

Lok.nr. 565-00072

# Indsats overfor jordforurening

Afværgeprogram for afværgeforanstaltninger overfor forureningsfanen fra det tidligere Grindstedværkets fabriksgrund.



Sags nr. 19/4945

Maj 2019

**COWI**

Vestre Stationsvej 7  
5000 Odense C

**Geosyntec**  
consultants



**Region Syddanmark**

Miljø og Råstoffer  
Damhaven 12  
7100 Vejle



MAJ 2019  
REGION SYDDANMARK

# FORURENINGSFANEN FRA DET TIDLIGERE GRIND- STEDVÆRKETS FABRIKS- GRUND

AFVÆRGEPROGRAM FOR AFVÆRGEFORANSTALTNINGER EFTER  
JORDFORURENINGSLOVEN OVERFOR FORURENINGSFANEN FRA  
DET TIDLIGERE GRINDSTEDVÆRKETS FABRIKSGRUND

PROJEKTNR.  
A121940

DOKUMENTNR.  
01

VERSION  
1.0

UDGIVELSESDATO  
29. maj 2019

BESKRIVELSE  
Afværgeprogram

UDARBEJDET  
TJR, AKRA,  
Geosyntec

KONTROLLERET  
KIRU

GODKENDT  
AKRA



# INDHOLD

1	Indledning og formål	5
1.1	Formål	7
2	Sammenfatning af forureningsforhold og konceptuel model	8
2.1	Geologi og hydrogeologi	8
2.2	Hydrauliske parametre	10
2.3	Forureningssituationen	10
3	Valg af fokusstoffer	15
4	Definition af indsatsområde	17
4.1	Dræn	17
5	Indledende screening af afværgemetoder og fravalg af ikke egnede metoder	19
5.1	Indledende screening af metoder til on site-rensning af oppumpet grundvand	20
5.2	Indledende screening af metoder til in situ-afværge af forureningsfane	22
6	Detaljeret screening af renseløsninger til on site-vandbehandling og fravalg af løsninger	25
6.1	Valg af løsninger til detaljeret analyse	26
6.2	Fravalg af løsninger	28
7	Beskrivelse af grundvandsoppumpning	31
7.1	Anlæg til oppumpning	34
8	Beskrivelse af bortskaffelse af rensset vand	35
9	Detaljeret analyse af de valgte løsninger til on site-vandrensning	37
9.1	A: Oppumpning og vandrensning med Sandfilter + Ozon + GAC	38
9.2	B: Oppumpning og vandrensning med Sandfilter, Ozon + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + GAC	40
9.3	C: Oppumpning og vandrensning med Sandfilter, UV + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + GAC	41

9.4	D: Oppumpning og vandrensning med Sandfilter, katalytisk H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> filter + GAC	43
9.5	Økonomisk overslag	44
9.6	Usikkerheder ved etablering af afværge ved nuværende vidensniveau	46
10	Myndighedsgodkendelser	47
11	Beskrivelse af supplerende projekteringsparametre	48
12	Tidsplan	51
13	Sammenfatning og anbefaling til detailprojektering	53
13.1	Anbefaling	55
14	Referencer	56

# BILAG

- Bilag A Tegninger
  - A.1 Oversigtskort med grundvandsfane
  - A.2 Oversigtskort, detailkort ved Svinget 12
  - A.3 Profiler
  
- Bilag B Matrix for udvælgelse af fokusstoffer
  
- Bilag C Indledende screening af rensemetoder til vandbehandling
  
- Bilag D Indledende screening af metoder til in situ-afværge
  
- Bilag E Detaljeret screening af løsninger til vandrensning
  
- Bilag F Beskrivelse af afværgeløsninger
  
- Bilag G Beskrivelse af oppumpning af grundvand/drænvand til vandrensning
  
- Bilag H Beskrivelse af forfiltrering med sandfilter
  
- Bilag I Beskrivelse af efterfiltrering med kulfilter
  
- Bilag J Beskrivelse af forureningssituationen ved tidl. Renseanlæg Vest
  
- Bilag K Tidsplan





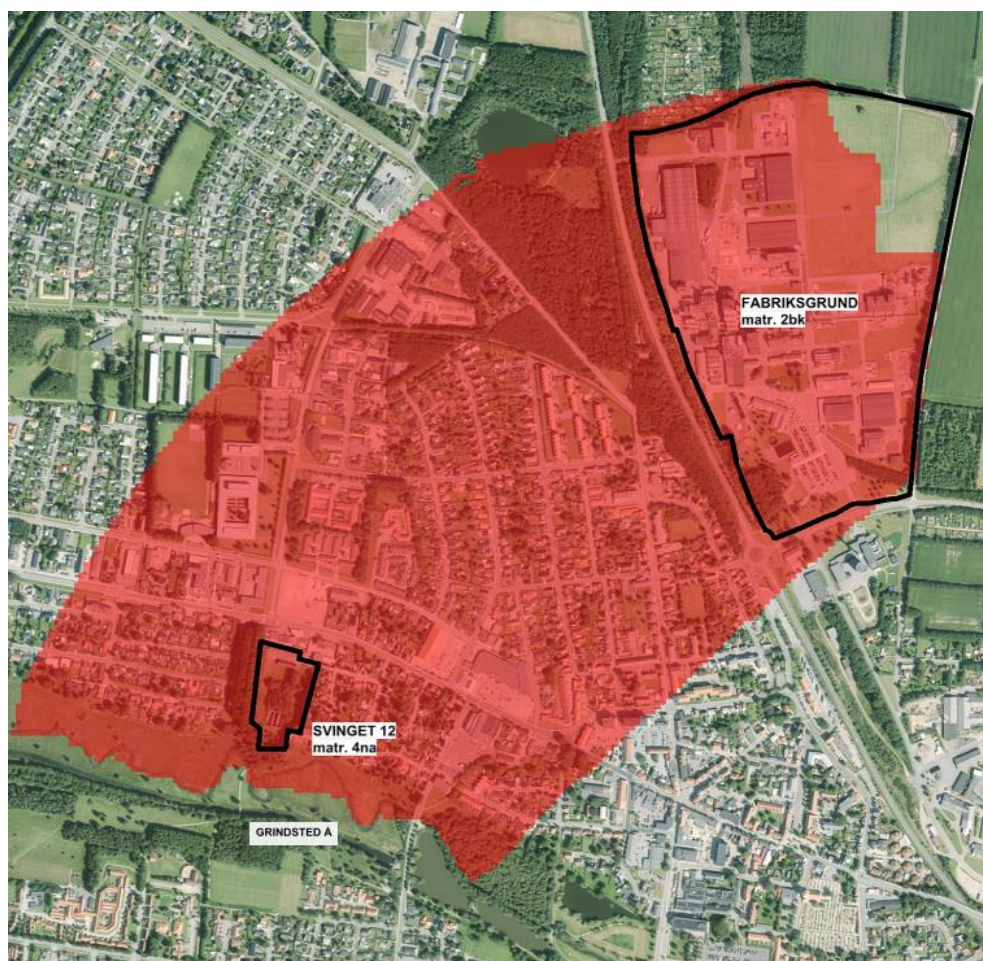
# 1 Indledning og formål

I/S Grindstedværket blev grundlagt i 1924, og der har gennem tiden været anvendt og opbevaret enorme mængder kemikalier på fabriksgrunden. Spild har medført en forurening af fabriksgrunden og grundvandet herunder.

