriets program for Grøn Teknologi 2013 (Naturstyrelsen, 2013)

Beskrivelse: Rejektivand fra afvanding af spildevandsslam indeholder fosfor. Koncentrationen er imidlertid ikke høj nok til at rejektivandet umiddelbart er interessant som gødning. Opkoncentreres det, er der imidlertid et potentiale. I projektet er en inddampningsteknologi til opkoncentrering af rejektivand undersøgt ift. både de tekniske og økonomiske muligheder.

Konklusion: Rejektivand kan inddampes ca. 30 gange. Koncentratet forventes at kunne opfylde slambekendtgørelsen ift. indhold af tungmetaller og miljøfremmede stoffer. Bundfald fra koncentratet har en fosforgødningsværdi svarende til struvit. Metoden er omkostningstung, viser business casen.

Potentiale: Begrænset potentiale på grund af relativt høje omkostninger.

Barrierer: Omkostningerne til inddampning er en barriere for anvendelse af teknologien.

Udviklingsmuligheder: Kan omkostningerne til inddampning reduceres, kan der være et potentiale for metoden.

### **3.3.2 Innovationspartnerskab for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam fra spildevandsforsyninger**

Projekt: Miljøprojekt nr. 1460, 2013

Beskrivelse: Formålet med partnerskabet er at udvikle det strategiske samarbejde om udvinding og nyttiggørelse af fosfor i affald med særligt fokus på fosfor i spildevand og spildevandsslam. Tre overordnede aktiviteter er i højsædet: udvikling af teknologi, markedsudvikling og udvikling af reguleringen.

Konklusion: Der opsummeres for de eksisterende teknologier til behandling af spildevandsslam i Danmark, at ingen af teknologierne har til formål at udvinde fosfor fra spildevandsslammet. For de biologisk baserede behandlingsmetoder (kompostering, mineralisering, biogas og direkte udbringning) sker der intet tab af fosfor i behandlingsprocessen. Anvendes spildevandsslammet som brændsel tabes fosforen, hvis slamasken deponeres og fosforen ikke inden da er udvundet.

Potentiale: En række udviklingsteknologier åbner op for øget genindvinding af fosfor fra spildevand og spildevandsslam. I forhold til slamforbrænding kan kontrolleret deponering af slamasken åbne op for på sigt at udvinde fosforressourcen, når det er teknisk muligt og økonomisk attraktivt.

Barrierer: I projektets kapitel om regulering beskrives den gældende lovgivning for anvendelsen af fosfor i spildevand og spildevandsslam. Herigennem identificeres det, at en mulig barriere for genindvinding af fosfor fra slammaske er, hvis processen reguleringsmæssigt ikke kan anses som genanvendelse. En lignende barriere kan være, hvis struvit opfattes som affald frem for et gødningsprodukt. Derudover er vandsektorlovens bestemmelser diskuteret i projektet, herunder den økonomiske regulering af vand- og spildevandsselskaberne for så vidt angår investeringer og driftsomkostninger, indtægter fra tilknyttede aktiviteter (salg af el og varme) og finansiering af udviklingsaktiviteter.

Udviklingsmuligheder: Sammenfattende anbefales det, at vandsektorloven muliggør genindvinding af fosfor fra slammaske, at nationale mål fastlægges for fosforudnyttelsen i spildevandsslam og at udviklingsprojekter kan indregnes som en omkostning i selskabernes økonomiske rammer.

### **3.3.3 Tørring og pelletering af gødning fra fosforholdige asker**

Projekt: Kommunekemi for MST, Miljøprojekt nr. 1428, 2012

Beskrivelse: Vådkemisk behandling af udvalgte fosforholdige bioasker, som gør produktet tilgængeligt for planter. Slutproduktet er en gødningspille

Konklusion: Pillerne opfylder gældende krav til salg til gødningsindustrien, men de kan ikke opbevares i længere tid. Løsningen er en coating af pillerne, men der er endnu ikke foretaget en analyse af dette.

Potentiale: Ifølge rapporten er ingen af de fire slamasker fra spildevandsslam på renseanlægene Avedøre, Lynetten, Lundtofte og Frederikssund anvendelige i processen, da der er et for lavt fosforindhold eller for højt indhold af tungmetaller.

Barrierer: Ingen af de undersøgte slamasker er anvendelige i processen.

Udviklingsmuligheder: Der er umiddelbart ikke noget udviklingspotentiale for slamaske fra spildevandsslam ift. den undersøgte proces.

### **3.3.4 Poleringsteknologi til vidtgående fosforfjernelse**

Projekt: DHI, Lyngby-Taarbæk forsyning og Silhorko-Eurowater A/S, 2014

Beskrivelse: Projekt om muligheden for fjerne fosfor fra partikelfrit rensed spildevand ved filtrering gennem et jernoxid granulat kan gøres vidtgående, robust og omkostningseffektivt.

Konklusion: Det vurderes, at adsorptionsprocessen har lavere investeringsomkostninger end andre alternativer. Processen er samtidig simpel at drive og er en meget robust proces i forhold til overholdelse af afløbskvalitet.

