

Som aftalt hermed bidrag til rapport vedr. struvit.

---

Projektets titel: **Struvit – fra spildevand til ressource**

---

## 1 Struvitproduktion fra spildevand

Struvit er kendt som et problem stof i håndtering af spildevand, hvor dette renses med biologisk fjernelse af næringsstofferne kvælstof og fosfor. På større renseanlæg, hvor energiudnyttelse i form af biogas er en integreret del af slambehandlingen, øges risikoen for ukontrollerede udfældninger i rørledninger og i udstyr til afvanding af overskudsslam.

Struvit består af ammonium, magnesium og fosfat efter formlen:



I slamvandet efter udrådning af slam i biogasanlæg er koncentrationen af både ammonium og fosfat høje. Magnesiumkoncentrationen er lavere, men tilstrækkeligt til at udfældningen kan starte spontant, dog uden at være fuldstændig. Udfældningen kan her ske i rådnetanken, i de pumper der overfører slam fra rådnetank til afvanding, og desuden i pumper og rør, der leder slamvandet (rejektvandet) tilbage til renseanlæggets renseprocesser

### Udfældning:

rejektvand:  $\text{NH}_4$  (ammonium) +  $\text{PO}_4$  (fosfat)  
fældningsmiddel : Mg (magnesium)

produkt:  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (struvit)

Kruger A/S – Veolia Water Technologies, Danmark

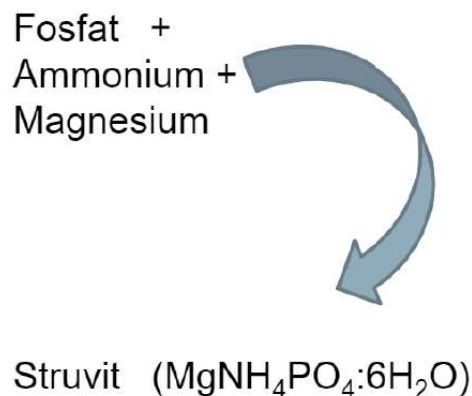
SØBORG  
Gladsaxevej 363  
DK-2860 Søborg  
T +45 3969 0222  
kruger@kruger.dk

AALBORG  
Indkildevej 6C  
DK-9210 Aalborg SØ  
T +45 9818 9300  
kruger@kruger.dk

AARHUS  
Haslegårdsvænget 18  
DK-8210 Aarhus V  
T +45 8746 3300  
kruger@kruger.dk

GLOSTRUP  
SERVICE  
Langebjerg 29A  
DK-4000 Roskilde  
T +45 3969 0222  
kruger@kruger.dk

AQUACARE  
Fabriksparken 50  
DK-2600 Glostrup  
T +45 4345 1676  
aquacare@kruger.dk



*Figur 1. Struvit udfældet på Åby renseanlæg*

For at styre udfældningen kan man øge indholdet af magnesium-ioner ved at tilsætte en saltopløsning af magnesiumklorid. Dette gøres kontrolleret i en særlig proces - et struvitanlæg.

Der er udviklet forskellige procesdesign til struvitanlæg, som alle producerer struvit, hvor struvitproduktet har forskellig renhed og krystalstruktur. Dette kan have betydning for en evt. udnyttelse af struvit som gødningsprodukt.

I dag er der bygget struvitanlæg på over 90 renseanlæg over hele verden (2020) og på 4 anlæg i Danmark (etableret i perioden 2013-2018).

Teknologierne er baseret på behandling af rejektvand fra afvanding af udrådnet slam, eller baseret på en udfældning direkte i det udrådnede slam, hvorefter struvit skal separeres fra slammet efterfølgende.

### 1.1 Polymer til afvanding

Ved mekanisk afvanding af slam fra renseanlæg anvendes polymer-produkter. Afvandingen sker typisk ved centrifugering (dekantercentrifuger) eller presning (skruepresser). Polymerprodukter er nødvendige for at sikre et lavt vandindhold i det afvandede slam og et lavt slamindhold i rejektvandet, der potentielt kan indgå i struvitproduktionen. Polymerproduktet fungerer ved at sammenkæde de organiske slampartikler, så de bedre kan "slippe" vandet, og polymerkemikalierne ender dermed som en del af det afvandede slam. Indholdet af organisk materiale i struvit er meget lavt