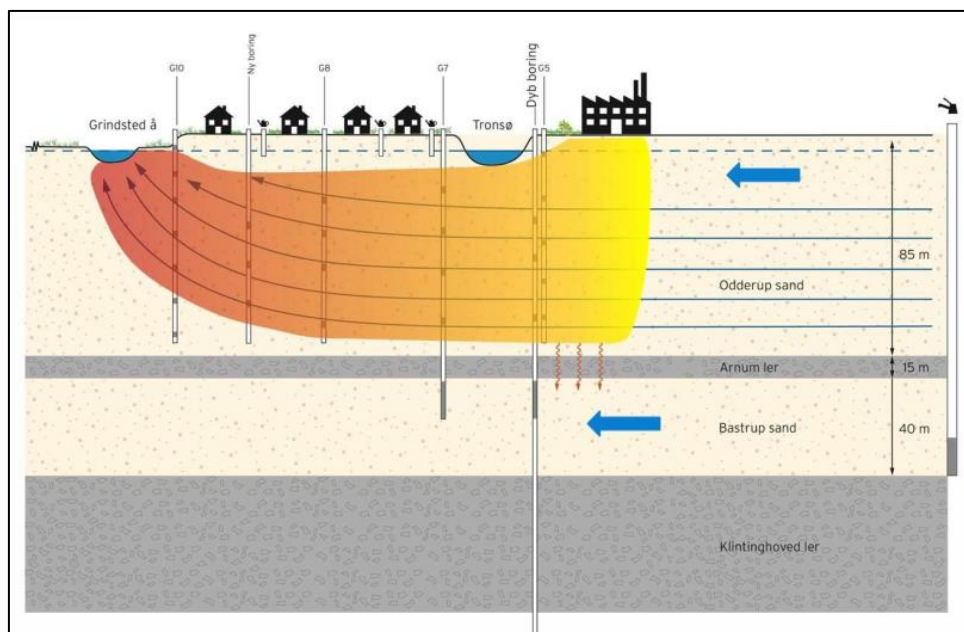
Det forurenede grundvand strømmer fra kildegrunden mod sydvest mod Grindsted Å. Undervejs når forureningen til en dybde af ca. 70 m under terræn, inden den stiger op mod terræn og strømmer ud i Grindsted Å.

En stor del af forureningen strømmer ud i åen nedstrøms tidl. Renseanlæg Vest, Svinget 12, 7200 Grindsted /1/.

Beliggenheden af fabriksgrunden og tidl. Renseanlæg Vest kan ses på Figur 1-1, mens en konceptuel model for forureningens spredning i grundvandet kan ses på Figur 1-2.



Figur 1-1 Modelleret udbredelse af forureningsfanen i det øverste grundvand fra fabriksgrunden mod Grindsted Å. Kortet er vedlagt i stort format i Bilag A.1.



Figur 1-2 Konceptuel model af forureningens spredning i grundvandet fra fabriksgrunden til Grindsted Å, fra /1/.

Region Syddanmark har besluttet at igangsætte en udredning af mulighederne for at reducere påvirkningen af Grindsted Å. Helt konkret er det tanken at etablere et midlertidigt anlæg til rensning af grundvand på Renseanlæg Vest-grunden /1/.

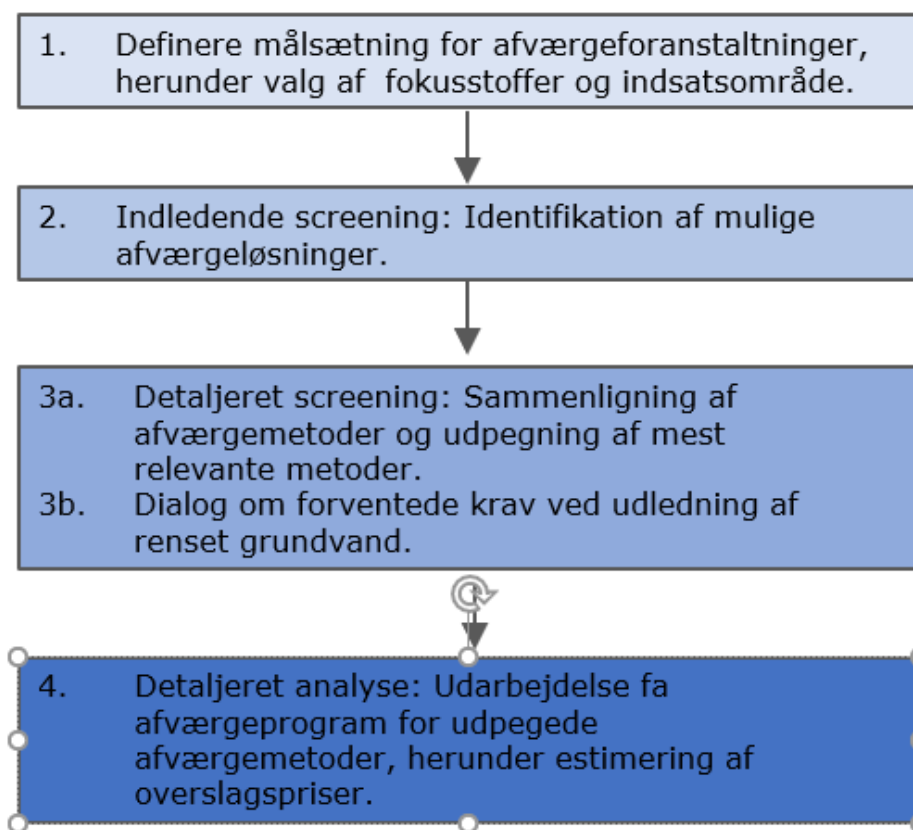
Opgaven er opdelt i 4 faser:

- > Fase 1 er udarbejdelsen af et afværgeprogram med beskrivelse og vurdering af mindst to løsningsmuligheder.
- > Fase 2 er udarbejdelse af detailprojekt og udbudsmateriale for den valgte afværgeløsning, eventuelle supplerende undersøgelser og laboratorieforsøg samt indhentning af miljøtilladelser.
- > Fase 3 omfatter tilsyn i forbindelse med etablering af det valgte afværgeanlæg samt opstart og indkøring af dette.
- > Fase 4 omfatter første års drift af anlægget.

Denne rapport omhandler fase 1, udarbejdelse af afværgeprogram.

Udpegning af afværgeløsninger

Ved udpegning af afværgeløsninger er der udført en successiv proces jf. nedenstående procesdiagram:



Efter en beskrivelse af formålet med afværgeforanstaltningerne er forureningssituationen ved Renseanlæg Vest-grunden, Svinget 12, beskrevet i afsnit 2.3 og mere detaljeret i Bilag J, mens valg af fokusstoffer og indsatsområde er beskrevet i hhv. afsnit 3 og 4. Den indledende screening af rensemetoder er beskrevet i afsnit 5, mens den detaljerede screening er beskrevet i afsnit 6.

## 1.1 Formål

En stor del af forureningen fra fabriksgrunden strømmer som nævnt ud i Grindsted Å ved tidl. Renseanlæg Vest. Formålet, og dermed målsætningen med afværgeanlægget, er væsentligt at reducere udsivningen af denne del af forureningen fra fabriksgrunden til Grindsted Å, med fokus på fjernelse af så meget forureningsmasse som muligt /1/.

