

KEMISK KORTLÆGNING AF FOSFORRESSOURCERNE PÅ RENSEANLÆG MED HENBLIK PÅ EFFEKTIV FOSFORGENINDVINDING



KEMISK KORTLÆGNING AF FOSFORRESSOURCERNE PÅ RENSEANLÆG MED HENBLIK PÅ EFFEKTIV FOSFORGENINDVINDING

DATO: 19. september 2022

Projekt ID: 03.2020

Udgiver:
DANVA

Udarbejdet af:
Ulla Gro Nielsen, Professor, Syddansk Universitet
Qian Wang, Post doc., Syddansk Universitet
Chitra S. Raju, Procesansvarlig, Billund Vand & Energi
Mikkel Lastrup, Procesingeniør, DIN Forsyning
Per Henrik Nielsen, Projektchef, VandCenter Syd
Nina Almind-Jørgensen, Udviklingsingeniør, VandCenter Syd

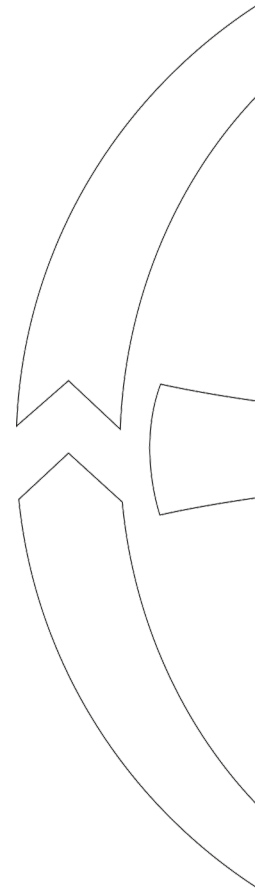
Finansiering:
Projektet er finansieret af
VUDP, Vandsektorens Udviklings- og Demonstrationsprogram

Samarbejdspartnere:
VandCenter Syd A/S (Hovedansøger)
Syddansk Universitet
Billund Vand & Energi A/S
DIN Forsyning A/S

Kategori:
Spildevand

Indholdsfortegnelse

1	Nomenklatur	3
2	Sammenfatning	4
3	English summary	5
4	Introduktion	6
5	Projektets betydning for vandbranchen	7
5.1	Marked og anvendelsesmuligheder	7
5.2	Næste skridt	8
5.3	Formidlingsplan	8
6	Projektet	10
6.1	Formål	10
6.2	Output	10
6.3	Projektresultater	15
6.4	Konklusion	17
7	Referencer	18
8	Bilag	19
8.1	Bilag 1 – Analyseprotokol spildevandsslam	19
8.2	Bilag 2 – Pressemeddelelse	22
8.3	Bilag 3 – Chemical phosphorus mapping in wastewater treatment plants (WWTPs) towards efficient P recovery. (see attached)	23
8.4	Bilag 4 – Fosfor genindvindingsteknologi katalog (se vedhæftet)	23



1 Nomenklatur

AL	Arla Videbæk
AP	Arbejdspakke
AS	Aktiv slam
BD	Bicarbonat dihydroxid ekstraktion af Fe(III)-P
BDS	Slamblanding før udrådning 2 (Billund Biorefinery)
Bipy-P	Bipyridin ekstraktion af Fe(II)-P
BL	Billund Biorefinery
BF	Avedøre BIOFOS
CS	Slamblanding før udrådning "concentration sludge"
DS	Udrådet slam
EB	Esbjerg Vest renselanlæg
EM	Ejby Mølle renselanlæg
ES	Exelys slam
FR	Fredericia Renselanlæg
FS	Slut slamprodukt
ICP-OES	Induktiv koblet Plasma – Optisk Emissions Spektrometri
NMR	Nuclear Magnetisk Resonans
nrP	ikke reaktivt P
PS	Primær slam
PXRD	Pulverrøntgendiffraktion
SA	Slamaske
SEM	Scanning elektronmikroskopi
SS	Sekundærslam
TRL	Teknologiudviklingsniveau
TS	Termisk hydrolyseret slam

2 Sammenfatning

Det stigende fokus på cirkulær økonomi i spildevandsbranchen omhandler ikke længere kun energiudnyttelse, men også næringsstofudnyttelse. Fosforgenindvinding har en særlig opmærksomhed, da råfosfat er på listen over kritiske ressourcer. Dette projekt har fokus på fosforgenindvinding. Projektgruppen har valgt at tage et par skridt baglæns og spørge nysgerrigt ind til de naturlige forekommende fosforsammensætninger på de danske renselanlæg. Generelt er den kemiske viden om fosfor i slam begrænset til total-P og fosfat-P. I denne rapport er en avanceret kemisk kortlægning af fosfor udført på seks udvalgt repræsentative renselanlæg, med henblik på effektiv fosforindvinding.

Spildevandsslamprøverne er analyseret med en protokol udviklet til dette projekt indeholdende grundstofanalyse, røntgen diffraktion, NMR-spektroskopi, elektronmikroskopi og sekventiel ekstraktion. Den kemiske kortlægning har vist kompleksiteten af spildevandsslam samt værdien af en kemisk kortlægning af spildevandsslammet. Projektet har erfaret en række tendenser som er gennemgående for de seks renselanlæg.

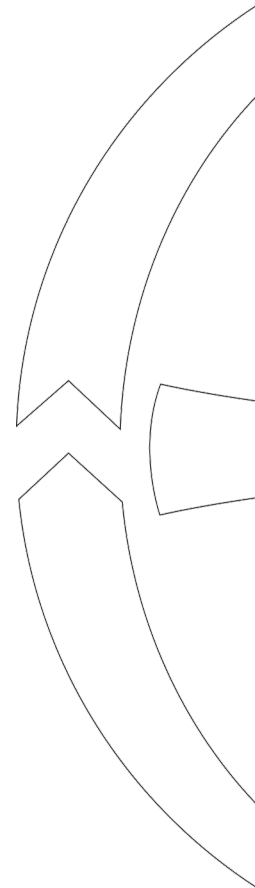
Det væsentlige er den markante betydning af anvendt fældningskemikalier. Anvendes jern til fosforfældning, er der stor chance for at en betydelig andel af total-P er bundet som vivianit. Efter anaerob udrådning er over 80% af total-P i slammet på uorganisk fosfat form, bundet til reaktive metaller som jern (II), jern (III), aluminium eller magnesium. Calcium i spildevandet der kommer med det danske relative hårde vand, påvirker ikke fosfatsammensætningen på de analyserede slamprøver. Der var ikke tegn på krystallinsk struvit i slamprøverne fra de seks renselanlæg.

Slamasken fra Avedøre Biofos' forbrænding blev ligeledes analyseret for fosforsammensætningen. Her viste det at 83 % af total-P var bundet som calciumfosfat.

Formålet med projektet var at undersøge muligheden for hvor detaljeret en kemisk sammensætning, der kan opnås med dette samarbejde. Projektet kom godt i mål med en høj grad af detaljeret kemisk sammensætning og kortlægning af, hvordan sammensætningen ændrede sig gennem renselanlæggene. Værdien af disse analyser kom til udtryk gennem rapporten og med udgivelsen af en peer reviewed videnskabelig artikel (*Environmental Science & Technology*, [Variation in Phosphorus Speciation of Sewage Sludge throughout Three Wastewater Treatment Plants: Determined by Sequential Extraction Combined with Microscopy, NMR Spectroscopy, and Powder X-ray Diffraction | Environmental Science & Technology \(acs.org\)](#)). Analyserne har en markant værdi i forbindelse med eventuel fremtidig investering på danske renselanlæg.

Projektgruppen har udført et litteraturstudie på fosforindvindingsteknologier, som er endt ud i et katalog over udvalgte teknologier. Kataloget illustrerer, udfordringer ved effektiv fosforindvinding. Disse består i, at der findes så forskelligartede typer af fosforprodukter og genindvindingsmetoder samt, at der er store forskelle på teknologiernes udviklingsniveau.

Den kemiske kortlægning giver forsyninger en større viden for dermed at kunne foretage strategiske investeringer og anvende det udarbejdede katalog som inspiration. Udviklings- og forskningsinstitutioner kan anvende de kemiske analyser til at udvikle og optimere teknologier, som er relevante for de fysiske og kemiske forhold på danske renselanlæg. Herved skabes betingelser for succesfuld fosforindvinding.