Processen ved at fjerne fosfor via polering i et adsorptionstrin er meget dyrere end ved simultanfældning. Dermed skal der fjernes så meget fosfor som muligt ved fældning i aktivt slam anlæg og kun den sidste rest skal fjernes via adsorption.

Potentiale: Teknologien kan bruges til at polere for det fosfor der teknisk set ikke kan fjernes ved simultanfældning, eller er meget besværlig at fjerne. Dette fører dog til, at genindvindingen af det adsorberede fosfor bliver meget omkostningstung, da der kun er tale om en meget lille mængde.

Barrierer: Ved processen fjernes en kun relativt lille mængde fosfor, og værdien heraf som fosforgødning er begrænset. Da der samtidig er omkostninger til fældningsudstyr samt øvrige driftsomkostninger, er genindvindingen ikke i sig selv økonomisk attraktiv ved de på tidspunktet for rapporten gældende priser på fosforgødning.

Udviklingsmuligheder: Der er gennemført pilotforsøg på renseanlæg og foretaget en økonomisk og teknisk vurdering. Filtreringsteknologien kræver, at det er muligt at regenerere granulatet gennem desorption og samtidig indvinde den desorberede fosfor med henblik på genanvendelse. Der er foretaget indledende laboratorieforsøg, der viser at det er muligt.

### **3.3.5 Udvinning af fosfor fra slamaske med elektrokemisk teknik**

Projekt: DTU Byg, Miljøprojekt nr. 1702, 2015

Beskrivelse: Et forsøg på at udvikle og teste en ny proces til separation af fosfor og tungmetaller fra slamaske. Processen er en elektrodialytisk separation. Formålet er at fosfor oparbejdes i en form anvendelig for gødningsindustri, tungmetaller fældes i stabile forbindelser til deponi eller udvinning og den tungtopløselige restaske genanvendes til byggematerialer.

Konklusion: Metoden blev testet med slamaske fra Avedøreværket og Lundtofteværket, som var fældet med hhv. jern og aluminium. Resultatet var, at der for Avedøreaske blev frigivet ca. 80% fosfor, mens for Lundtofte var det ca. 1%. Metoden fungerer kun, hvis slamasken er fældet med jern og ikke aluminium.

Potentiale: Metoden muliggør en fuld ressourceudnyttelse af slamaske under den forudsætning, at fosforfældning foregår med jern og ikke aluminium.

Barrierer: Fældes fosfor med aluminium kan metoden ikke anvendes.

Udviklingsmuligheder: VARGA-projektet arbejder videre med denne metode, se afsnit 3.3.11.

### **3.3.6 Fra spildevand til fosforholdige produkter**

Projekt: Miljøprojekt nr. 1658, 2015. Udført af NORD (tidl. Kommunekemi nu Fortum) og Krüger.

Beskrivelse:

Formålet er at udvikle mulighederne for genanvendelse af fosfor fra spildevand. Der er arbejdet med fire nye processer: 1) Trinatriumfosfat, 2) fosforprodukt indeholdende ammoniak, 3) Rent ammoniumfosfat, 4) Calciumfosfat. Nr. 1 er opgivet, nr. 3 er i venteposition og nr. 2 og 4 er ikke færdigudviklede endnu. Der arbejdes videre med nr. 4, som giver et produkt, der er supplement til fosfatsten.

Konklusion: Den gennemgående konklusion har været, at de undersøgte processer ikke hang sammen økonomisk. Proces 4 arbejdes der videre med, men det vides ikke endnu, om det er rentabelt.

Potentiale: Det vurderes, at der er potentiale for ca. 5.000 tons fosfor årligt fra spildevandsslam, og det vurderes, at der er bedst udbytte fra slammaske, som er fremstillet ved biologisk fosforfjernelse.

Barrierer: For at processen er rentabel, skal spildevandsslammet inden forbrænding være så ensartet som muligt, hvilket det især er fra større renselanlæg. Dette betyder, at processen kan være vanskelig at implementere for spildevandsslam fra mindre renselanlæg. Fældningskemikalier – især aluminium – er hæmmende for processen og dermed udnyttelse af fosfor fra slammaske. Biologisk fosforfjernelse er derfor at foretrække, hvis fosforen i slamasken skal udvindes.

Udviklingsmuligheder: Videreudvikling af alle processer med undtagelse af projekt 4 er stoppet.

### **3.3.7 Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand**

Projekt: Miljøprojekt nr. 1661, 2015.

Beskrivelse:

Projektet belyser, at renselanlæggenes valg af teknologi til fjernelse af fosfor fra spildevand har betydning for biotilgængeligheden af det fosforprodukt, der dannes ved spildevandsrensningen. Der er gennemført en sammenlignende LCA-analyse for at kunne vurdere miljøpåvirkningerne som følge af teknologivalg til fosforfjernelse, og der er udført tekniske og økonomiske vurderinger af de undersøgte teknologier til fjernelse af fosfor fra spildevandet med fokus på at vælge teknologer, der giver et slutprodukt med størst mulig biotilgængelighed indenfor en kort tidshorizont.