Anlægget skal placeres på Svinget 12, matr.nr. 4a, Grindsted By, Grindsted, der ligger centralt i den modellerede udbredelse af forureningsfanen i det øverste grundvand fra fabriksgrunden, se Figur 1-1.

## 2 Sammenfatning af forureningsforhold og konceptuel model

### 2.1 Geologi og hydrogeologi

Den overordnede konceptuelle model for området mellem fabriksgrunden og Grindsted Å er vist på Figur 1-2, mens profilsnit gennem området ved Renseanlæg Vest fremgår af de geologiske profiler vedlagt i Bilag A.3 samt Figur 2-2 og Figur 2-3.

#### 2.1.1 Geologiske og hydrogeologiske forhold

I den overordnede konceptuelle model ses øverst et ca. 85 m tykt grundvandsmagasin, som primært består af tertiært kvartssand (Odderup sand), øverst findes dog 15-20 m kvartært sand.

#### Geologi

Lokalt ved Renseanlæg Vest er der etableret en række borer, hvoraf de dybeste viser følgende geologi:

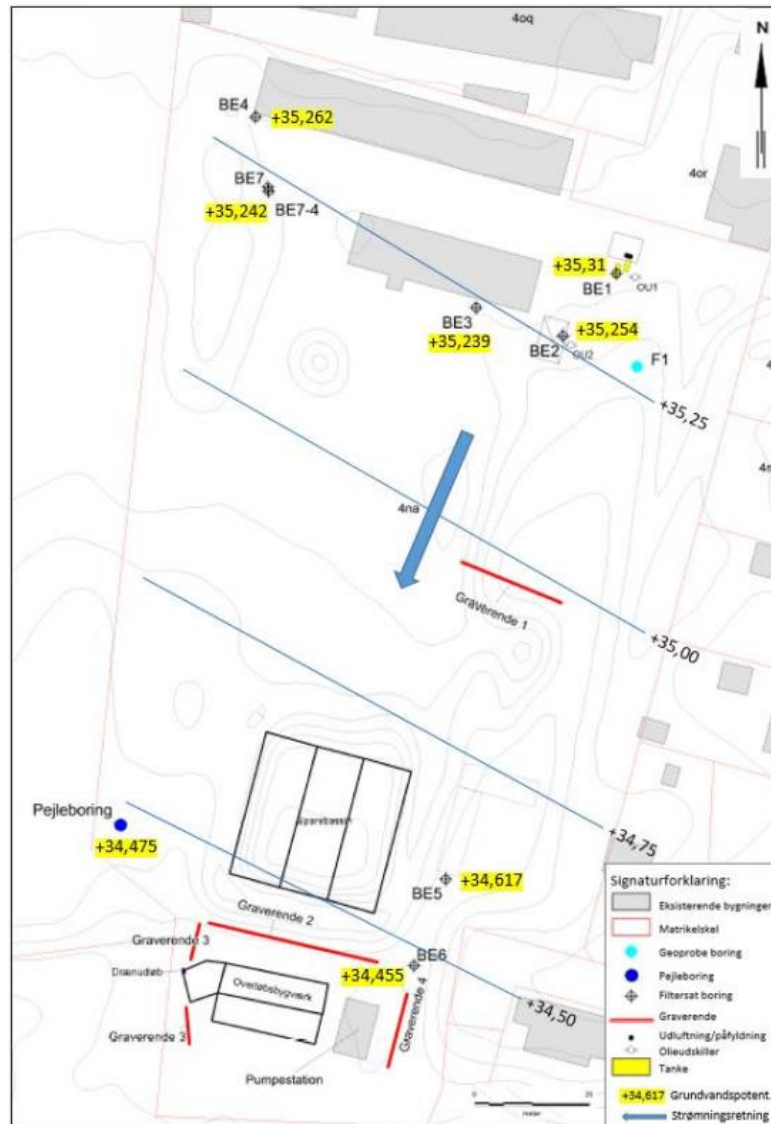
- > DGU 114.1448 er 73 m dyb. Boreprofilen viser smeltevandssand (mest mellemkornet) til 51,1 m u.t., dog er jordprøverne angivet som glimmerholdige fra 19,55 m u.t., og overgangen til tertiære lag kunne dermed godt ligge i denne dybde. Der er registreret mindre lag af moræneler mellem 10 og 12,95 m u.t. Fra 51,1 til 52 m u.t. er der registreret glimmerler og herunder primært glimmersand og kvartssand (mest mellem) til boringens slutdybde.
- > DGU 114.2507 er 29,5 m dyb. Boreprofilen viser glacialt smeltevandssand til 11,5 m u.t., dog med morænesand fra 7,5 til 9,5 m u.t. Fra 11,5 til 14,5 m u.t. findes brunkul og herunder findes kvartssand (fint-mellem eller mellem) til 24,5 m u.t. Mellem 24,5 og 26,7 m u.t. findes mindre lag af glimmerler, inden der er kvartssand (mellem-groft) til boringens slutdybde.
- > DGU 114.2568 (BE7) er 25 m dyb. Jordlagene er typisk beskrevet som sand (fint), dog er de beskrevet som lerede fra 12,5 til 14,5 m u.t. og indeholdende brunkulsstykker fra 14,5 til 16,8 m u.t.

Boringsoplysningerne bekræfter generelt den overordnede konceptuelle model, dog ses der flere steder i det store sandmagasin lerede aflejringer på op til et par meters mægtighed. Baseret på disse mere lavpermeable lag må der forventes en høj grad af vertikal anisotropi i magasinet.

#### Hydrogeologi

Baseret på data fra en synkronpejlerunde udført 10.10.2016 på Svinget 12 /7/ er der tidligere optegnet et potentialekort for det øverste grundvand, som ligger ca. 1-3 meter under terræn. Kortet er vist i Figur 2-1.

Terrænkoten ved Svinget 12 er ca. 38 m på den nordlige del af grunden og fallende mod Grindsted Å. I BE6 (114.2567) er terrænkoten 35,4 mens den i 114.1448 er 36 m.



Figur 2-1 Potentialekort baseret på pejlerunde i 2016. Figur fra /7/.

Gradienten på grundvandsspejlet vurderes ud fra potentialekortet i /7/ at være ca. 6.5 ‰. Potentialekortet, der er baseret på et begrænset antal data, viser en gradient rettet mod Grindsted Å. Det bemærkes at de nedstrøms pejlinger formentlig er påvirket af drænet.

To af boringerne på grunden er udstyret med filtre i flere dybder:

- > DGU 114.2568 (BE7) på den nordvestlige del af grunden. Der er et opadrettet tryk, idet der ses et ca. 0,3 m lavere grundvandspotentiale over det lerede jordlag observeret 12,5 til 14,5 m ut. sammenholdt med trykket under det lerede lag, /7/.
- > DGU 114.2567 (BE6) på den sydøstlige del af grunden. Der ses opadrettet tryk mellem de to nederste filtre, der er ikke beskrevet lerede jordlag i boringen. Trykforskellen er ca. 1,1 m. Trykniveauet i de øvre filtre kan evt. være påvirket af drænet.

- > DGU 114.1448 syd for grunden. Der er et opadrettet tryk mellem alle filtre. Der er ægte artesisk tryk (dvs. trykniveau over terræn) i alle filtre placeret dybere end lagene af moræneler og smeltevandsler beliggende 10-15 m ut. Der er ca. 1,3 m trykforskel over lagene af moræneler og smeltevandsler, og der er ca. 0,2 m trykforskel mellem to filtre placeret hhv. 21-22 og 33-34 m ut.