3 English summary

Circular economy in the wastewater industry is no longer only a discussion about energy savings and production, the reuse of nutrients from wastewater especially phosphorus recovery is relevant. Phosphorus is now a critical resource and therefore high on the agenda for nutrient recovery. This project focuses on phosphorus recovery from Danish wastewater treatment plants (WWTPs). The project group asked questions to the naturally formed phosphorus speciation's in sludge and wastewater through the treatment plant. The knowledge about phosphorus speciation is limited to total-P and phosphate-P, we want to gain a more detailed understanding with this project. In this report advanced chemical mapping of phosphorus is carried out on six representative Danish wastewater treatment plants, with the purpose of effective phosphorus recovery.

The sludge samples are analysed with a protocol developed for this project, the protocol consistent of Powder X-ray diffraction, NMR spectroscopy, scanning electron microscopy, and sequential extraction. The chemical mapping in the project shows the complexity of the phosphorus composition in sludge and the value of the knowledge. The project has gained some trends for the six selected treatment plants.

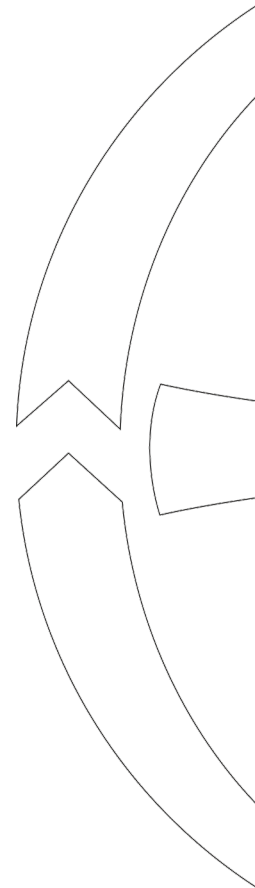
The clearest trend is the impact of the used coagulants for phosphorus precipitation. If iron is used for precipitation in the WWTP, the results show a high change for formation of vivianite and a large amount of total-P to be bound to iron. After anaerobic digestion above 80% of total-P in the sludge will be present as inorganic-P bound. Even though drinking water in Denmark is relatively hard, because of the calcium concentration, we did not find it to impact the naturally formed phosphorus composition. No sign of crystalline struvite formation was observed in any of the samples from the six WWTPs.

The ash from sludge incineration at Avedøre Biofos was also chemically analysed. Here 83 % of total-P was as calciumphosphate.

The purpose with the project was to investigate how detailed chemical information can be obtained. The project succeeded by showing how a detailed mapping could be obtained, and how the chemical composition changed through the treatment plant. The value from this project is showed in this report and with the publication of a scientific paper in Environmental Science & Technology ([Variation in Phosphorus Speciation of Sewage Sludge throughout Three Wastewater Treatment Plants: Determined by Sequential Extraction Combined with Microscopy, NMR Spectroscopy, and Powder X-ray Diffraction | Environmental Science & Technology \(acs.org\)](#)). The analysis has a great value for possible future investments on Danish treatment plants.

In the project, the group has performed a literature study on phosphorus recovery technologies which is collected in a catalog. The catalog illustrates in detail the challenges related to efficient phosphorus recovery. This is due to the many different phosphorus products, types of methods and great differences in technology readiness level.

The chemical mapping can provide utilities with a greater knowledge before a possible big investment in a recovery technology and the catalog can be used as inspiration. Research institutions can use the results from the chemical analysis to develop and optimize the known technologies and possible new technologies suited for Danish WWTPs. Technologies developed with a background in the physical and chemical conditions, which naturally occur at WWTP's, may have a higher success rate.



4 Introduktion

I spildevandsbranchen er cirkulær økonomi et belyst begreb bl.a. på energiudnyttelse, slamudnyttelse, næringsstofudnyttelse, hvori fosforgeninndvinding har særlig stor fokus. Slut anvendelse af slam er i disse tider et omdiskuteret emne. Udbringning af slam på landbrugsjord er under pres grundet slammets indhold af mikroplast, medicinrester, miljøfremmede stoffer og tungmetaller. Samtidigt er spildevandsslam en nyttig vedvarende ressource, som med stor fordel kan udnyttes. Fosfor i form af råfosfat er en kritisk ressource, og det kan i den nærmeste fremtid blive nødvendigt at genanvende fosfat/fosfor fra spildevand.

Projektideen er udsprunget fra talrige diskussioner blandt projektpartnerne om netop dette emne: Hvordan udnyttes fosfor i spildevandet mest optimalt? Hvilke fosforminerale udfælder naturligt på renselanlæggene? Hvordan kan vi kontrollere, hvor og hvilke fosforminerale der naturligt dannes? Hvorfor skal vi udvinde en lille mængde af et bestemt fosforprodukt, hvis vi naturligt producerer større mængder af et andet fosforprodukt? Overordnet ønskede vi at undersøge, hvordan man strategisk mest effektivt og økonomisk rentabelt genindvinder fosfor.

Derfra kom ideen med at kortlægge anlæggene med en tilgang inspireret af mineindustrien. Projektet er en forundersøgelse af hvilke værdifulde fosforressourcer, vi kan genindvinde og genanvende som værdifuld ressource. Dette kan således sammenlignes med geologiske forundersøgelser ved vurderingen af den mest optimale placering af en ny mine.

For at give det ønskede vidensgrundlag til at tage strategiske investeringer omkring fosforgeninndvinding, kortlægges seks repræsentative danske renselanlæg med avancerede og detaljerede analyser.

”Fosformining” består af 4 arbejdsplaner (AP0-3)

AP0: Projektadministration

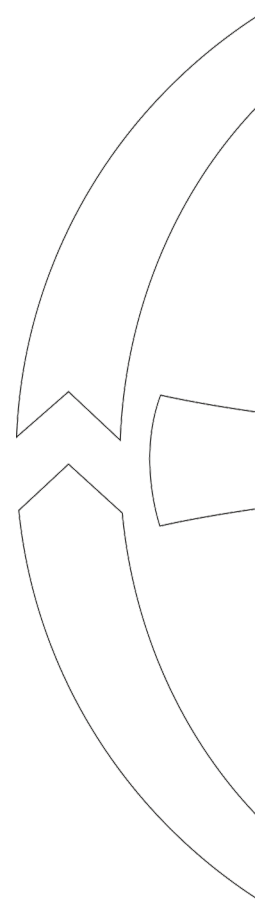
AP1: Detaljeret og bred kemisk kortlægning af fosforsammensætningen på tre udvalgte, repræsentative anlæg, Ejby Mølle, Billund Biorefinery og Esbjerg Vest. De udvalgte renselanlæg er repræsentative på udvalgte parametre: Vandets hårdhed, fosforfjernelse, andel af industrispildevand samt driftsparametre. Den naturlige kemiske sammensætning er undersøgt for verificering af ligheder samt forskelle.

AP2: Litteraturstudie til identifikation af mulige fosforgeninndvindingsteknologier på alle teknologistadier (TRL). I vurderingen indgår bl.a. TRL-niveau, effektivitet og afsætningsmuligheder.

AP3: Strategisk punkt-undersøgelse af lovende fosfordepoter på renselanlæg udvalgt blandt følgegruppen. På basis af resultaterne i AP1 slamprøverne, kan AP3 bekræfte eller udvide den erfarede viden. Til AP3 er en optimeret analysepakke sammensat.

En vigtig partner i udførelsen af projektet er Syddansk Universitets adgang til avancerede analyseapparater, samt erfaringen i udførelse af relevante metoder. Derudover har SDU udviklet den ekstraktionsmetode, som anvendes i projektet.

De tre forsyninger har bidraget med viden om fosforgeninndvindingsteknologier og erfaring med spildevand. Derudover den nødvendige prøvetagning.



5 Projektets betydning for vandbranchen

I dag har forsyningerne en begrænset viden om de kemiske sammensætninger i slammet på deres renselanlæg, bl.a. på fosfor. De fleste driftsmedarbejdere på renselanlæg kender total-P og fosfat-P i slammet, og ud fra disse værdier kan bio-P styres samt fældningskemikalier doseres. Man er også bevidst om, at relativt høje fosfat koncentrationer kan give uønskede udfældninger, oftest i form af struvit og, som projektet har vist, også Vivianit.

Med projektet ønskes det at påvise, hvor detaljeret en kortlægning man kan opnå af den kemiske sammensætning af fosfor i spildevandsslam. Den viden er værdifuld at have inden en potentiel investering i en genindvindings teknologi eller en ny slambehandlingsmetode. Analyserne indikerer en gødningsværdi af slammet, men dette er ikke en del af projektets fokus. Forsyninger kan bruge resultaterne til at se effekten af Bio-P, kemikaliedosering, udrådning samt avancerede processer som eksempelvis Termisk Hydrolyse.