Der er til vejledningen defineret et indeks, kaldet "Sustainable Phosphorus Removal Index" (SPRI), der har til formål at give vandselskaberne et operationelt værktøj til at kunne vurdere de forskellige teknologier i forhold til hinanden.

Konklusion: Det konkluderes, at de teknologivalg, der udfaser brugen af jern og aluminium på renselanlæggene, giver en høj SPRI-værdi og bliver derfor vurderet som bedst i denne vejledning, hvor biotilgængeligheden af fosforproduktet fra renselanlægget er i fokus. Det er således anbefalingen, at vandselskaberne arbejder mod implementering af bio-P processen til fosforfjernelse.

Potentiale: Renselanlæg med en belastning på mere end 5.000 PE vil typisk finde det driftsøkonomisk attraktivt at investere i teknologier, der udfaser brugen af kemisk fældning med jern og aluminium. Fosforindvinding fra rejektvand i form af struvit anbefales som teknologi til større renselanlæg, og den økonomiske fordelagtighed heraf vurderes at stige i takt med øgede priser på råfosfat. Imellem 60-95% af fosforindholdet i slammaske kan ekstraheres, er antagelsen, baseret på andre projekter. Struvituddfældning vurderes samtidig at kunne udvinde op til 30% af råspildevandets fosforindhold.

Barrierer: Råfosfat er pt. prissat så lavt, at fosforprodukterne udvundet af spildevandsslam, typisk ikke er konkurrencedygtige. Alene fosfor bundet i spildevandsslam, udbragt direkte på landbrugsjord, er økonomisk attraktivt for landmanden, da han modtager en økonomisk kompensation for at modtage slammet.

Udviklingsmuligheder: Ikke nærmere angivet

### **3.3.8 Genindvinding af fosfor fra spildevandsslam**

Projekt: HJORTKÆR Maskinfabrik A/S, Vandmiljø Randers A/S, Provas-Haderslev Spildevand A/S, BlueKolding, Aalborg Universitet, Teknologisk Institut er projektets deltagere og Frederikshavn Spildevand, MUDP projekt 2017.

Beskrivelse:

Teknologien omfatter en nedsyring af overskudsslammet for derved at opnå en frigivelse af den kemisk bundne fosfor. For renseanlæg med rådnetank nedsyres slammet efter rådnetanken, men før afvanding. For renseanlæg uden rådnetank nedsyres slammet inden afvanding.

Konklusion: De bedste resultater i pilotskala er opnået på slam fra Randers Centralrenseanlæg, hvor fosfor fældes med jernchlorid, og overskudsslammet – en blanding af primærslam og biologisk slam - behandles ved udrådning i rådnetank, inden fosforindholdet søges genvundet.

Potentiale: De bedste resultater indikerede et udvindingspotentiale på ca. 60 – 80 %. Det er ikke økonomisk rentabelt ved de nuværende fosforpriser, men det er et væsentligt skridt på vejen mod en økonomisk fornuftig proces til genvinding af slammets indhold af fosfor. Det konkluderes, at det kun er muligt at opnå 80 % genindvindingspotentialer af fosfor med teknologier, som udvinder fosforen af slamasken.

Barrierer: Renseanlæg uden rådnetank er begrænset til et potentiale på 15-20 % for fosfor-genindvinding.

Udviklingsmuligheder: Der er kørt pilotforsøg på tre anlæg som evt. kan udvides.

### **3.3.9 Genanvendelse af fosfor fra slammaske**

Projekt: Miljørapport nr. 1983, 2018. Udarbejdet af Rambøll. SDU og DTU-byg for MST

Beskrivelse:

Genanvendelse af slamaskens fosfor som calciumfosfat, som kan erstatte fosfatsten. Processen kaldes for Crystal-P og er en vådkemisk processen, hvor asken opløses i syre. Syreekstraktet elektrolyseres herefter, inden fosfatet udfældes i en reaktiv krystallisation.

Konklusion: Det har ikke været muligt at reducere indhold af jern og aluminium fra syreekstraktet uden stort tab af fosfor ved brug af elektrodialyse. Derfor er elektrodialyse ikke anvendeligt i Crystal-P processen. Det er lykkedes at lave et produkt, som overholder fosforindustriens minimumskrav for erstatning til fosfatsten.

Barrierer: Fosfortab konstateret ved brug af elektrodialyse.

Potentiale: Det vurderes, at der er et potentielt fosforudbytte ved reaktiv krystallisering på omkring 70-80%. Derudover er potentiale for anvendelse af askeresten som cementerstatning i beton, hvilket dog ikke fører til recirkulering af det tilovers blivende fosfor.

Udviklingsmuligheder: Processen er klar til at blive testet kontinuert i et pilotanlæg.