De observerede trykforskelle viser, at de lerede jordlag må være ganske lavpermeable, når der kan opbygges så store trykforskelle, ligesom data fra boring 114.1448 viser, at der internt i sandlagene også må findes mere lavpermeable horisonter, som bremser den vertikale strømning.

Generelt er både geologi og potentialeforhold på grunden kun sparsomt beskrevet, og det anbefales derfor at disse undersøges nærmere ved forundersøgelser inden udførelse af afværgeforanstaltninger.

## 2.2 Hydrauliske parametre

DTU har udført en række hydrauliske undersøgelser i området omkring Grindsted Å. I /11/ er der bl.a. omtalt slugtest af 78 filtre.

I en grundvandsmodel for Grindsted opstillet af Alectia, /10/, er den hydrauliske ledningsevne for øvre og nedre kvartære sandlag samt Odderup sand kalibreret til hhv.  $3,7 \cdot 10^{-4}$ ,  $1,3 \cdot 10^{-4}$  og  $1,4 \cdot 10^{-4}$  m/s.

En detaljeret grundvandsmodel er ligeledes opstillet af DTU, /11/. I denne er angivet en hydraulisk ledningsevne for sandlagene på  $1,8 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Baseret på de opstillede grundvandsmodeller er bedste bud på en hydraulisk ledningsevne i de kvartære og tertiære sandlag hhv.  $2 \cdot 10^{-4}$  og  $1,4 \cdot 10^{-4}$  m/s. Disse værdier stemmer godt overens med erfaringsværdier for de observerede kornstørrelser.

## 2.3 Forureningssituationen

Ejendommen Svinget 12 har tidligere har været anvendt som kommunalt renseanlæg og anvendes i dag delvist som materielgård og pumpestation med opholds-bassiner for Billund Vand & Energi. Undersøgelser har vist, at driften af renseanlægget og materialegården ikke har medført væsentlig forurening af jord eller grundvand /7/.

Undersøgelser har desuden vist, at den kraftigste forureningsfane fra fabriksgrunden er at finde under og omkring Renseanlæg Vest, og at den herfra strømmer videre ud i Grindsted Å.

Forureningssituationen i grundvandet ved tidl. Renseanlæg Vest er beskrevet i Bilag J og er kort opsummeret her.

### 2.3.1 Grundvand

Forureningsfanen i grundvandet indeholder høje koncentrationer af klorerede opløsningsmidler samt nedbrydningsprodukter heraf, herunder særligt vinylklorid og *cis*-1,2-diklorethen (*cis*-1,2-DCE). De højeste koncentrationer af klorerede opløsningsmidler på tidl. Renseanlæg Vest ses fra ca. 8-10 m u.t. og er ikke afgrænset i dybden. Indholdet af klorerede opløsningsmidler udgøres overvejende af nedbrydningsprodukterne vinylklorid og *cis*-1,2-DCE. Der er påvist indhold af vinylklorid på op til 6.800 µg/l og indhold af *cis*-1,2-DCE på op til 1.900 µg/l.

Forureningsfanen indeholder også høje koncentrationer af de såkaldte Grindstedstoffer. "Grindstedstoffer" er stoffer med en entydig relation til Grindstedværkets produktion, primært farmaceutiske stoffer. Der er ved undersøgelserne analyseret for en lang række af stoffer, herunder Grindstedpakke A-D. De højeste koncentrationer af Grindstedstoffer udgøres af ethylcarbammat (anvendes bl.a. ved fremstilling af lægemidler), sulfonamider (antibiotika) og barbiturater (sove-midler).

De højeste koncentrationer af Grindstedstoffer på tidl. Renseanlæg Vest, Svinget 12 ses fra ca. 8 meter under terræn (m u.t.). Indholdet udgøres særligt af ethylcarbammat, meprobamat, barbiturater og sulfonamider og er ikke afgrænset i dybden. Der er påvist indhold af Grindstedstoffer (sum) på op til 14.926 µg/l.

Endelig ses også væsentlige indhold af olie- og benzinstoffer. De højeste indhold af olie- og benzinstoffer udgøres af benzen og ses omkring 11-12 m u.t. Der er påvist indhold af benzen på op til 1.300 µg/l.

De maksimalt påviste indhold af Grindstedstoffer, *cis*-1,2-DCE, vinylklorid og benzen er opstillet i Tabel 2-1 med angivelse af boring og filterniveau.

Tabel 2-1 Maksimalt påvist indhold af udvalgte forureningskomponenter i grundvandet ved Svinget 12, Grindsted. Fed markering angiver det maksimalt påvist indhold og filter-niveau herfor.

	BORING MED MAX. INDHOLD	KONCENTRATION (µG/L)	FILTER- NIVEAU (M U.T.)	RISIKOSCORE FOR OVERFLADEVAND, JF. AFSNIT 3 /8/
<b>Klorede opløsningsmidler</b>				
cis-1,2-DCE	114.2568	0,25 1.200 <b>1.900</b> 1.500	4-6 12-14 <b>18-20</b> 23-25	80
Vinylklorid (VC)	F1 (Geoprobe)	2,9 890 <b>6.800</b> 3.100	4-5 11-12 <b>19-20</b> 24-25	87
<b>Oliestoffer</b>				
Benzen	F1 (Geoprobe)	9 <b>1.300</b> 570 690	4-5 <b>11-12</b> 19-20 24-25	93
<b>Grindstedstoffer</b>				
Allobarbitol	114.2568	0,19 <b>270</b> 110 52	4-6 <b>12-14</b> 18-20 23-25	81
Butabarbitol	F1 (Geoprobe)	0,13 <b>140</b> 10 12	4-5 <b>11-12</b> 19-20 24-25	95
Ethylcarbammat	114.2567	<0,1 5.700 <b>14.000</b>	3-5 8-10 <b>13-15</b>	65
Meprobamat	114.2567	14 <b>720</b> 200	3-5 <b>8-10</b> 13-15	90
Pentobarbitol	114.2567	5,5 <b>160</b> 35	3-5 <b>8-10</b> 13-15	91
Sulfaguandine	114.2568	0,052 300 <b>380</b> 250	4-6 12-14 <b>18-20</b> 23-25	95
Sulfadimidin	F1 (Geoprobe)	0,32 2,5 <b>460</b> 350	4-5 11-12 <b>19-20</b> 24-25	75
Sulfanilamid	114.2568	0,33 <b>750</b> 320 250	4-6 <b>12-14</b> 18-20 23-25	95
Sum Grindsted- stoffer (pakke A-D)	114.2567	298 7.196 <b>14.926</b>	3-5 8-10 <b>13-15</b>	-



### 2.3.2 Drænvand

På den sydlige del af Renseanlæg Vest findes et overløbsbygværk, som tilledes drænvand fra to drænrør med indløb i hhv. den nordlige og den sydlige ende af overløbsbygværket. Der er bl.a. i forbindelse med undersøgelserne i /7/ udtaget en prøve af drænvandet i det nordlige tilløb. Her blev der påvist indhold af vinylklorid og *cis*-1,2-DCE på hhv. 580 og 340 µg/l, indhold af Grindstedstoffer (sum) på 464 µg/l og indhold af benzen på 120 µg/l.