I forhold til en eventuel investering i en genindvindings teknologi har forsyningerne mulighed for at være i besiddelse af en langt større viden om deres fosforsammensætninger. Det vil være yderst relevant information i forbindelse med investering af ny fosforanvendelsesteknologi. Et andet perspektiv er muligheden for med baggrund i den viden opnået gennem projektet at udvikle teknologier målrettet de naturlige kemiske forhold i spildevandsslam.

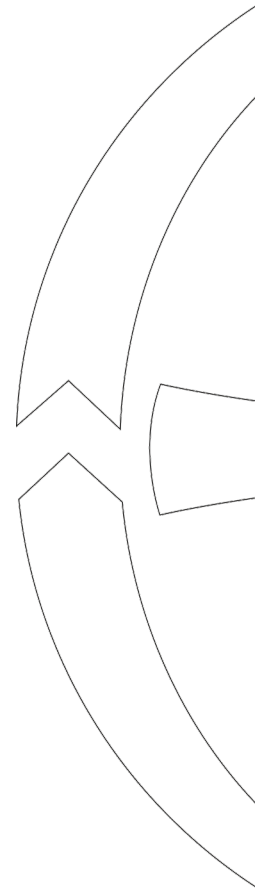
Projektet søger ikke at give et generelt svar på hvilke ressourceudnyttelsesmetoder, der er bedst. Det vil i udpræget grad afhænge af andre faktorer end, hvad der undersøges i nærværende projekt. Men med avanceret analysemetoder kan det klarlægges, hvor og i hvilket omfang teknologier vil opfylde forventningerne.

Mange investeringer foretages på et mere eller mindre oplyst grundlag, dette projekt anviser hvordan et samarbejde med SDU som vidensbase kan give beslutningstagere en markant dybere indsigt, før der træffes valg om investering.

5.1 Marked og anvendelsesmuligheder

I forsyningerne skal der i fremtiden træffes meget betydelige beslutninger i forhold til ressourceudnyttelse af fosfor. Og de beslutninger der træffes, har typisk meget lange afskrivningshorisonter, derfor er det vigtigt, at der sker en tilbunds gående analyse, inden der træffes valg, der typisk vil påvirke de langsigtede tilbagebetalingsmuligheder negativt.

Det vil også med de markant mere dybdegående analysemetoder tidligere kunne vurderes, om forskellige teknologier vil kunne levere de forventede resultat på et specifikt anlæg. Det vil være meget hensigtsmæssigt at kunne vurdere, hvordan og hvilke fosforforbindelser der findes, før der tages beslutning om indførelse af en given teknologi. Eksempelvis kan denne viden anvendes i vurderingen af effekten ved at indføre biologisk fosforfjernelse, hvis det samtidig ønskes at udrådne slammet med henblik på energiudnyttelse. Her viser det sig at det biologiske optagne fosfor typisk bliver frigivet igen under udrådning. Derfor er det muligvis ikke hensigtsmæssige at koble disse to teknologier. Et andet eksempel kan være ønsket om struvit-produktion. I dette tilfælde kan det blive svært at opnå gode resultater, hvis fosforen i forvejen er bundet som vivianit f.eks. på grund af nødvendig dosering af jern i den kemiske rensning.



Det nævnte er blot to eksempler på viden som projektet har tilvejebragt, og det er vigtigt at holde sig for øje, at resultaterne vil være forskellige for de konkrete anlæg.

Det må forventes, at prisen på fosfor vil stige og dermed vil interessen for udvinding af fosfor blive mere økonomisk attraktivt. I den sammenhæng vil det være overordentligt nyttigt at finde og udnytte fosforen mest optimalt og dermed med størst muligt udbytte. Det vil både være økonomisk og miljømæssigt at foretrække.

5.2 Næste skridt

I projektet har Professor Ulla Gro Nielsen samt postdoc. Dr. Qian Wang udarbejdet en analyseprotokol til spildevandsslam, som forsyninger kan købe gennem SDU under rammerne for indtægtsdække virksomhed. Se bilag 1.

VCS har fået bekræftet, at arbejdet med vivianit er relevant, og samarbejdet med SDU samt Wetsus i Holland fortsættes efter endt projekt. I foråret 2023 testes ViviMag på Sønderø Renseanlæg.

Ulla Gro Nielsen vil foretage yderligere undersøgelse af vivianits kemiske struktur og egenskaber med henblik på optimeret anvendelse. Vivianit er ikke en kemisk veldefineret forbindelse som f.eks. struvit og dette studie og andre i litteraturen viser stor variation i vivianits kemiske sammensætning. Derudover arbejdes der fortsat med filterbaserede teknologier til fjernelse af fosfat herunder i et ph.d.-projekt.

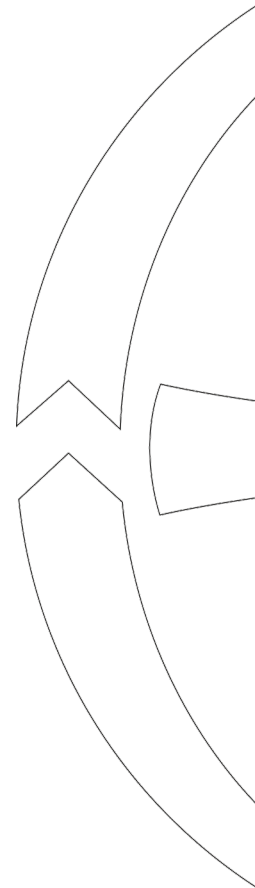
I et andet VUDP-projekt, 01.2020 "Slambehandlingsteknologier og gødningsværdi af restprodukt belyst gennem en livscyklusvurdering og dyrkningsforsøg", hvor VCS er med som projektdeltager, undersøges gødningssegenskaberne for slamprodukter som biochar, slamaske, mineraliseret slam samt afvandet slam. De nævnte slamprodukter testes på gødningsmarker faciliteret af Københavns Universitet. Kasper Reitzel fra SDU har i samme forbindelse, et vivianitprodukt på Københavns Universitets forsøgsmarker for test af vivianits gødningspotentiale. Resultaterne i gødningsforsøgene kan anvendes som dokumentation for værdien af slam samt værdien for produkter som biochar og vivianit. Gødningsværdien er vigtig viden for korrekt beslutning om fosforindvinding i den nærmeste fremtid. Måske er den bedste fosforindvinding at anvende slam på landbrugsjord, trods problemer med miljøfremmede stoffer og tungmetaller.

5.3 Formidlingsplan

Projektet er gennem dets forløb blevet formidlet i flere formater og kontekster. Den 02.02.2021 blev der udsendt en pressemeddelelse. Derudover er projektet blevet formidlet i en række relevante tidsskrifter. Pressemeddelelsen kan ses i bilag 2.

Den 14.04.2021 afholdte projektgruppen et seminar omkring fosfor og slamudnyttelse, hvor en række pågående projekter vedrørende emnet blev præsenteret og erfaringer blev udvekslet.

Resultaterne fra AP1 blev præsenteret på Dansk Vand Konference 2022.



SDU og VCS offentliggjorde en videnskabelig artikel i Water Research, omkring udviklingen af den anvendte ekstraktionsmetode anvendt i projektet. "Quantitative determination of vivianite in sewage sludge by a phosphate extraction protocol validated by PXRD, SEM-EDS and ³¹P NMR spectroscopy towards efficient vivianite recovery" (Wang et al., 2021)

SDU har offentliggjort en videnskabelig artikel i Environmental Science & Technology med resultaterne fra AP1 og de tre forsyninger som medforfattere. "Variation in phosphorus speciation of sewage sludge throughout three wastewater treatment plants: Determined by sequential extraction combined with Microscopy, NMR Spectroscopy, and Powder X-ray diffraction". (Wang et al., 2022)

Resultaterne har indgået i populærvidenskabelige foredrag bl.a. under Forskningens Døgn samt i en artikel på forskerzonen:

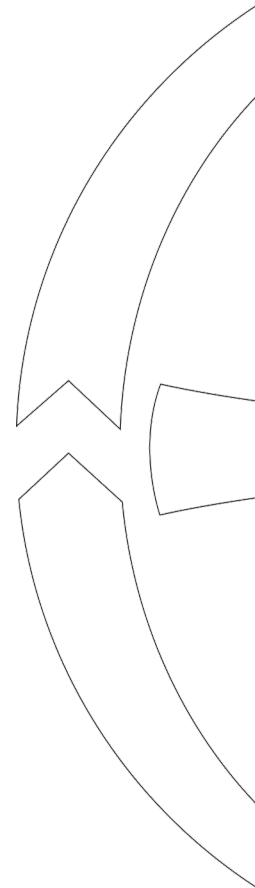
<https://videnskab.dk/forskerzonen/naturvidenskab/det-periodiske-system-er-noeglen-til-den-groenne-omstilling>

Præsentation ved Young Water Professionals konference 2022 af Qian Wang

Projektgruppen planlægger formidling i DanskVand i 2023.