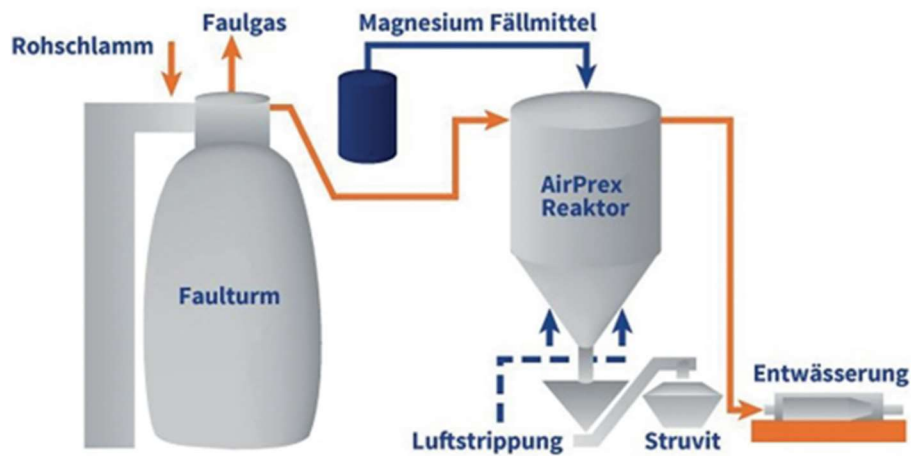


og afspejler dermed også, at denne mængde polymer omtrent 100 % overføres til det afvandede slam. Der anvendes typisk 5-10 kg polymer pr. tons tørstof i slammet som afvandes.

## **2 Reaktor design**

### **2.1 Udfældning i slam**

Enkelte leverandører benytter udfældning direkte i udrådnet slam. Airprex er den mest udbredte teknologi her. Struvit fældes direkte i udrådnet slam i en reaktor sammen med slammet. Efterfølgende separeres slam og struvit ved bundfældning og i en cyklon. Struvit produktet indeholder dog stadig 2- 10 % organisk materiale (slam).



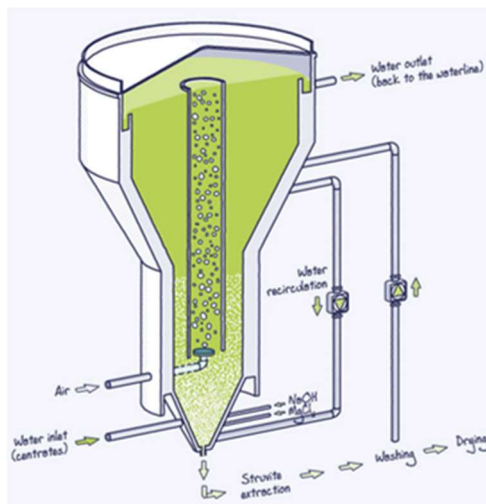
**Figur 2.** Airprex-anlæg med struvituddfældning på udrådnetslam. Kilde: [www.deutsche.phosphorplattform.de](http://www.deutsche.phosphorplattform.de) 2018

## 2.2 Udfældning på rejektivand

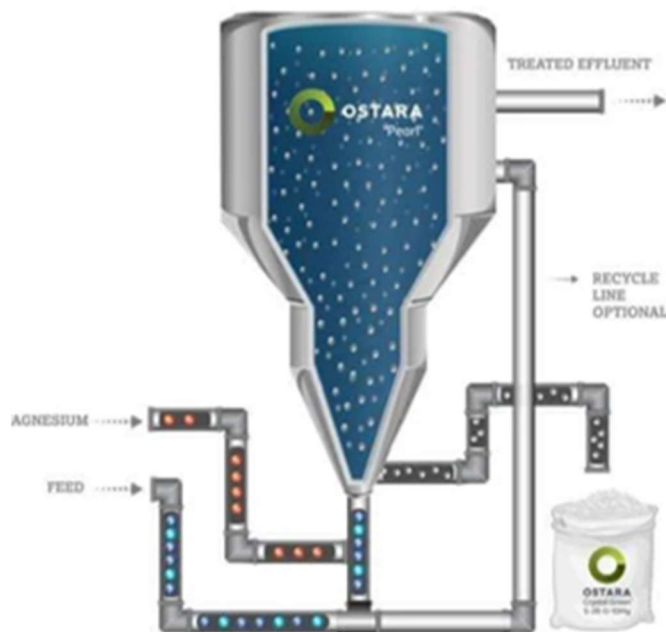
Mange design findes på anlæg til udfældning af struvit på rejektivand. Her er vist 3 forskellige modeller.



**Figur 3.** Struvia i opblandet reaktor på rejektivand, Krüger 2015



**Figur 4.** Phosphogreen i fluidbed med beluftning på rejektivand, Norconsult 2013, Suez 2018 og Krüger 2024.



**Figur 5.** Pearl reactor i fluidbed på rejektivand, Ostara 2011

Udfældning i rejektivand kræver at slamafvandingen er effektiv og at der kun er et lavt indhold af slam i rejektivandet - typisk lavere end 500 mg/l. Den udfældede struvit er som resultat heraf også meget rent med mindre end 1 % organisk materiale

### 3 Kvalitet af struvit dannet på forskellige typer struvitanlæg.

Struvit er en veldefineret kemisk forbindelse, men pga. forskellene i procesdesign fremstår struvitproduktet forskelligt jf. nedenstående tabel.