Mellem 2014 og 2019 har både Billund Vand og Energi og DTU udtaget vandprøver fra det nordlige dræn til analyse for indhold af vinylklorid. Her blev der påvist indhold på 300-1.917 µg/l /16/.

### 2.3.3 Overfladevand

Forureningsfanen strømmer, som tidligere nævnt, ud i Grindsted Å.

Der er i Grindsted Å umiddelbart nedstrøms Renseanlæg Vest påvist indhold af vinylklorid på op til ca. 21 µg/l med et gennemsnitligt indhold på ca. 2,2 µg/l /9/.

Der er påvist indhold af *cis*-1,2-DCE på op til ca. 43 µg/l med et gennemsnitligt indhold på ca. 4,4 µg/l /9/.

Der er påvist indhold af Grindstedstoffer på op til ca. 78 µg/l med et gennemsnitligt indhold på ca. 25 µg/l /9/. Indholdet er bestemt som summen af indhold af sulfanilsyre, sulfonamider og barbiturater.

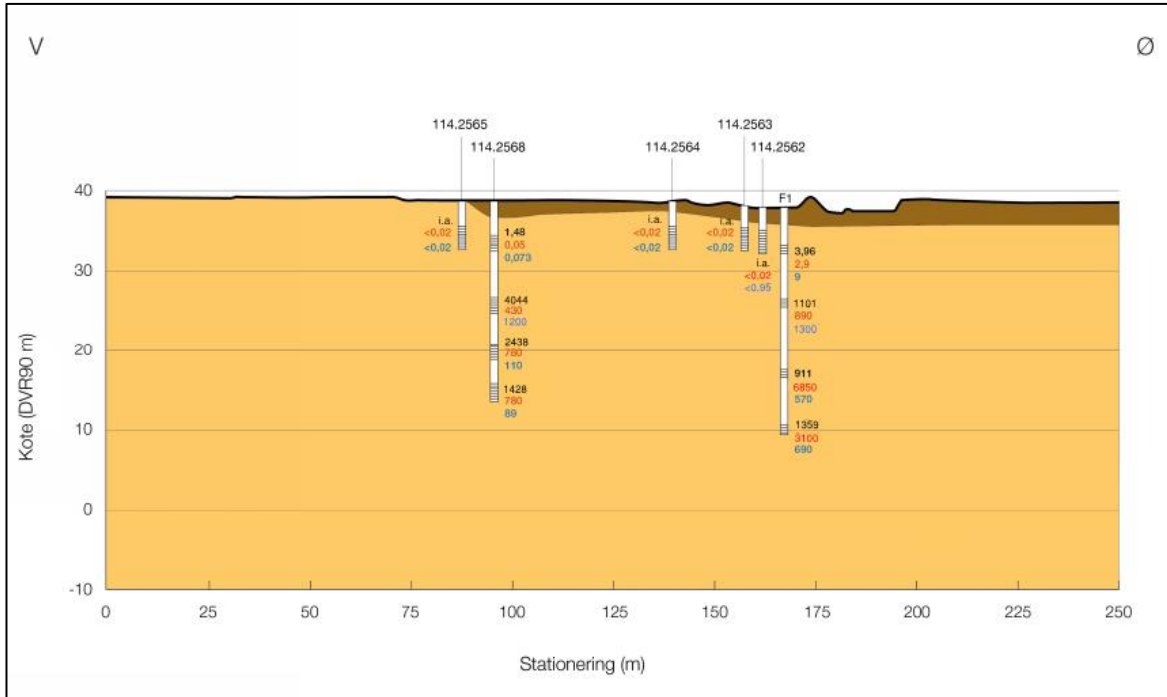
### 2.3.4 Sammenfatning, forureningsssituation

De udførte undersøgelser indikerer, at forureningsfanen generelt kommer tættere på terræn jo nærmere man kommer åen, hvilket stemmer godt overens med den konceptuelle models beskrivelse af fanen, Figur 1-2.

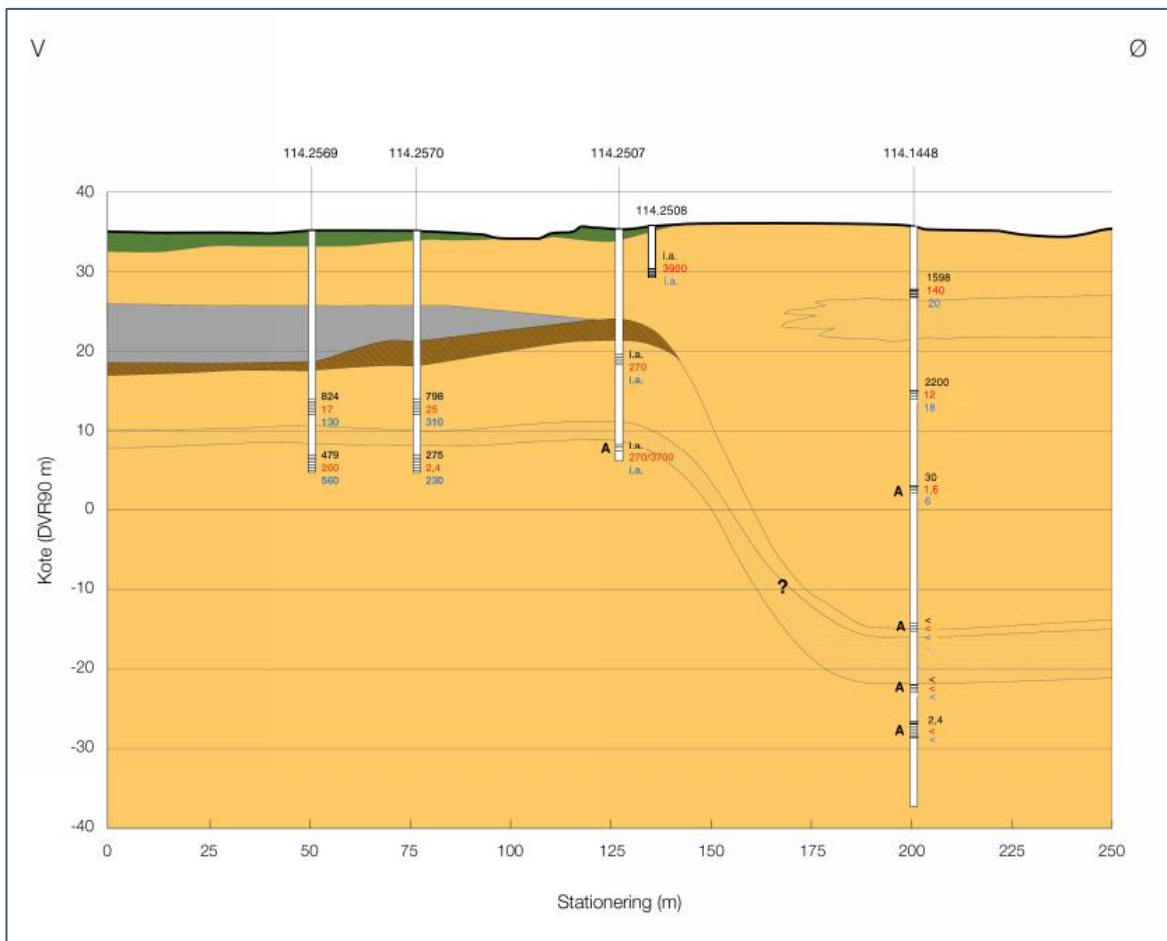
Der er udarbejdet 2 profiler/tværsnit med angivelse af forureningsniveauet for Grindstedstoffer, vinylklorid og benzen. Et profil ca. 200 meter nord for åen (Geologisk profil, nord), og et profil umiddelbart nord for åen (Geologisk profil, syd). Placeringen af profilerne kan ses i Bilag J og profilsnittene på Figur 2-2 og Figur 2-3.