Poster blev accepteret til IWA 2022 i København, hvor resultaterne blev hængt op tilgængeligt for alle deltagere.

Resultaterne er planlagt at formidle i relevante faggruppemøder.



6 Projektet

6.1 Formål

Formålet med projektet var at undersøge muligheden og værdien af en detaljeret kortlægning af fosforsammensætningen i slammet fra seks udvalgte danske renseanlæg med henblik på at forstå, hvordan fosforsammensætningen ændres gennem anlægget, og hvordan forskellige processer påvirker denne. Desuden er information om en række genindvindings-teknologier af fosfor fra renseanlæg blevet indsamlet, med henblik på at få den nødvendige viden til at lave strategiske investeringer for fosfor genindvinding samt teknologiudvikling.

6.2 Output

I det følgende afsnit vil overordnede resultater fra projektet blive præsenteret. For flere detaljer henvises til Bilag 3 – chemical phosphorus mapping in wastewater treatment plants (WWTPs) towards efficient P recovery.

I arbejdsplanen 1 er renseanlæggene Ejby Mølle, Billund Biorefinery og Esbjerg vest analyseret detaljeret for fosforspecifikationerne i udvalgte slamprøver. På baggrund af arbejdsplanen 1 har projektgruppen erfaret tendenser i fosforspecifikationerne gennem repræsentative renseanlæg. Projektgruppen har ud fra disse optimeret en analyseplan til strategisk fosforkortlægning i spildevandsslam. Med den erfaring er der i arbejdsplanen 3 udvalgt 3 renseanlæg fra følgegruppen for yderligere at bekræfte eller afkræfte de observerede tendenser. De 3 yderligere udvalgte renseanlæg er Arlas anlæg i Videbæk, Avedøre fra Biofos og Fredericia Renseanlæg. Anvendelse af kemikalier samt centrale processer på de 6 anlæg er angivet på flowdiagrammerne i Bilag 3, figur 1.

Anlæggene er navngivet med følgende forkortelser. Ejby Mølle (EM), Billund Biorefinery (BL), Esbjerg Vest (EB), Arla Videbæk (AL), Biofos Avedøre (BF), Fredericia (FR). I bilag 3 figur 1, er flowdiagrammer for alle 6 renseanlæg vist med placeringer samt navngivning af udtaget slamprøver. For at kunne sammenligne de 6 renseanlægs slamanalyser, udvalgte projektgruppen lignende slamtyper. Primærslam (PS), sekundærslam (SS), aktivslam (AS) og slut slamproduktet "final sludge" (FS) er analyseret på alle 6 renseanlæg. Da renseanlæggene naturligt er forskellige i opbygningen, vil de resterende prøver være taget forskellige steder i processen, men de er dog stadig udvalgt med henblik på sammenligning. Resterende navngivning opremses; slamblending før udrådning "concentration sludge" (CS), udrådnet slam "digested sludge" (DS), Termisk hydrolyseret slam "thermal hydrolysis sludge" (TS), slam fra Exelys™ "Exelys™ sludge" (ES), Slamaske (SA), Slamblending før udrådning 2 (BDS). F.eks. vil udrådnet slam fra Ejby Mølle navngives, DS-EM.

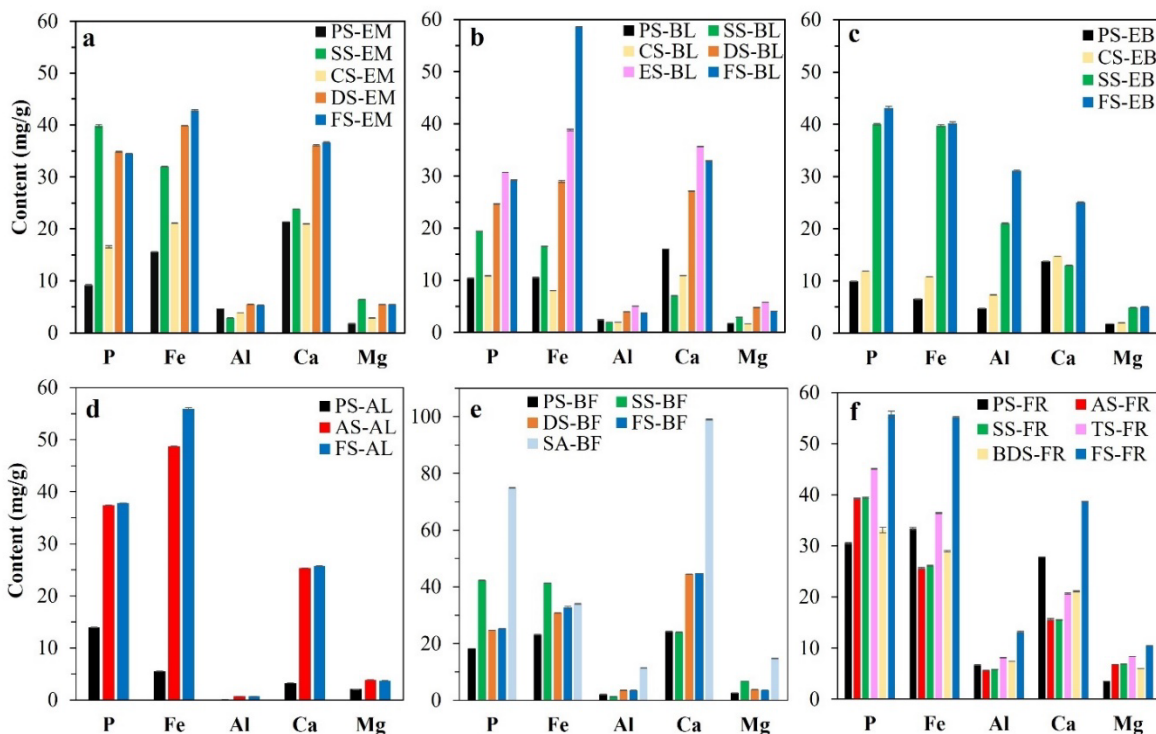
Med de 6 valgte renseanlæg får vi resultater fra 5 byspildevandsanlæg samt 1 industrianlæg (mejeri). De repræsenterer teknologier som udrådning, termisk hydrolyse, slamforbrænding, biologisk fosfor fjernelse samt anvendelse af fædningskemikalier til fosforrensning.

Den kemiske kortlægning består af 4 overordnede trin. Trinene og den viden, som opnås, er beskrevet herunder.

Første trin i den kemiske kortlægning af fosforressourcerne er at måle det totale indhold af udvalgte grundstoffer som eksempelvis fosfor og metaller. Analyse med ICP-OES (Induktivt

Koblet Plasma – Optisk Emissions Spektrometri) anvendes i den udarbejdet slamanalyseprotokol. Den information indikerer, hvilke yderligere analyser, der er værdifulde for kortlægningen.

Resultaterne fra ICP-OES, figur 1, viser at de primære grundstoffer i alle slamprøverne er fosfor (P), jern (Fe) og calcium (Ca). Manganindholdet er negligibelt. Fosforindholdet er generelt stigende efter udrådning, som indikerer, at opløst fosfat bindes i slammet. I slamaskeprøven fra Avedøre Biofos (SA-BF) måles et markant højt indhold af calcium og fosfor, slamasken er dermed den biomasse med størst fosfor opkoncentrering af de analyserede slamtyper. Asken har samtidig en høj opkoncentrering af calcium. Noget andet, som skiller sig ud, er den relativ høje koncentration af aluminium i slamprøver fra Esbjerg Vest (SS-EB, FS-EB), som skyldes, at der tilsættes aluminium som fosforfældning i anlægget.