### 3.3.10 Improving phosphorus recovery by supplementing wastewater treatment with electrodialysis

Projekt: DTU, MUDP report, juni 2018

Beskrivelse:

Formålet med projektet er at undersøge, hvordan elektrodialyse sammen med biologisk spildevandsbehandling kan anvendes til energieffektiv udvinding af fosfor i eksisterende renseanlæg.

Konklusion: Op til 70% af fosforen blev udvundet.

Barrierer: Processen kræver optimering

Potentiale: Processen kræver optimering

Udviklingsmuligheder: Processen kræver optimering

### 3.3.11 VARGA

Projekt: BIOFOS, Unisense, A.R.C., DTU og EnviDan, Igangværende MUDP-projekt, opstart i 2016

Beskrivelse: VARGA (Vand Ressource Genindvindings Anlægget) er et Fyrtårnsprojekt under MUDP. Der er tale om et projekt i fuld skala, hvor målet er at skabe fremtidens renseanlæg, hvor fosfor fra slamasken blandt andet separeres ud og anvendes til jordbrugsformål.

Konklusion: Projektet er igangværende, og der foreligger dermed ikke endelige konklusioner. Projektleder Nick Ahrensberg har dog delt en foreløbig analyse af mulighederne for genindvinding af fosfor fra spildevandsslam fra henholdsvis Lynetten og Avedøre renseanlæg (Høy, 2018). Heri sammenlignes tre forskellige teknologier til udvinding af fosfor: syrebehandling, elektrodialyse og struvit-udfældning. Det konkluderes, at der potentielt kan genindvindes op til 85% af fosforen i spildevandet med de to førstnævnte teknologier. Ved den tredje, struvit-udfældning, kan kun opnås mindre genindvindingsprocenter, da man med denne teknologi kun har adgang til den del af fosforen, der er opløst i rejektvandet eller biologisk bundet i slammet.

BIOFOS har senest underskrevet en aftale i form af et Memorandum of Understanding (MoU) med et svensk selskab. Ifølge BIOFOS kan udvinding af fosfor fra slamasken potentielt reducere Danmarks samlede import af fosfor med op til 10%. Forsøg har vist, at op mod 90% af fosforen i slamasken fra BIOFOS' renseanlæg kan udvindes af det svenske selskab. Som en sidegevinst kan op til halvdelen af fosforfældningsmidlerne jern og aluminium samtidig udvindes. Slamasken skal dels komme fra BIOFOS' løbende produktion på cirka 8000 tons slammaske om året og dels fra de askedepoter på omkring 280.000 tons man gennem årene har opbygget.

Barrierer: Angives ikke nærmere.

Potentiale: Potentielt kan op til 85% af fosforen i spildevandet genindvindes med syrebehandling og elektrodialyse og mindre med struvit-udfældning.

Udviklingsmuligheder: Angives ikke nærmere

## 4. Vurdering af potentialer

Potentialerne for øget fosforudnyttelse på spildevandsanlæg i Danmark vurderes i det følgende afsnit. Udgangspunkt for vurderingen er hovedkonklusionerne fra kortlægningen af de nuværende initiativer for fosforudnyttelse på spildevandsanlæg i Danmark samt den indledende beskrivelse af status for behandlingen af spildevandsslam.

Nedenstående tabel opsummerer de potentialer og barrierer der er angivet i de tidligere beskrevne kilder. Kilderne er i kronologisk rækkefølge i henhold til udgivelsesår. I lyset af opsummeringen vurderes de samlede potentialer derefter.

**TABEL 4.** Oversigt over vurderede potentialer og barrierer

Initiativ	Potentialer	Barrierer
Tørring og pelletering af gødning fra fosforholdige asker, 2012	Ifølge rapporten er ingen af de fire slamasker fra spildevandsslam på renseanlæggene Avedøre, Lynetten, Lundtofte og Frederikssund anvendelige i processen, da der er et <b>for lavt fosforindhold eller for højt indhold af tungmetaller</b>	Ingen af de undersøgte slamasker er anvendelige i processen
Genanvendelse af Fosfor og Kvælstof ved inddampning af rektvand (GAFOKIR), 2013	<b>Begrænset potentiale</b> på grund af relativt høje omkostninger	Omkostningerne til inddampning er en barriere for anvendelse af teknologien
Innovationspartnerskab for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam fra spildevandsforsyninger, 2013	En række udviklingsteknologier åbner op for øget genindvinding af fosfor fra spildevand og spildevandsslam. I forhold til slamforbrænding kan <b>kontrolleret deponering af slamasken</b> åbne op for på sigt at udvinde fosforressourcen, når det er teknisk muligt og økonomisk attraktivt.	I projektets kapitel om <b>regulering</b> beskrives den gældende lovgivning for anvendelsen af fosfor i spildevand og spildevandsslam. Herigennem identificeres det at en <b>mulig barriere</b> for genindvinding af fosfor fra slamasker er hvis processen reguleringsmæssigt ikke kan anses som genanvendelse. En lignende barriere kan være hvis struvit opfattes som affald frem for et gødningsprodukt. Derudover er <b>vandsektorlovens</b> bestemmelser diskuteret i projektet, herunder den økonomiske regulering af vand- og spildevands-selskaberne for så vidt angår investeringer og driftsomkostninger, indtægter fra tilknyttede aktiviteter (salg af el og varme) og <b>finansiering af udviklingsaktiviteter</b> .
Poleringsteknologi til vidtgående fosforfjernelse, 2014	Teknologien kan bruges til at <b>polere for det fosfor der teknisk set ikke kan fjernes</b> ved simultanfældning, eller er meget besværlig at fjerne. Dette fører dog til, at genindvindingen af det adsorbereede fosfor bliver meget	Ved processen fjernes en kun relativt lille mængde fosfor, og værdien heraf som fosforgødning er begrænset. Da der samtidig er omkostninger til fældningsudstyr samt øvrige driftsomkostninger, er <b>genindvindingen ikke i sig</b>