Som det fremgår af profilsnittene, træffes den kraftigste forurening ved det nordlige profilsnit fra omkring kote 25 m (ca. 12 m u.t.), mens den ved det sydlige profilsnit træffes omkring kote 30 (5 m u.t.), og dermed nærmere ved terræn. Forureningen er ikke afgrænset vertikalt. Ved det nordlige profilsnit er forureningen tilnærmelsesvist afgrænset mod terræn, mens dette ikke er tilfældet ved det sydlige profilsnit.

Det bemærkes generelt, at der ikke er udført tilstrækkeligt med boringer til at fanens udbredelse kan beskrives nærmere, og at de nævnte vertikale udbredelser derfor alene er et groft skøn.



Figur 2-2 Geologisk profil, nord, udsnit af Bilag A.3. Sorte tal angiver koncentrationen af sum af Grindstedstoffer, røde tal koncentrationen af vinylchlorid, mens blå tal angiver koncentrationen af benzen.



Figur 2-3 Geologisk profil, syd, udsnit af Bilag A.3. Sorte tal angiver koncentrationen af sum af Grindstedstoffer, røde tal koncentrationen af vinylchlorid, mens blå tal angiver koncentrationen af benzen.

### 3 Valg af fokusstoffer

Det er af afgørende betydning for valg af rensemetode, hvilke forureningskomponenter (herefter kaldet fokusstoffer), der skal renses for, og hvilken rensningsgrad der ønskes.

Da formålet med oprensningen er at reducere påvirkningen af Grindsted Å, er der ved udvælgelse af fokusstoffer taget hensyn til de målte koncentrationer i grundvandet under Renseanlæg Vest grunden og de målte koncentrationer i åen, samt den risiko de påviste stoffer vurderes at kunne udgøre for åen.

For de klorerede opløsningsmidler og olie- og benzinstofferne er grundlaget for udvælgelse af fokusstoffer godt, mens det for Grindstedstofferne er mere sparsomt, da viden om risikoen overfor overfladevand er begrænset, og da der mangler kvalitetskriterier for flere af stofferne.

Ved udvælgelsen er der taget udgangspunkt i en redegørelse fra 2009 over anvendte kemikalier på Grindstedværket og deres potentielle trussel i forhold til miljøet /8/. Af denne fremgår, at der på Grindstedværket har været anvendt 1.160 forskellige kemiske stoffer og produkter. Ud af disse er 414 stoffer/produkter vurderet potentielt at kunne udgøre en risiko overfor overfladevand, heraf er godt 300 anvendt på fabriksgrunden.

Ved vurdering af risikoen overfor overfladevand er stofferne i /8/ blevet tildelt en score på 0-100 point på baggrund af viden om toksikologi (giftighed), fysisk-kemiske egenskaber, anvendelse og nedbrydelighed. Jo højere score desto højere risiko. Det bemærkes, at risikovurderingen for en række stoffer er foretaget på et begrænset antal data/8/.

Ved udvælgelse af stoffer, er der i /8/ primært set på stoffer med en høj risikoscore, defineret som > 70 point. Da toksikologi, fysisk-kemiske egenskaber og bionedbrydelighed maksimalt kan udgøre 70 point, har stoffer med en score over 70 haft en betydelig eller stor anvendelse for at nå en score over 70 /8/. I alt 186 stoffer fra fabriksgrunden er tildelt en score >70 point i forhold til overfladevand. Det bemærkes i den forbindelse af ethylcarbammat, som er påvist i væsentlige koncentrationer ved tidl. Renseanlæg Vest, kun har en score på 65. Stoffet er imidlertid medtaget, da det er fundet i høje koncentrationer og er mistænkt for at være kræftfremkaldende.

I /8/ er der opstillet analyseprogrammer for de mest miljøfarlige stoffer, som samtidig er anvendt i store mængder på Grindstedværket. Af opstillingen og beskrivelsen af analysemetoder fremgår, at der for mange analyseparametre skal udføres specialanalyser eller at analysemetoder endnu ikke er udviklet eller afprøvet.

På baggrund af arbejdet i /8/ anvender regionen i alt 4 forskellige analysepakker for Grindstedstofferne (pakke A-D). Det er disse 4 analysepakker, der er anvendt ved undersøgelser på Renseanlæg Vest-grunden /7/.

Ved gennemgangen af vidensgrundlaget ved Renseanlæg Vest grunden er der taget udgangspunkt i de udførte undersøgelser på og omkring grunden. Udvalgte analyseresultater er opstillet i skemaet vedlagt i Bilag B, hvor de målte indhold af de enkelte stoffer er sammenholdt med grænseværdier for overfladevand og med den opnåede risikoscore i /8/.

På overstående baggrund er det i samråd med Region Syddanmark besluttet, at såvel klorerede opløsningsmidler, herunder særligt vinylklorid, benzen og Grindstedstoffer, som har en risikoscore for overfladevand >70 eller er påvist i høje koncentrationer er fokusstoffer for de kommende afværgeforanstaltninger. De målte indhold af disse stoffer i grundvandet er i Tabel 3-1 sammenholdt med kvalitetskrav (grænseværdier) for overfladevand.

Tabel 3-1 Målte koncentrationer i grundvandet ved Renseanlæg Vest-grunden sammenholdt med kvalitetskrav for overfladevand.

FOKUSSTOF	MAX. MÅLT I GRUNDVAND VED RENSEANLÆG VEST-GRUNDEN (µG/L)	GENERELT KVALITETSKRAV OVERFLADEVAND <sup>1</sup> (µG/L)	MAX. KONCENTRATION, OVERFLADEVAND <sup>2</sup> (µG/L)
<b>Klorerede opløsningsmidler</b>			
Tetrachlorethen (PCE)	120	10	Anvendes ikke
Trichlorethen (TCE)	76	10	Anvendes ikke
cCis-1,2-DCE	1.900	6,8	68
Vinylklorid	6.800	0,05	0,5
<b>Olief- og benzinstoffer</b>			
Benzen	1.300	10	50
<b>Grindstedstoffer</b>			
Ethylcarbammat	14.000	Ikke fastsat	Ikke fastsat
Meprobamat	720	Ikke fastsat	Ikke fastsat
Sulfonamider (sum)	2.148 <sup>6</sup>	4,6 <sup>3</sup>	14 <sup>3</sup>
Sulfanilsyre	9,4	280 <sup>5</sup>	
Barbiturater, sum	691 <sup>4</sup>	70 <sup>12/</sup>	500 <sup>12/</sup>