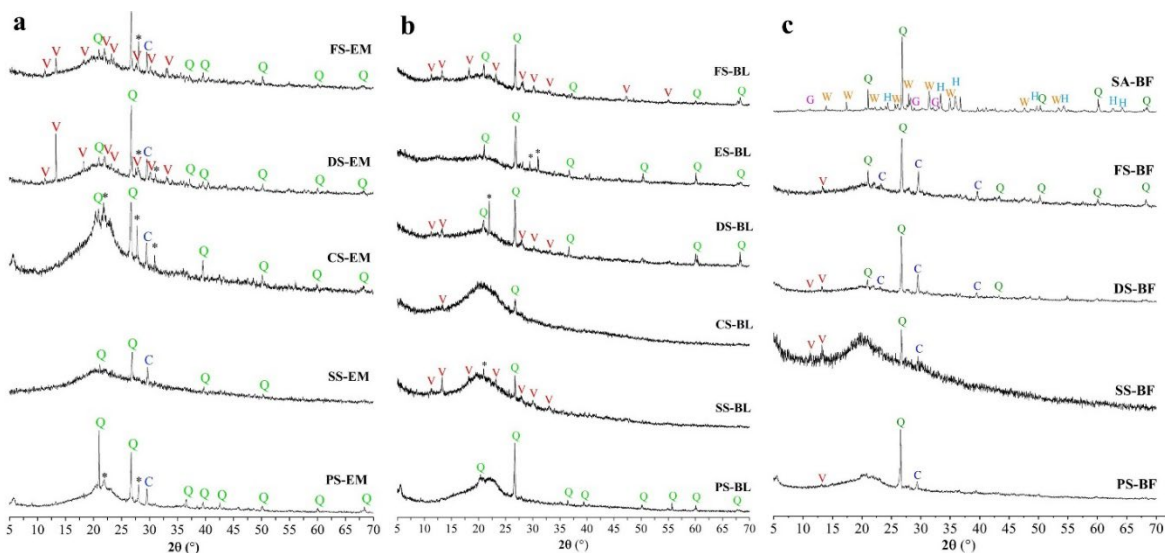


Figur 1 Grundstof analyse af slamprøver fra (a) Ejby Mølle, (b) Billund Biorefinery, (c) Esbjerg vest, (d) Arla, (e) Biofos og (f) Fredericia. Resultatet er i enheden mg/g tørstof.

Med de relative høje koncentrationer af fosfor i slamprøverne, ønskes det at få bekræftet eventuelle udfældninger i slammet. En hypotese i projektgruppen omhandlede afklaring om udfældninger af uorganiske forbindelser (minerale) i slamprøverne. Med PXRD (pulverrøntgendiffraktion) kan man identificere de krystallinske faser (minerale) i slamprøverne. Det skal bemærkes, at PXRD kun detektere krystallinske faser, f.eks. amorfor og meget små mineralpartikler kan være "usynlige". På figur 2 ses PXRD resultaterne fra Ejby Mølle, Billund Biorefinery og Avedøre Biofos. Diffraktrogrammerne fra de 6 renseanlæg er meget ens. Vivianit er det eneste fosfatmineral som detekteres i slamprøverne. I enkelte prøver observeres kvarts (sand) eller calcit (kalk). For Ejby Mølle detekteres krystallinsk vivianit først efter udrådning (DS-EM, FS-EM), hvilket indikerer, at større vivianitpartikler først bliver dannet under forholdene i rådnetankene på Ejby Mølle. For Billund Biorefinery ses krystallinsk vivianit i sekundært slam (SS-BL), dog ses ikke tegn på vivianit efter Exelys™ (ES-BL). Dette kan skyldes at den høje temperatur i Exelys™ nedbryder strukturen i vivianit. Ifølge Prot al.,

2019 nedbrydes vivianit strukturen markant ved øget temperatur. I slamprøverne fra Avedøre Biofos detekteres vivianit i alle slamprøverne undtagen slamasken (SA-BF). I slamasken detekteres forskellige calciumoxider samt whitlockit. Det skal bemærkes at slamasken er opvarmet til en meget høj temperatur, der nedbryder fosfatmineraller som struvit og vivianit.

Det er overraskende for projektgruppen, at PXRD ikke detekterer struvit i slamprøverne, da dette var erfaringsmæssigt forventet ved projektstart. Flere af de anlæg som kortlægges i projektet, har problemer med uønsket struvit udfældning. Projektgruppen forventede samtidig også at se calcium-fosfatudfældninger, grundet det hårde vand i Danmark. Udfældning af calcium-fosfat forbindelser kræver høje calcium koncentrationer, som udkonkurrerer de mange andre ioner i spildevandet. Dermed kræver calcium-fosfatudfældninger en mere kontrolleret ionopløsning eller en katalysator i form af calcium-fosfatkrystal, sand eller lignende (Nieminen, 2010). Det hårde danske vand ses i slamprøverne som kalk og ikke calcium-fosfat.



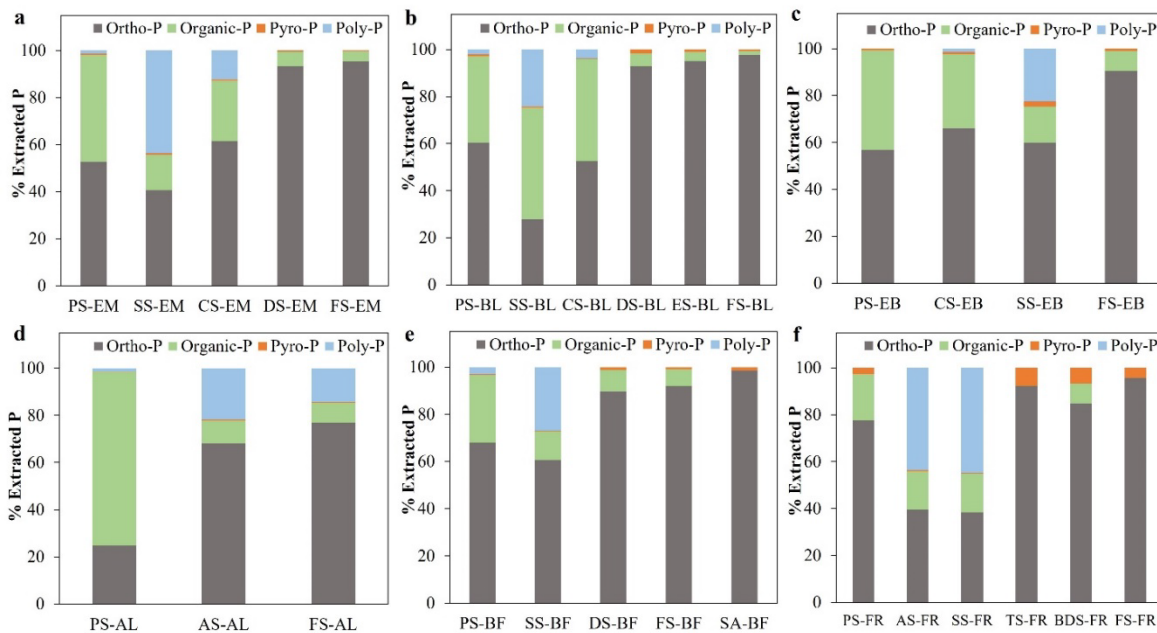
Figur 2 PXRD diffrakrogram af slamprøver fra (a) Ejby Mølle, (b) Billund Biorefinery, (c) Avedøre Biofos. Q: kvarts SiO_2 , V: vivianit $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, C: Calcit (kalk) CaCO_3 , G: Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, W: Whitlockit $\text{CaMg}(\text{PO}_4)_6(\text{HPO}_4)$, H: hematit Fe_2O_3 , *: uidentificeret.

Ud fra PXRD kan det ikke udelukkes, at der ikke er vivianit eller andre fosforudfældninger i slamprøverne. Der kan være udfældninger som ikke er på krystallinsk form.

Derfor består næste trin i den kemiske kortlægning med fokus på fosforkvantificering af væskefase spektroskopi, ^{31}P NMR-spektroskopi. Med denne metode kan andelen af uorganisk fosfat (ortho-P), organisk fosfor (Organic-P), polyfosfat som kendetegner bio-p (poly-P) og pyrofosfat (pyro-P) bestemmes. I figur 3 ses fordelingen af nævnte forskellige fosforforbindelser. De generelle tendenser ud fra ^{31}P NMR-analysen er, at alle 6 anlæg har polyfosfat og dermed fosforakkumulerende bakterier (PAO) i deres anlæg, typisk fra aktivslam/sekundært slam. Efter udrådning (DS, FS) er størstedelen af organisk fosfor samt poly-p nedbrudt til uorganisk fosfat. Mere end 90 % af total fosfor i udrådnings slam er på uorganisk ortho-fosfat form primært i forbindelse med jern. Arlas renseanlæg i Videbæk har ikke udrådning og derfor har AL-FS et højere indhold af poly-p (14 % af total ekstraheret P).

Med kvantificeringen af polyfosfat kan man også få en indikation af ydeevnen af fosforakkumulerende bakterier i den biologiske fosforjernelse. Poly-P andelen i Ejby Mølle samt Fredericia har ud fra ^{31}P NMR den største ydeevne af de 6 analyserede renseanlæg.

Disse resultater taler for, at bio-P ikke vil have en permanent fosforfjernelse effekt på renseanlæg med udrådning, da fosfat optaget af fosforakkumulerede bakterier i aktiv slam frigives under de anaerobe forhold i rådnetanke. Men i praksis kan det være svært at undgå fosfatakkumulerende bakterier i aktiv slam.