	omkostningstung, da der kun er tale om en meget lille mængde	<b>selv økonomisk attraktiv</b> ved de på tidspunktet for rapporten gældende priser på fosforgødning
Udvinding af fosfor fra slamaske med elektrokemisk teknik, 2015	Metoden muliggør en <b>fuld ressourceudnyttelse af slamaske</b> under den forudsætning at fosforfældning foregår med jern og ikke aluminium	<b>Fældes fosfor med aluminium kan metoden ikke anvendes</b>
Analyse af potentialer for ressourceudnyttelse i vand- og spildevandsforsyningen, 2015	Ved <b>struvitfældning</b> fjernes ifølge analysen <b>ca. 80-90% fosfat og 10-20% ammonium i rejektvandet</b> . Der fås endvidere ved hjælp af struvitfældning et koncentreret produkt, der kan lagres og transporteres	Der er tale om modne tekniske løsninger, og det vurderes samtidig <b>ikke at der er væsentlige barrierer for udbredelsen</b> . For eksempel vurderes økonomien i Bio-P og struvitfældning at være god
Fra spildevand til fosforholdige produkter, 2015	Det vurderes at der er potentiale for ca. 5.000 tons fosfor årligt fra spildevandsslam, og det vurderes at der er bedst udbytte fra slamaske, som er fremstillet ved <b>biologisk fosforfjernelse</b>	For at processen er rentabel skal spildevandsslammet inden forbrænding være så ensartet som muligt, hvilket det især er fra større renseanlæg. Dette betyder at processen kan være <b>vanskelig at implementere for spildevandsslam fra mindre renseanlæg</b> . Fældningskemikalier – især aluminium – er hæmmende for processen og dermed udnyttelse af fosfor fra slamaske. <b>Biologisk fosforfjernelse</b> er derfor at foretrække, hvis fosforen i slamasken skal udvindes
Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand, 2015	Renseanlæg med en belastning på mere end 5000 PE vil typisk finde det driftsøkonomisk attraktivt at investere i teknologier der udfaser brugen af kemisk fældning med jern og aluminium. Fosforindvinding fra rejektvand i form af <b>struvit anbefales som teknologi til større renseanlæg</b> , og den økonomiske fordelagtighed heraf vurderes at stige i takt med øgede priser på råfosfat. Imellem 60-95% af fosforindholdet i slamaske kan ekstraheres er antagelsen baseret på andre projekter. <b>Struvitudfældning vurderes samtidig at kunne udvinde op til 30% af råspildevandets fosforindhold</b>	<b>Råfosfat er pt. prissat så lavt</b> at fosforprodukterne udvundet af spildevandsslam typisk ikke er konkurrencedygtige. Alene fosfor bundet i spildevandsslam udbragt direkte på landbrugsjord er økonomisk attraktivt for landmanden, da han modtager en økonomisk kompensation for at modtage slammet
Opsamling fra fosfornetværket, 2016	Vurderes ikke nærmere	<b>Usikkerhed</b> omkring indholdet i spildevandsslam. <b>Markedsituation</b> for fosfor som ressource. Manglende rammevilkår
VARGA, 2016-	Potentielt kan op til <b>85% af fosforen i spildevandet genindvin-</b>	Angives ikke nærmere