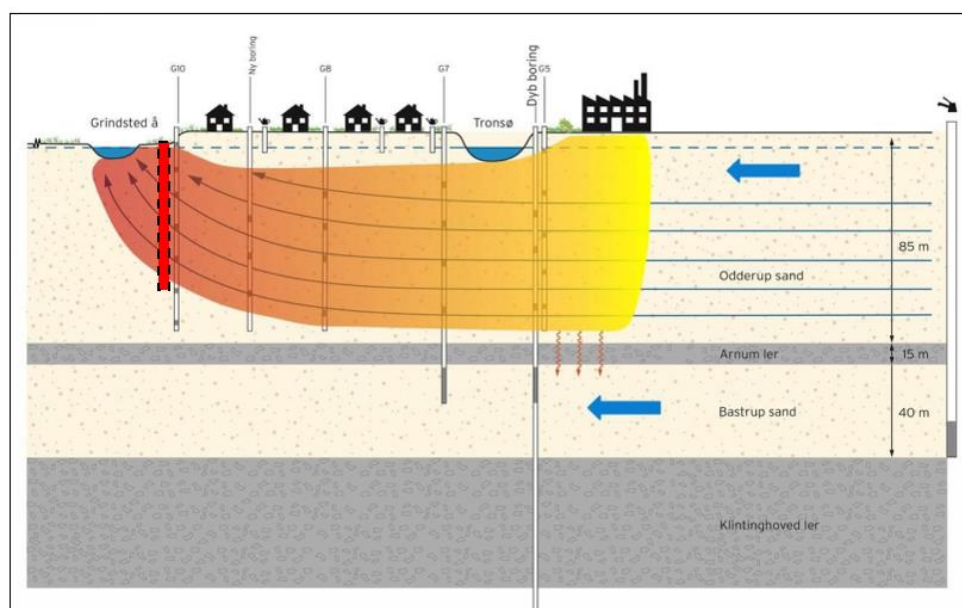
<sup>1</sup>Generelt miljøkvalitetskrav udtrykt som årsgennemsnit /2/. <sup>2</sup>Miljøkvalitetskrav udtrykt som højst tilladelige koncentration /2/. <sup>3</sup>Kriteriet er gældende for sulfadiazin. <sup>4</sup>Her angivet som sum af 5-Butylbarbiturat, Allobarbitat, allyl-n-butylbarbiturat, Amobarbitat, Barbitat, Butabarbitat, Butobarbitat. <sup>5</sup>Forslag gældende for saltvand /9/.

<sup>6</sup>Her angivet som sum af Sulfacetamid, Sulfaguanidin, Sulfamerazin, Sulfapyridin, Sulfamethiazol, Sulfadimidin, Sulfanilamid, Sulfanilylurinstof og Sulfathiazol.

## 4 Definition af indsatsområde

Det er i udbudsmaterialet /1/ defineret, at afværganlægget skal kunne behandle 5-10 m<sup>3</sup> grundvand pr. time med fokus på fjernelse af så meget forureningsmasse som muligt. Herudover er det defineret, at afværganlægget med tilhørende installationer skal placeres på Renseanlæg Vest- grunden, evt. kan boringer placeres på et kommunalt areal mod vest, matr.nr. 4 na Grindsted By Grindsted.

Princippet for placeringen af afvægeforanstaltningerne er groft skitseret på den konceptuelle model i Figur 4-1, hvor barrieren angivet med rødt repræsenterer en afvægeløsning, som væsentligt reducerer fluxen af forureningskomponenter fra grundvandet til Grindsted Å.



Figur 4-1 *Princip for placering af afvægeløsning på den overordnede konceptuelle model for området mellem fabriksgrunden og Grindsted Å. Den røde stiplede linje viser muligt indsatsområde for afskæringsløsning.*

### 4.1 Dræn

Som det fremgår af afsnit 2.3.2, går der to dræn fra overløbsbygværket på den sydlige del af Renseanlæg Vest- grunden til Grindsted Å.

DTU har bestemt vandmængden i det nordlige dræn til 60 l/min, og flowet i det sydlige dræn antages at være det samme. Dvs. et samlet flow i de to drænrør på 120 l/min = 7,2 m<sup>3</sup>/t. Billund Vand har vurderet/målt flowet til 1,5 m<sup>3</sup>/t. Ved Renseanlæg Vest-undersøgelsen /7/ blev flowet i det nordlige dræn målt til 40 l/min. Hvis vi også her antager, at der er samme flow i det sydlige dræn, giver det et samlet flow på 4,8 m<sup>3</sup>/t. Det vil sige, at flowet er bestemt til mellem 1,5 og 7,2 m<sup>3</sup>/t med et gennemsnit på 4,5 m<sup>3</sup>/t.

Indholdet af vinylklorid i det nordlige dræn er i /7/ målt til 580 µg/l. Billund Vand og Energi og DTU har målt indhold af vinylklorid i det nordlige dræn i 2014 og 2019 med indhold på 300-1.917 µg/l.

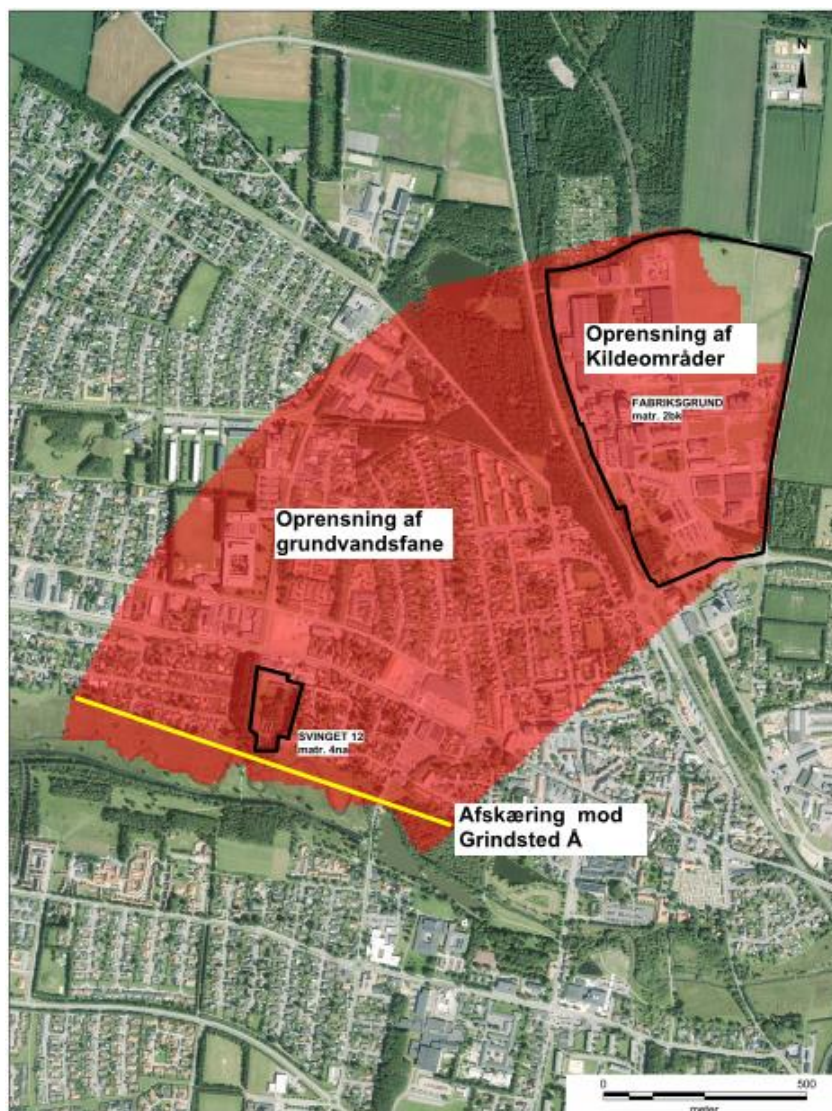
Hvis det i runde tal antages, at det gennemsnitlige indhold af vinylklorid i det nordlige dræn er 500-1.000 µg/l, at der er samme koncentration det sydlige dræn og der regnes med et samlet flow på 4,5 m<sup>3</sup>/t, fås en flux af vinylklorid fra drænet på i størrelsesordenen 20-40 kg/år. Det er således en væsentlig masse og det anbefales derfor, at en del af afværgeforanstaltningerne består af en direkte opsamling af vand fra drænet. Drænvand vil således udgøre knap halvdelen af afværgeanlæggets samlede kapacitet (samlet 10 m<sup>3</sup>/t).