Figur 3 Relativ koncentration af de forskellige P specier i slamprøver fra (a) Ejby Mølle, (b) Billund Biorefinery, (c) Esbjerg vest, (d) Arla Videbæk, (e) Avedøre Biofos, (f) Fredericia renseanlæg, ved anvendelse af væske ^{31}P NMR spektroskopier. Fordelt på uorganisk P (ortho-P), organisk P er fordelt i tre fraktioner (ortho-P, pyro-P og Poly-P, hvor poly-P)

Ud fra ^{31}P NMR-analyserne er det afklaret, at uorganisk fosfat udgør den største fraktion i spildevandsslam. Dette projekt har undersøgt de 5 byspildevandsanlæg udrådning samt anvendelse af kemisk fosfatfældning, dermed er resultaterne ikke repræsentative for andre typer spildevandsslam f.eks. kun med biologisk fosforrensning. Dog viser industrianlægget fra Arla i Videbæk samme tendens idet uorganisk fosfat også her udgør en markant andel af slammet. Til at grave dybere i fosforsammensætningen i slamprøverne fra de 6 renseanlæg fraktioneres den uorganiske fosfatfraktion. Den dybere forståelse kan give en bedre vidensgrundlag af fosfatsammensætning og dermed et bedre grundlag for en strategisk fosfatgenindvinding på de enkelte renseanlæg.

Op til dette projekt udarbejdede SDU en ny ekstraktionsprotokol for spildevandsslam til fraktionering af uorganisk fosfat (Wang et al., 2021). Denne ekstraktionsprotokol fraktionerer i følgende dele; løst bundet og opløst P ($\text{H}_2\text{O-P}$), jern(II) bundet fosfat i form af vivianit (Bipy-P), jern(III) fosfat og fosfat adsorberet til jernoxider (BD-P), aluminiumfosfat (NaOH-P), calcium og magnesium bundet fosfat (HCl-P), ukategoriseret rest fosfor (residue-P), P bundet til humusstoffer (Humic-P), og ikke reaktiv fosfor bl.a. organisk fosfor (nrP). Modsat tidligere protokoller, kan man skelne mellem fosfat i vivianit og i andre (jern(III) forbindelser). Analysen er lavet under antagelse af, at man kan se bort fra manganfosfatforbindelser, som støttes af ICP-OES (grundstofanalysen).

Hovedobservationer i resultaterne fra ekstraktions kvantificering fra de 6 renseanlæg kommenteres i dette afsnit, er figur 4, yderligere detaljer kan fås i bilag 3.

Ejby Mølle renseanlæg. Gennemgående for de 5 slamprøver er, at jern-P (Fe(III) (BD-P), Fe(II) (Bipy-P)) er dominerende. Vivianit-P (Bipy-P) øges med 160% under den anaerobe udrådning, samt en markant stigning af Fe(III). Yderligere indeholder udrådningsnet slam fra Ejby Mølle, DS-EM og FS-EM, et højt indhold af løst bundet og opløst fosfat (H_2O -P) på henholdsvis 17,8% og 10,4 %. Dette kan indikere utilstrækkelig tilsætning af fældningskemikalier og risiko for eventuelle uønsket struvit udfældning. Driften på Ejby Mølle bekræfter problemer med struvit udfældning.

Billund Biorefinery. De 6 slamprøver fra Billund Biorefinery udviser samme tendenser som på slamprøverne fra Ejby Mølle. Jern-P er dominerende som de uorganiske fosfat-sammensætninger i spildevandsslammet. Vivianit (Bipy-P) øges med 200% under anaerob udrådning, samt også en markant stigning af Fe(III) (BD-P). Analyserne viser, at slambehandling med Exelys™ mindsker vivianit indholdet fra 32% i DS-BL til 22% i ES-BL. Nedbrydning af vivianit bekræftes i PXRD. Dette sker på trods af, at slammet kommer under anaerobe forhold igen efter Exelys™ i rådningskammer 1, hvor det blandes med industriaffald (se fig. 1 bilag 3).

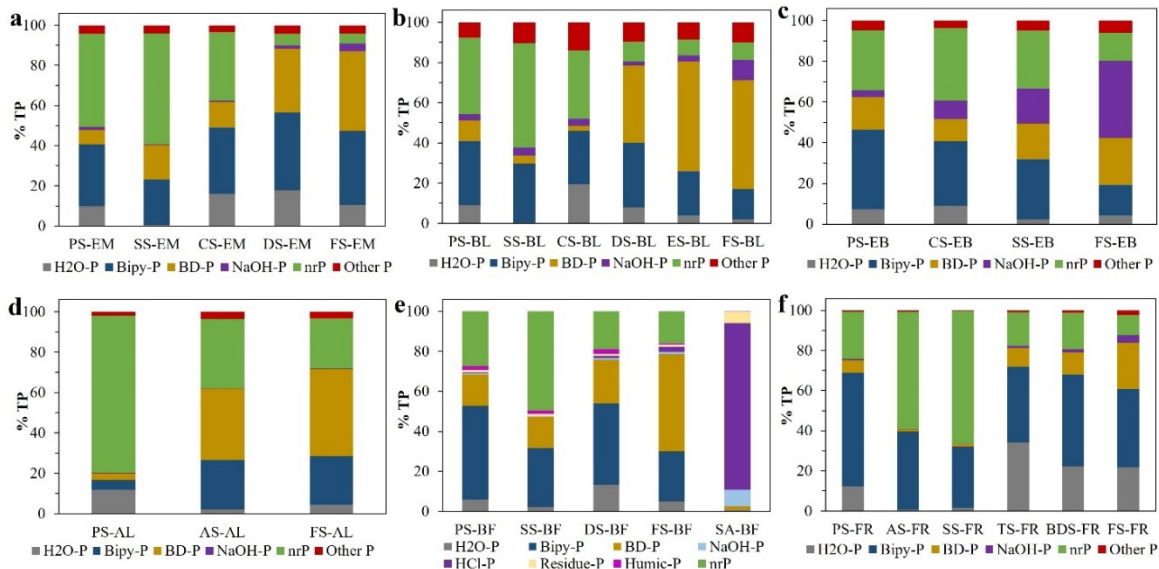
Esbjerg vest renseanlæg. Analyserne på Esbjerg vests slamprøver ligner Ejby Mølle og Billund Biorefinery, med betydelig påvirkning af anvendt fældningskemikalie. På anlægget anvendes både jern og aluminium som fældningskemikalie, det ses på ekstraktionsresultaterne. Jern og aluminium tilsættes til procestankene, dermed er det kun slamprøverne SS-EB og FS-EB, som finder sted efter tilsætning af fældningskemikalier. Da anlægget anvender både jern og aluminium fås hermed et indblik i deres relative evne til at binde fosfat. Efter udrådning, hvor fosfat fra bio-P og poly-P frigives er forholdene i slammet henholdsvis, 15% Vivianit (Bipy-P), 23% Fe(III) (BD-P) og 38% Al-P (NaOH-P). Resultatet viser, at jern og aluminium begge fælder fosfat, men stigningen af aluminium-P er mest markant under udrådning. Dette indikerer, at aluminium har den højeste fosfatselektivitet. Ekstraktionen viser at SS-EB og FS-EB indeholder betydelige aluminiumfosfat forbindelser. Faststof NMR viser, at fosfat formentlig er bundet til amorfe aluminiumoxider formentlig på overfladen. En observation der støttes af, at PXRD ikke viser tegn på krystallinsk aluminiumfosfat.

Arla Videbæk. Resultatet for PS-AL viser, at industrispildevandet, som anlægget modtager, indeholder en stor andel af biologisk fosfor (nrP). Efter biologisk behandling samt tilsætning af jern som fældningskemikalie udgør Fe(II) samt Fe(III) betydelige andele i slamprøverne fra anlægget. Dette er samme tendens, som igen viser sig. Anderledes for anlægget er dog, at det ikke har anaerob udrådning, derfor indeholder slut slamproduktet, FS-AL, et højere indhold af biologisk fosfat (nrP).

Avedøre BIOFOS. Slamprøverne fra Avedøre BIOFOS har samme tendens som Ejby Mølle og Billund Biorefinery. Jern-P er dominerende, med en blanding af vivianit (Bipy-P) og Fe-III (BD-P). Derudover ses et øget indhold af biologisk fosfat (nrP) i SS-BF, som kan sammenholdes med polyfosfat fra fosfat akkumulerende bakterier. Slammaske prøven (SA-BF) viste i ICP analysen, figur 1, høje koncentrationer af calcium. Derudover viste PXRD diffraktogrammet i figur 2, refleksioner fra calcit og whitlock. Ved anvendelse af ekstraktionsprotokollen på slammasken fås et resultat på 83% Ca-P (HCl-P), som er en betydelig høj koncentration til eventuel anvendelse for fosforindvindings teknologi. Jern(II) i det dannede vivianit samt Fe(III) oxideres under forbrændingen til hematit (Fe_2O_3) og frigiver fosfat jvf. PXRD, se Figur 1.