Nogle design sikrer at struvitkrystaller kan vokse til større "piller" 1- 3 mm i diameter, mens andre design danner små krystaller mindre end 1 mm i størrelse.

Proces, leverandør	reaktor	Th	Leverandør	Produkt	Antal anlæg 2020 (DK i parentes)
Airprex®,	Beluftet reaktor for afgasset slam	8 timer	CNP-Cycles	Krystaller 1-4 mm med ~10% slam indblandet	13 (0)
Pearl®	fluidbed med recirkulering	1-2 timer	Ostara	Runde krystal-piller 1- 3 mm	18 (0)
Multiform Harvest (opkøbt af Ostara i 2019)	Fluidbed i kegleformet reaktor uden recirkulering	0,5-1 time	Ostara	<1 mm krystaller (sand)	4 (0)
Airlift fluidbed	Fluidbed med luft	1-2	Krüger,	Runde krystal-	6 (4)



Phosphogreen®	for CO2-stripping	timer	Norconsult Suez	piller 1- 3 mm	
Struvia®	Omrørt reaktor med lamelseparering af afløb	1-2 timer	Krüger, Veolia	<1 mm krystaller (sand)	2 (1)
NureSys	CSTR Omrørt reaktor med foregående beluftningstrin	1-2 timer	NureSys i Belgien	Runde krystal- piller 1- 3 mm	8 (0)
Crystalactor®	Fluidiseret kolonne med sand som bæremedie	0,5-1 time	DHV i Holland	Runde krystal- piller 1- 3 mm med sand-kerne	1 (0)
PhosPhaq®	Kombineret beluftning til COD- fjernelse og omrøring	5-6 timer	Paque	Krystaller 1-4 mm med ~10% slam indblandet og 70% TS	11 (0)

Kilde : Christian Kabbe 2019

Airprex og PhosPhaq processerne har et struvitprodukt med et væsentligt indhold af organisk stof i form af slam. Dette slam indeholder de problemstoffer, der evt. findes i slammet, dvs. smitstoffer, tungmetaller og organiske mikroforureninger i det omfang dette allerede er tilstede i slammet. De øvrige processer har meget lidt organisk stof indblandet i struvitproduktet og har dermed også dokumenteret meget lidt af disse problemstoffer.

Struvit kan udfældes i en proces som små krystaller og ligner herved gråhvidt strandsand, som har en kornstørrelse på 0,3-1 mm. Dette sker f.eks. i Struvia-processen, og i Multiform Harvest.

Hvis struvit udfældes i en pH-kontrolleret reaktor med passende omrøring eller recirkulation kan det lade sig gøre at udfælde struvit i større (2-4 mm) kugleformede "piller", som lettere lader sig afdræne og tørre. Disse piller er meget hårde og kan spredes direkte i tilgængeligt udstyr til gødningsspredning. Struvit i kornstørrelse under 1 mm indeholder typisk en del overflade-vand efter dræningen og kan være vanskeligere at tørre.

#### 4 Magnesium og lud til udfældning

Den mest almindelige kilde til magnesium til struvitudfældning er magnesiumklorid, som leveres i en opløsning med ca 33 % MgCl<sub>2</sub>. Alternativt kan saltet leveres som flager i big bags, hvilket kræver et særligt anlæg til efterfølgende opløsning før doseringen ind på struvitanlægget.

Indkøb af magnesium salt er den største udgiftspost til produktionen af struvit, og der har været eksperimenteret med alternative og billigere magnesiumkilder.

Saltvand (havvand) er testet og dokumenteret som et billigt alternativ. Havvand indeholder 1,2 g/liter magnesium foruden det naturlige indhold af natriumklorid.

Anvendelse af dette til struvitproduktion kræver tilgængelighed af havvand ved anlægget, da der skal bruges et relativt stort flow i processen pga den lave magnesium koncentration. Struvitudfældningen fungerer dog omtrent lige så effektivt som magnesiumklorid. Magnesiumhydroxid eller magnesiumoxid i pulverform er alternativer, der dog ikke er set anvendt i større stil primært pga. udfordringer med at styre opløsningen og doseringen af produktet.



pH værdien i processen er helt afgørende for at sikre udfældningen af struvit. Derfor skal der typisk tilsættes lud (NaOH). Luddoseringen er den næststørste driftsudgift ved struvitudfældningen.

## 5 Drift af struvitanlæg

Til driften af struvitanlæg anvendes der dels elektricitet til pumpning og omrøring. Analyser til sikring af stabil drift af anlægget vil typisk omfatte løbende kontrol af fosfatkoncentrationen og suspenderet stof. Efter en indledende indkøring af et struvitanlæg vil det typisk kunne drives af personale med 2-5 timer /uge og kan normalt udføres af samme personale, som driver selve renseanlægget..