Genindvinding af fosfor fra spildevandsslam, 2017	<p><b>des</b> med syrebehandling og elektrodialyse og mindre med struvit-udfældning</p> <p>De bedste resultater indikerede et <b>udvindingspotentiale på ca. 60 – 80 %</b>. Det er ikke økonomisk rentabelt ved de nuværende fosforpriser, men det er et væsentligt skridt på vejen mod en økonomisk fornuftig proces til genvinding af slammets indhold af fosfor. Det konkluderes, at det kun er muligt at opnå 80 % genindvindingspotentialer af fosfor med teknologier, som udvinder fosforen af slamasken</p>	Renseanlæg <b>uden rådnetank</b> er begrænset til et potentiale på <b>15-20 % for fosfor-genindvinding</b>
Comparison of phosphorus recovery from incineration and gasification sewage sludge ash, 2017	Ikke nærmere angivet	Ikke nærmere angivet
Low temperature biomass gasification, 2017	Baseret på projektets resultater vurderes det at der er et stort potentiale for at optimere behandlingen af spildevandsslam ved at anvende de rette termiske processer. Således er det muligt at udnytte slammets <b>energipotentiale</b> fuldt ud og samtidig producere et brugbart gødningsprodukt	<b>Håndtering og transporten</b> af gødningsproduktet fra slamasken er sammen med store variationer i <b>kvaliteten</b> af gødningen nævnt som væsentlige udfordringer. Derudover er <b>langtidseffekterne</b> af gødningen ikke undersøgt, ligesom <b>landbruget ikke efterspørger et alternativ</b> til de konventionelle fosfor-gødningsprodukter
Genanvendelse af fosfor fra slamaske, 2018	Det vurderes at der er et <b>potentielt fosforudbytte ved reaktiv krystallisering på omkring 70-80%</b> . Derudover er potentiale for anvendelse af askeresten som cementerstatning i beton, hvilket dog ikke fører til recirkulering af det tilovers blivende fosfor.	Fosfortab konstateret ved brug af elektrodialyse.
Improving phosphorus recovery..., 2018	Processen kræver optimering	Processen kræver optimering

For så vidt angår potentialerne er forskellige teknologier til fosforudnyttelse afdækket gennem initiativerne.

**Struvit:** Konklusionerne peger på, at ved struvit-udfældning kan op mod 80-90% fosfat i rejelevandet fjernes. Samtidig anbefales teknologien andetsteds til større renseanlæg, og potentialet vurderes her at være op til 30% af råspildevandets fosforindhold. I Aarhus kan man dog opnå udnyttelsesgrader på 35-50% (DANVA, DANVA nyheder, 2018).

**Slamaske:** Ved at anvende teknologier til udvinding af fosfor fra slamaske kan op mod 85% af fosforen genindvindes konkluderes det i andre projekter. Andre studier peger på et lidt lavere udbytte på 70-80%. BIOFOS sigter dog mod at udvinde 90% af fosforen i deres slamaske (DANVA, Danva-Nyheder, 2018).

*Fosforfældning:* Det bemærkes i øvrigt flere steder at biologisk fosforfjernelse i forhold til kemisk fældning med jern og aluminium er at foretrække, hvis fosfor senere skal udvindes af slamasken. Kontrolleret deponering af slammaske kan endvidere muliggøre udvinding af fosfor fra asken, når det er teknisk og økonomisk attraktivt. Anvendes denne tilgang recirkuleres fosforen potentielt over en længere tidshorizont.

*Andre teknologier:* Der er imidlertid også identificeret teknologier med mere begrænset potentiale under de nuværende vilkår: Inddampning af rejeckt vand er ikke identificeret som en økonomisk bæredygtig teknologi til øget fosforudnyttelse.

*Barrierer:* Med hensyn til barrierer for øget fosforudnyttelse fra spildevandsslam nævnes de gældende markedspriser på råfosfat i forbindelse med flere af de kortlagte initiativer. Derudover nævnes usikkerheder ift. indholdet i spildevandsslam og kvaliteten heraf også. Reguleringsmæssige barrierer nævnes også, og der henvises i den forbindelse til såvel vandsektorloven som den økonomiske regulering af spildevandsselskaber. Begrænsninger i potentialet er i nogle tilfælde også anvendelsen af aluminium til fosforfældning samt manglende udrådning af spildevandsslam.

*Opsamling:* Sammenholdes potentialerne identificeret i kortlægningen med det umiddelbare behov for at opnå en gennemsnitlig fosforudnyttelsesgrad på omkring 27% af slammet sendt til forbrænding eller deponering som angivet i afsnit 2, lader det til at være teknisk muligt: Fra slammaske kan op mod 85% af fosforen udvindes og ved struvitudfældning kan hen ved 30% af råspildevandets fosforindhold fjernes.

Baggrunden for at det til trods herfor ikke sker, kan dels være den relativt lave markedspris på råfosfat og dels være usikkerheder samt reguleringsmæssige barrierer. I opsamlingen fra Fosfor-netværket er det konkluderet, at stigninger i markedsprisen på råfosfat følges af øget udbud (Miljøstyrelsen, 2016). I lyset heraf kan der derfor sås tvivl om, hvorvidt markedsprisen på råfosfat på kort og mellemlangt sigt stiger tilstrækkeligt til, at udnyttelsen af fosfor i spildevandsslam af den grund stiger.

Højere priser for fosfor fra spildevandsslam kan dog potentielt opnås, hvis det anvendes i gødningsprodukter der sælges som "genanvendte" f.eks. i havegødning og –kompost. Struvitproduktionen fra de pt. fire danske anlæg sælges i nogen grad til sådanne produkter (Aarhus\_Vand, 2019). Ligeledes kan fosforprodukter udvundet af spildevandsslam potentielt opnå højere priser ved anvendelse i økologisk jordbrug. Struvit er pt. godkendt til anvendelse i konventionelt jordbrug (Aarhus\_Universitet, December 2018), men godkendelsen til anvendelse i økologisk jordbrug udestår. Når struvit af EU er godkendt som gødningsprodukt, er det af EU-ekspertgruppen EGTOP anbefalet at det godkendes til anvendelse i økologisk jordbrug (EGTOP, Februar 2016). Det er forventningen at godkendelsen opnås indenfor ét år efter at STRUBIAS-rapporten fra EU-kommissionen (JRC, August 2018) er endelig (MFVM, 2019).