Fredericia renseanlæg. Slamanalyserne fra Fredericia viser også samme tendenser som de andre 5 renseanlæg. Igen er jern-P det mest dominerende uorganiske fosfatfraktion. Som Ejby Mølle har det afvandede slam et relativt højt indhold af løst bundet og opløst fosfat (H_2O -P) på 34%, som ligeledes kan indikere utilstrækkelig fosforfjernelse. En fordel ved det høje

indhold af opløst fosfat kan være gødningsværdien i slammet, da opløst fosfat hurtigere kan optages af afgrøderne på markerne.



Figur 4 Ekstraktion af P fraktioner i slamprøver fra (a) Ejby Mølle, (b) Billund Biorefinery, (c) Esbjerg vest, (d) Arla Videbæk, (e) Avedøre Biofos, (f) Fredericia renseanlæg. HCl-P, Residue-P og Humic-P er samlet som Other-P på alle anlæggene grundet de lave værdier. Undtagen for Avedøre Biofos. Detaljer kan ses i Bilag 3, Tabel 3.

Resultaterne beskrevet i dette afsnit viser kompleksiteten af fosforkortlægningen i spildevandsslam samt værdien af at gå dybere end Total-P og fosfat-P. Trods kompleksiteten, var der overraskende ensartede tendenser for de 6 analyserede renseanlæg. Projektgruppens erfaringer gennem projektet er listet i afsnit 5.3. Slamanalyserne kan anvendes som baggrundsviden for fremtidig investering.

Bilag 4, er projektgruppens udarbejdede litteraturstudie over fosforgenindevindingsteknologier. Litteraturstudiet er afrapporteret som et katalog, der skal anvendes som et opslagsværk for inspiration. Der er udvalgt teknologier på tværs af kommercielle stadier, forskellige genindvindingsmetoder og til flere anlægstyper.

Den kemiske kortlægning af fosforfraktioner samt teknologikataloget skal give forsyninger en langt bedre viden, til at tage en strategisk beslutning for en mulig investering. For udviklingsinstitutioner kan resultaterne bruges til at intensivere udviklingen af teknologier, som er målrettet de naturlige forhold samt fosforfraktioner, som findes i spildevand og spildevandsslam.

6.3 Projektresultater

I arbejdsplanen 2, bilag 4, er der udført et litteraturstudie på fosforgenindevindingsteknologier. Studiet belyser den brede vifte af genindvindingsmetoder, genindvindings fosforprodukter samt teknologiskudviklingsniveauer, som gør diskussionen om effektiv fosforgenindevinding udfordrende for de danske spildevandsforsyninger.

Arbejdsplan 1 og 3, bilag 3, beskrevet i afsnit 5.2, viser kompleksiteten af den kemiske sammensætning af slam. Projektet viser mulighederne og værdien af kemisk kortlægning.

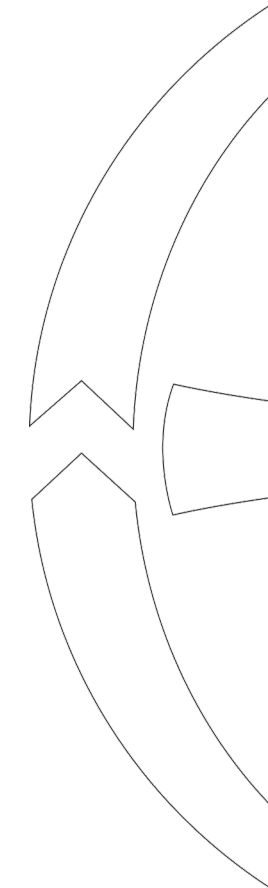
Projektet har resulteret i vidensopbygning og samarbejde, med fokus på optimal fosforindvinding. Under formidlingen af projektet formede projektgruppen en række teser som den kemiske kortlægning har kunne be- eller afkræfte. Følgende teser er bekræftet:

- Den kemiske kortlægning fandt ikke calciumfosfatforbindelser. Calcium i det danske hårde vand, har dermed ikke en betydning for fosforsammensætningen i spildevandsslammet.
- Anvendt fældningskemikalie har en markant betydning for krystallinsk samt amorphorus fosfor.
- Vivianit dominerer på renseanlæg med kemisk fosforfjernelse i form af jern.
- Fosfor optaget af fosfat akkumulerende bakterier i form af poly-P frigives under anaerob udrådning og fældes som uorganisk fosfat.
- Efter anaerob udrådning er den primære fosforfraktion uorganisk fosfat.
- Exelys™, nedbryder vivianit krystaller.
- I de 6 analyserede renseanlæg var der ikke tegn på krystallinsk Struvit i slamprøverne, men tilstedeværelsen af mindre dele amorf struvit er mulig.
- Kemisk fosforfjernelse i form af en kombineret tilsætning af jern samt aluminium, giver to sammenlignelige P fraktioner. Det kan komplicere fosforindvinding ifm. fældningsgenindvindingsmetoder.

Optimeret analyseplan bilag 1.

De erfaringer, som projektet har givet projektgruppen, har resulteret i, at VandCenter Syd har valgt at teste Vivimag teknologien som en mulig succesfuld genindvindingsteknologi, som skal udvikles og beskrives yderligere gennem forskning.

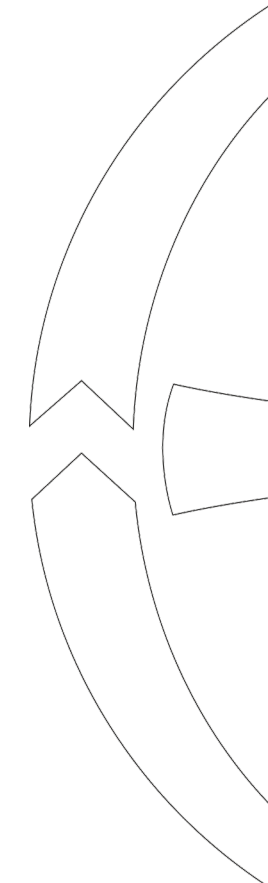
Formidlingen af projektresultater har resulteret i flere efterspørgsler ift. SDU's udviklede optimerede analyseplaner.



6.4 Konklusion

Projektet har succesfuldt vist kompleksiteten af den kemiske sammensætning i spildevands-slam. De kemiske analyser samt teknologistudiet viser, at genindvinding af fosfor er kompleks, og at der ikke er en simpel konklusion på, hvordan fosfor skal genindvindes fra danske renselanlæg. Projektet viser også betydningen af anvendt fosforrensning, slambehandling og kemi, for fosforsammensætningen på renselanlæg.

Projektet har givet projektgruppen, en større viden om bl.a. vigtigheden i at undersøge sit anlæg nærmere inden eventuelle investeringer. Denne viden er særdeles central for hele branchen og bør formidles bredere ud. Projektet er også med til at vise mulighederne for at øge viden ved samarbejder mellem forsyninger og universiteter.



7 Referencer

- Wang, Q., Kim, T.-H., Reitzel, K., Almind-Jørgensen, N. and Nielsen, U.G. 2021. Quantitative determination of vivianite in sewage sludge by a phosphate extraction protocol validated by PXRD, SEM-EDS and ³¹P NMR spectroscopy towards efficient vivianite recovery. *Water Research*, 117411.
- Wang, Q., Raju, C.S., Almind-Jørgensen, N., Lastrup, M., Reitzel, K. and Nielsen, U.G. 2022. Variation in Phosphorus Speciation of Sewage Sludge throughout Three Wastewater Treatment Plants: Determined by Sequential Extraction Combined with Microscopy, NMR Spectroscopy, and Powder X-ray Diffraction. *Environmental Science & Technology*.
- Nieminen, Jenni. 2010. Phosphorus recovery and recycling from municipal wastewater sludge.
- Prot, T., Nguyen, V.H., Wilfert, P., Dugulan, A.I., Goubitz, K., De Ridder, D.J., Korving, L., Rem, P., Bouderbala, A., Witkamp, G.J., van Loosdrecht, M.C.M.

8 Bilag

8.1 Bilag 1 – Analyseprotokol spildevandsslam

Qian Wang og Ulla Gro Nielsen, SDU.