## 6 Potentiale for struvitproduktion i Danmark

Potentiale for struvitproduktion i Danmark er opgjort med følgende forudsætninger:

- Anlæg skal have rådnetank til biogasproduktion på slam. Udrådningen sikrer en høj grad af mineraliseret fosfor (PO<sub>4</sub>-P), som kan udfældes som struvit. Dette svarer typisk til alle anlæg med en kapacitet større end ca 50.000 PE. En del af disse anlæg er dog belastet lavere end 50.000 PE. De er medtaget alligevel, da forudsætningerne for struvitudfældning er til stede.
- Anlægget skal primært rense fosfor fra spildevandet ved biologisk P-fjernelse. Det sikrer at mineraliseret fosfor ikke er bundet til jern eller aluminium-ioner. Dette vil begrænse potentialet for at producere struvit fra optimalt ca. 35% til ca. 20%.

I nedenstående tabel er samlet en opgørelse over renseanlæg, der potentielt vil kunne producere struvit ved benyttelse af teknologi, som beskrevet i det foregående. Den samlede mængde af struvit, der vil kunne produceres, forudsat at alle disse anlæg kan etableres, vil være ca. 11080 tons pr år, eller 1385 tons fosfor pr. år.

Anlægsstørrelse, kapacitet PE	Antal anlæg med rådnetanke	P-belastning, t/år	Struvit-potentiale, t/år	Fosfor-potentiale, t/år
0-50.000	9	242	384	48
50.000-100.000	18	819	1840	230
100.000-200.000	16	1290	2776	347
Over 200.000	10	2330	6072	759
I alt	53	4681	11080	1385

Kilde: Belastning fra [www.spildevandsdata.dk](http://www.spildevandsdata.dk), PULS 2019. Struvitpotentiale beregnet jf. overstående.

### 6.1 Økonomi ved etablering af struvitanlæg

Etablering af struvitanlæg på renseanlæg i Danmark skal indgå i den almindelige løbende investering af nyanlæg i en vandforsyning.

Med den nuværende lovgivning og begrænsning i hvad midlerne fra forsyningsselskaberne må bruges til, vil der blive prioriteret hårdt i hvilke projekter der kan gennemføres på kommunale renseanlæg. Den økonomiske bæredygtighed af et struvitanlæg bliver dermed udfordret af priser på fældningsmidler (magnesium og lud) samt på markedsprisen på det udvundne struvit.





For at retfærdiggøre etableringen af et struvitanlæg skal der derfor også medtages besparelser opnået på renseanlægget ved at etablere et struvitanlæg.

Der er umiddelbare besparelser ved, at fosfor, der genvindes, ikke skal fjernes kemisk på selve renseanlægget (sparet fældningskemikalie og sparet håndtering af slam fra denne fældning). Sparet vedligeholdelse ved ukontrolleret struvitudfældning andre steder på renseanlægget. Denne del af regnestykket er vanskelig at prissætte, men kan være relativt stor.

Dette regnestykke kan på det enkelte renseanlæg give meget forskellige resultater, og bliver dermed også afgørende for om det er realistisk at etablere et struvitanlæg. De bedste muligheder er på større anlæg med biologisk P-fjernelse, og hvor der er mulighed for at udnytte havvand som magnesiumkilde. Dette er i praksis alene anlæg, der ligger i kystbyer med let adgang til at hente saltholdigt havvand.

ANtallet af potentielle struvitanlæg i Danmark vil være lavere end vist i tabellen. De vigtigste parametre, der påvirker beslutningen om at etablere et struvitanlæg, vurderes at være:

- Markedspris på udvundet struvit, herunder for økologisk anvendelse af struvit.
- Markedspris for magnesiumsalt.
- Evt. lovgivning som påbyder en grad af recirkulering af fosfor fra spildevand.
- Fremtidige begrænsninger i muligheden for at udnytte spildevandslams indhold af fosfor til gødningsformål - herunder krav til organiske mikroforureninger, mikroplast og tungmetaller.

Forsyninger kan typisk have en politik om at fremstå som en ansvarlig og bæredygtig virksomhed, hvor ressourcer så vidt muligt genvindes. I forhold til dette hensyn passer et struvitanlæg som en af de lavthængende frugter, da fosfor-genvindingen er både lokalt recirkuleret og ressourcemæssigt bæredygtig.

Kilder:

Christian Kabbe 2019. Global Compendium on Phosphorus Recovery from Sewage/Sludge/Ash. Kompetenzzentrum Wasser Berlin (Germany) and P-REX® Environment (Germany), Global Water Research Coalition