Det er derfor mere sandsynligt, at usikkerheder om bl.a. kvaliteten af spildevandsslam skal minimeres og reguleringsmæssige barrierer fjernes for, at udnyttelsen af fosfor i spildevandsslam øges, og man derved når den forventede effekt, at 80% af fosfor i spildevandsslam i Danmark skal udnyttes.

# Bilag 1. Fosforrelaterede MUDP-projekter

1) Kilde: <https://ecoinnovation.dk/projekter/afsluttede-projekter/afsluttede-projekter-cirkulaer-oekonomi-og-genanvendelse/genanvendelse-af-ressourcer-i-organisk-affald/>

## [Udvinding af fosfor fra slammaske med elektrokemisk teknik](#)

Rapporten beskriver en ny teknologi til udvinding af fosfor fra asken ved forbrænding af slam. Resultaterne viser, at teknologien virker, og den er nu ved at blive afprøvet i et pilotforsøg. Miljøprojekt nr. 1702, 2015

## [Fra spildevand til fosforholdige produkter](#)

I projektet beskrives den fosformængde, der er til rådighed til oparbejdning af fosfor på renseanlæggene samt hvilke processer, der kan anvendes til udvinding af fosfor og som giver det bedste udbytte. Endvidere beskrives de fire forskellige metoder, der er blevet udviklet til fremstilling af fosforholdige produkter fra slam. Miljøprojekt nr. 1658, 2015

## [Tørring og pelletering af gødning fra fosforholdige asker](#)

Efter forbrænding af fosforholdige biomasser fås en aske, som indeholder fosfor på en form, der er svær tilgængelig for planterne. Asken egner sig derfor ikke som gødning. Der er i projektet udviklet en vådkemisk metode til behandling af udvalgte bioasker. Under den vådkemiske behandling ændres fosforens kemiske form, så den er let tilgængelig for planterne. Efterfølgende tørres og presses gødning til gødningspiller, uden ændring af fosforens plantetilgængelighed. Miljøprojekt nr. 1428, 2012

## [Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand](#)

Projektet belyser, at renseanlæggenes valg af teknologi til fjernelse af fosfor fra spildevand har betydning for biotilgængeligheden af det fosforprodukt, der dannes ved spildevandsrensningen. Der er gennemført en sammenlignende LCA-analyse for at kunne vurdere miljøpåvirkningerne som følge af teknologivalg til fosforfjernelse, og der er udført tekniske og økonomiske vurderinger af de undersøgte teknologier til fjernelse af fosfor fra spildevandet med fokus på at vælge teknologier, der giver et slutprodukt med størst mulig biotilgængelighed indenfor en kort tidshorisont. Der er til vejledningen defineret et indeks, kaldet "Sustainable Phosphorus Removal Index", der har til formål at give vandselskaberne et operationelt værktøj til at kunne vurdere de forskellige teknologier i forhold til hinanden. Miljøprojekt nr. 1661, 2015

## [Genanvendelse af fosfor fra slammaske](#)

Rapporten beskriver resultaterne af en række undersøgelser, der er afgørende for at bringe Crystal-P processen fra batchtest i laboratoriet til test kontinuert i pilotskala. Crystal-P processen er en proces til udvinding af fosfor fra slammaske. Tre konkrete problemstillinger, som kan være kritiske i forhold til at recirkulere de enkelte strømme er blevet undersøgt, herunder forhold der kan føre til en forbedret projektøkonomi, et øget fosforudbytte og større renhed af den udvundne fosfor. Resultatet af undersøgelserne peger på at processen har et stort potentiale og er klar til at blive testet kontinuert i et pilotanlæg. Miljøprojekt nr. 1983, 2018

2) Kilde: <https://ecoinnovation.dk/projekter/afsluttede-projekter/afsluttede-projekter-vand-klimatilpasning/>

## [Polerings teknologi til vidtgående fosforfjernelse](#)

Projektet har undersøgt om en teknologi baseret på filtrering af spildevand gennem et jern-oxid-granulat kan udvikles til imødekomme krav om vidtgående, robust og omkostningseffektiv fjernelse af fosfor. 2014, ISBN 978-87-93353-22-0

3) Yderligere projekter:

<https://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-genindvinding-af-fosfor-fra-spildevands-slam/39226>

[http://orbit.dtu.dk/en/projects/improving-phosphorus-recovery-by-supplementing-existing-danish-wastewater-treatment-using-electrodialysis\(4ef8bee0-5069-47f0-9749-d944c680749e\).html](http://orbit.dtu.dk/en/projects/improving-phosphorus-recovery-by-supplementing-existing-danish-wastewater-treatment-using-electrodialysis(4ef8bee0-5069-47f0-9749-d944c680749e).html)