Metoder markeret med **fed** er anbefalet minimumspakken, der er baseret på 1-5 analyser. Ved større antal prøver kan aftale samlet pris. Den har fokus på jernbundet P, det antages derfor resten antages at være bundet i organisk materiale. Derfor er PXRD inkluderet for at kunne identificere evt krystallinske mineraler herunder vivianit, men også struvit, calcit og apatit.

Der afregnes som indtægtsdækket virksomhed fast timepris inkl overhead til dækning af kemikalier, laboratorie, basis analyseudstyr osv. Ved avancerede instrumenter som f.eks. PXRD, NMR og SEM-EDS, betales en fastsat timepris inkl overhead. NMR og ICP-analyser forudsætter, at instrumentet klargøres til at kunne foretage de aktuelle målinger. Der er derfor et startgebyr og en pris pr prøve, der analyseres.

*Basispakken består af karakterisering (A) og analyse af de mest almindelige P fraktioner (B), markeret med **fed** i tabellen*

A. Karakterisering med:

ICP-OES (Fe, P og Ca samt eventuelt Al (hvis der er doseres aluminium) og Mg (hvis struvituddækningsmuligt))

PXRD – identifikation af krystallinske faser (vivianit, calcit evt struvit)

Optisk mikroskopi – visuel identifikation af vivianit (vivianit detekteres ikke altid af PXRD)

B. Basis ekstraktionsprotokol trin 1-3

De første tre trin i protokollen sammen med ICP-OES kombineret med ICP-OES af prøven. Studiet viser at jernbundet P er mest normalt, resten udregnes som forskellen og antages at være biologisk bundet. Hvis der skal undersøges prøver, hvor der doseres aluminium skal trin 4 medtages og for slammaske, biochar og andet opvarmede prøver anbefales det, at trin 1-5 indgår.

Derudover kan der f.eks. vælges SEM-EDS hvis der ønskes et detaljeret billede af mineralfaserne eller væskefase NMR, hvis der ønskes information om de biologiske P fraktioner.

Vores karakteriseringsprotokol findes beskrevet i Wang et al. Water Research, 202 (2021) 117411 (Open access) <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117411>

Trin	Karakteriseringsmetode Med fed er markeret standard	Arbejdstimer [pr prøve]	Apparat /analyse [pr prøve]
0a	Prøveafhentning på anlæg af SDU (sendt til SDU)	Faktisk pris ½ time	Kørsel
0b	Prøvklargøring (centrifugering x 3, tørring, separation og tørstof (Loss of ignition). 2 prøver i parallel 6 timer (mest effektivt 2 prøver ad gangen, 1 time pr prøve til viderebehandling))	3 timer (4 timer)	
1	Kemisk analyse ICP-OES af slamprøven (Fe, P, Ca, Al, og Mg) for 1 prøve Derudover pr prøve, der måles samtidig Der måles for hvert grundstof en standardrække pr måleserie. Der betales standardrække ("startgebyr") og derudover pr prøver for hvert grundstof	1 time 1 time	5xICP + 5x standardrække 5x ICP
2	Optisk mikroskopi (visuel identifikation af vivianit)	1 time	%
3	Pulverrøntgendiffraktion identifikation af krystallinske faser (primært vivianit)	1 time	½ time PXRD
4	SEM-EDS inklusiv grundstofkortlægning udvalgte partikler (Fe-P, Ca-P)	2 timer	1½ time SEM-EDS
5	Væskefase ³¹ P NMR – identifikation af biologisk og uorganisk P	2 timer (setup) + 1 time	Startgebyr 2 timer 8-24 timer (afhængig af prøve)
6	Faststof NMR (kvantitativ bestemmelse Fe-P)	2 timer (setup) + 1 time	Startgebyr 1 dag 8-24 timer (afhængig af prøve)

	Rapport over analyser inklusiv fortolkning og sammenligning (afhænger af antallet af prøver, detaljegrad og forskellige analyser)	1-3 timer	%
Trin	Ekstraktionsprotokol (To prøve kan analyseres parallelt, så et lige antal prøver er mest effektivt. Med fed er markeret standardprotokol)	Arbejdstimer	P (Mo-blue metode)
	Prøveforberedelse. Bemærk, der skal være ICP-OES analyse af slamprøven (trin 0b). Grundstofanalyse (ICP-OES) af de forskellige trin kommer er ekstra	Minimalt	1 standardrække + måling prøve (ortho-O og TP i triplikat)
1	H₂O (løstbundet) inkl, ortho-P og TP måling	2	
2	Bi-py (vivianitebundet, Fe(II)) inkl, ortho-P og TP måling	2	
3	BD (jernbundet evt % Fe(II)) inkl, ortho-P og TP måling	3	
4	NaOH (P bundet lerminerale) inkl, ortho-P og TP måling	1,5	
5	HCl (P bundet Ca og Mg bundet fx i apatit, struvit osv) inkl, ortho-P og TP måling	2	
6	Rest (bundet organisk materiale) inkl, ortho-P og TP måling	1.5	

8.2 Bilag 2 – Pressemeddelelse

Et projektpartnerskab bestående af Syddansk Universitet og tre danske forsyningselskaber – Din Forsyning, Billund Vand & Energi samt VandCenter Syd – skal det næste års tid blive klogere på, hvad man kan få ud af at udføre avancerede kemiske analyser af fosfor og dets bindinger, når prøverne kommer fra forskellige renselanlæg.

Projektet hedder "Kemisk kortlægning af fosforressourcerne med henblik på effektiv fosforgendinding" og åbner op for en helt ny tilgang til udfordringerne med at høste fosfor, som er til stede forskellige steder på et renselanlæg.

Værd at udnytte

Fosfor er en værdifuld – og begrænset – ressource, der indgår som en byggesten i alt levende. Det har længe været kendt, at der er relativt store mængder fosfor i spildevand. Fokus har hidtil været på at fjerne fosforen fra spildevandet for at undgå negativ påvirkning af vandmiljøet. I en fremtid, hvor der er brug for at udnytte og recirkulere alle ressourcer, vil det dog være nødvendigt, at fosforen ikke bare fjernes – men også udvindes og genbruges.

I dag er det normalt, at man på renselanlæg fælder fosfor fra spildevandsslam med jern eller aluminium og derefter bringer det ud på landbrugsjord. Det er en løsning, der er dyr for spildevandsselskaberne. Derfor er der stort fokus på at høste fosfor og producere et værdifuldt produkt.

Drilsk stof

Det er dog langt fra nemt. Fosfor er et drilsk stof, fordi det reagerer med mange andre stoffer – stoffer som befinder sig forskellige steder i løbet af renseprocessen på et renselanlæg. Fx kan det i indløbet binde sig med calcium, eller det kan udfældes med magnesium og derved ødelægge pumper, hvis man på renselanlægget har en rådnetank i renseprocessen.

Skal man derfor se på, hvor det bedst kan betale sig at udvinde fosfor, er det vigtigt at kende potentialet for hver enkelt type af bindinger. Det er netop, hvad projektet søger at blive klogere på.

Der vil blive taget analyseteknologier i brug, der ikke tidligere er anvendt målrettet på renselanlæg. Der er tale om meget avancerede analyser, og håbet er da også at kunne skrue en mindre analysepakke sammen efterfølgende. En pakke, som det vil være relevant for andre forsyningselskaber at tage i brug i jagten på de bedste muligheder for at udvinde fosfor.

Teknologi og udvikling

Projektet vil undersøge flere renselanlæg og samtidig undersøge, hvilke teknologiske muligheder der findes – eller er under udvikling – i forhold til en effektiv høst af fosfor.

- I bedste fald viser der sig en tendens i, hvilken form for fosfor-binding, det bedst kan betale sig at udvinde. Det ville være et vigtigt input til, hvilke udvindingsteknologier, der bør sættes på, siger Per Henrik Nielsen, projektchef i VandCenter Syd og leder af projektet.

Projektet er støttet økonomisk af [Vandsektorens Udviklings- og Demonstrationsprogram \(VUDP\)](#), som er organiseret under vandbranchens forening DANVA.

VCS: [Bedre viden om fosfor \(vandcenter.dk\)](#)

Billund: [Fosfor-mining | Billund Vand & Energi](#)

Energy supply: [Kemisk kortlægning første skridt mod en effektiv høst af fosfor - Energy Supply DK \(energy-supply.dk\)](#)

Spildevandstekniskblad: [Spildevand #1 2021 by susanne brandt - Issuu](#)

Cleantech Water: [Forsyninger jagter nemmere udvinding af fosfor i nyt millionprojekt – CleantechWatch \(ctwatch.dk\)](#)

8.3 Bilag 3 – Chemical phosphorus mapping in wastewater treatment plants (WWTPs) towards efficient P recovery. (see attached)

8.4 Bilag 4 – Fosfor genindvindingsteknologi katalog (se vedhæftet)