<https://projekt-varga.dk/en/front/>

## 5. Referencer

- DAKOFA. (15. Februar 2018). Hentet fra DAKOFA-Nyheder:  
<https://dakofa.dk/element/udvinding-af-fosfor-fra-renseanlaeg-i-europa/>
- DAKOFA. (20. December 2018). *DAKOFA-Fosforhierarki*. Hentet fra DAKOFA-nyheder:  
<https://dakofa.dk/element/forslag-til-et-vejledende-fosfor-affaldshierarki/>
- DAKOFA. (20. December 2018). *Dansk kompetencecenter for affald og ressourcer*. Hentet fra Nyhed: DAKOFA og DANVA: Fosfornetværk samarbejder om dansk fosforstrategi:  
<https://dakofa.dk/element/dakofa-og-danva-fosfornetvaerk-samarbejder-om-dansk-fosforstrategi/>
- DAKOFA\_a. (21. december 2018). *DAKOFA*. Hentet fra Nyhed: Forslag til et vejledende fosfor-affaldshierarki: <https://dakofa.dk/element/forslag-til-et-vejledende-fosfor-affaldshierarki/>
- DANVA. (20. December 2018). *DANVA nyheder*. Hentet fra danva.dk:  
<https://www.danva.dk/nyheder/2017/dansk-fosforstrategi-paa-vej/>
- DANVA. (20. December 2018). *Danva-Nyheder*. Hentet fra danva.dk:  
<https://www.danva.dk/nyheder/2018/nyt-fra-medlemmerne-biofos-vil-genvinde-fosfor-fra-slamaske/>
- DCE. (20. December 2018). *Ny indsamling af viden om fosfor*. Hentet fra <http://dce.au.dk/da/aktuelt/nyheder/nyhed/artikel/ny-indsamling-af-viden-om-fosfor/>
- Ecoinnovation. (20. December 2018). *Fakta om den miljøteknologiske branche - vand og klimatilpasning*. Hentet fra ecoinnovation.dk: <https://ecoinnovation.dk/groen-innovation/fakta-om-den-miljoeteknologiske-branche/vand-og-klimatilpasning/>
- EGTOP. (Februar 2016). *Final Report on Organic Fertilizers And Soil Conditioners (II)*. Bruxelles: European Commission.
- Høy, A. T. (2018). *Genindvinding af fosfor fra spildevandsslam*. Lyngby: DTU Miljø.
- JRC. (August 2018). *DRAFT STRUBIAS recovery rules and market study for precipitated phosphate salts & derivates, thermal oxidation materials & derivates and pyrolysis & gasification materials in view of their possible inclusion as Component Material Categories in the Revised*. Brussels, Joint Research Centre - European Commission, <https://phosphorusplatform.eu/images/download/STRUBIAS-Pre-Final-Report-circulated-13-8-18-p1-report.pdf>: Circular Economy and Industrial Leadership Unit, Directorate B - Growth and Innovation, Joint Research Centre - European Commission.
- MFVM. (2. April 2019). Forventninger til proces efter STRUBIAS. (NIRAS, Interviewer)
- Miljøstyrelsen. (2016). *Rapport om Opsamling fra fosfornetværket 2015, Miljøprojekt nr. 1895*. København: Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen(a). (2018). *Affaldsstatistikken 2016*. København: Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen(b). (2015). *Fosforenanvendelse fra spildevandsslam*. København: Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr.1704, 2015.
- Naturstyrelsen. (2013). *Genanvendelse af Fosfor og Kvælstof ved inddampning af rejevtvand (GAFOKIR)*. København: Naturstyrelsen.
- Svensk\_Vatten. (12. Juli 2018). *Svensk Vatten - Nyheder*. Hentet fra Svensk Vatten:  
<https://dakofa.dk/element/udvinding-af-fosfor-fra-renseanlaeg-i-europa/>
- Aarhus\_Universitet. (December 2018). *Gødningsværdi af fosfor i restprodukter*. Aarhus: DCA - Nationalt center for fødevarer og jordbrug.
- Aarhus\_Vand. (02. April 2019). Afsætning af struvit. (NIRAS, Interviewer)

### **Potentialer og barrierer for øget fosforudnyttelse i vandsektoren**

Udnyttelsen af fosfor fra vores spildevand har et stort potentiale. En bedre udnyttelse af fosfor fra spildevand vil nedsætte behovet for import af fosfor. I rapporten kortlægges udnyttelsen af fosfor i spildevand. Både for de nuværende pilotprojekter hvor fosforudnyttelse sker fra slamaske og struvit, samt en overordnet kortlægning af potentialerne for øget udnyttelse af fosfor

I rapporten undersøges potentialer og barrierer for en øget udnyttelse af fosfor i spildevandsslam. Kortlægningen munder ud i en overordnet vurdering for øget udnyttelse af fosfor i spildevandsslam i Danmark.



Miljøstyrelsen  
Tolderlundsvej 5  
5000 Odense C

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)