## 5 Indledende screening af afværgemetoder og fravalg af ikke egnede metoder

En oprensning af forureningen fra det tidligere Grindstedværkets fabriksgrund kan principielt ske ved følgende afværgestrategier:

- 1 Oprensning af kildeområder (områder på selve den tidligere fabriksgrund).
- 2 Afskæring af forurening tæt på Grindsted Å, således at udsivning af forurening til åen mindskes.
- 3 Oprensning af selve grundvandsfanen, hvor hele grundvandsfanen er indsatsområde for oprensning.

Princip af ovenstående strategier er vist på Figur 5-1. Dette projekt er, jf. udbudsmaterialet /1/ afgrænset til alene at vurdere mulige afskæringsløsninger mod forurening af Grindsted Å.



Figur 5-1 Princip af afværgestrategier. Den røde farve viser grundvandsfanens estimerede udbredelse.

## Afskæringsløsninger

En afskæringsløsning af forureningsfanen kan principielt håndteres ved nedenstående strategier, således at forureningspåvirkningen af Grindsted Å reduceres:

- > Oppumpning af grundvand og drænvand og on site-rensning. Her oppumpes drænvand og forurenede grundvand tæt på åen, og det forurenede vand renses i et overjordisk behandlingsanlæg. Det rensede vand udledes til Grindsted Å, reinfiltreres/nedsives til grundvandszonen eller ledes til det offentlige kloaksystem.
- > In situ-afværgen af grundvand. Her renses grundvandsforureningen nede i selve grundvandsmagasinet. Det rensede grundvand strømmer naturligt videre nede i grundvandsmagasinet og senere op i Grindsted Å.

Ovenstående 2 afværgestrategier for afskæringsløsninger behandles nærmere i dette afsnit.

Der er i de følgende afsnit gennemført en indledende screening af afværgeteknologier som potentielt kan anvendes til afværgen af forureningsfanen fra Grindstedværket. Den indledende screening er gennemført for henholdsvis on site-behandling af oppumpet grundvand og in situ-afværgen.

Hovedformålet med den indledende screening er at fravælge metoder, som ikke vurderes at være relevante som afskæringsløsning.

## 5.1 Indledende screening af metoder til on site-rensning af oppumpet grundvand

Bilag C viser resultatet af den indledende screening af on site-rensning af grundvand. På baggrund af den indledende screening udpeges metoder som belyses nærmere i en detaljeret screening. Referencer som vores vurdering bygger på, fremgår af Bilag C.

De enkelte metoder er vurderet mht.:

- > Renseeffektivitet over for stofgrupper.
- > Anvendelse som "Primær" eller "Supplerende" metode: "Primær" metode defineres som metode, der potentielt helt eller delvis kan rense forureningskomponenterne, som findes i det oppumpede grundvand. "Supplerende" metode defineres som metode, der ikke kan rense alle forureningskomponenterne i det oppumpede grundvand, men som med fordel kan anvendes i kombination med den "Primære" metode.
- > Erfaring med metoden (metodens modenhed).

Ved udvælgelse af metoder til den detaljerede screening er der lagt vægt på, at metoden er en afprøvet metode, samt at metoden potentielt helt eller delvist kan rense de specifikke forureningskomponenter i det oppumpede grundvand ("Primære metode"). Desuden er der også udvalgt metoder, som kan anvendes i



kombination med de "Primære metoder" (til forrensning og/eller efterbehandling).

Tabel 5-1 viser de metoder, som er udpeget til at indgå i den detaljerede screening. Følgende fremgår af tabellen:

- > Det er kun AOP-metoderne (Avancerede oxidationsprocesser) samt SCWO-metode (Super Critical Water Oxidation) metoden, der vurderes at kunne nedbryde alle de organiske forureningskomponenter i det oppumpede grundvand
- > Aktivt kul (GAC, granulated activated carbon) er i første omgang medtaget som en potentiel "Primær" teknik. Aktivt kul vurderes dog mindre effektiv til at tilbageholde farmaceutiske stoffer, i det følgende kaldt farmastoffer samt nedbrydningsprodukter af klorerede opløsningsmidler. Metodens potentiale er derfor størst som en supplerende teknik
- > Biologisk nedbrydning med bioreaktor er fravalgt, da metoden ikke vurderes cost-effektiv til nedbrydning af farmastoffer.

Tabel 5-1 Metoder som er udpeget til at indgå i den detaljerede screening. <sup>1</sup>Greensand-metoden er nærmere beskrevet i Bilag H.

METODE (VANDRENSNING)	KORT METODEBESKRIVELSE	INDLEDENDE VURDERING	ANVENDELSE
ILTNING AF GRUNDVAND OG FILTRERING Gennem SANDFILTER	Det oppumpede vand iltes og ledes gennem sandfilter (med sand eller "Greensand" <sup>1</sup> ), hvor mangan og jern fjernes. Herefter sker der efterbehandling af forureningsstoffer.	Er formentlig nødvendig som forbehandling på grund af højt jernindhold. Vil kun fjerne jern og mangan.	Supplerende teknik
AKTIVT KUL (GAC)	Det oppumpede vand renses ved at bruge traditionelt aktivt kul.	Metoden er effektiv til at rense for kulbrinter, BTEXN og PCE og TCE. Metoden er mindre effektiv til at fjerne DCE og vinylklorid. Er sandsynligvis ikke effektiv for farmastoffer (men ikke testet herfor).	Primær og supplerende teknik
AVANCEREDE OXIDATIONS-PROCESSER (AOP).	Ozon (O <sub>3</sub> )	Metoden er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder farmastoffer. Det vides dog ikke om der sker dannelse af toksiske nedbrydningsprodukter. Er den mindst "reaktive" af AOP-metoderne.	Primær teknik
	O <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (eller UV)	Metoderne er potentielt effektive til at fjerne alle organiske stoffer, herunder farmastoffer. Kræver god gennemtrængning af UV stråler.	
	O <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + UV (photokemisk oxidation).		

METODE (VANDRENSNING)	KORT METODEBESKRIVELSE	INDLEDENDE VURDERING	ANVENDELSE
	Fentons (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + Fe katalysator), Modificeret Fentons (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + Fe katalysator + pH stabilisering til pH på ca. 7).	Både traditionel Fentons og Modificeret Fentons er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder farmastoffer. Anvendes dog typisk ikke til on site-behandling af grundvand da det er svært at håndtere det udfældede jern. Det er desuden også mere kompliceret at kontrollere dannelsen af hydroxylradikaler med Fentons sammenholdt med AOP ved fx. brintperoxid/UV eller ozon/brintperoxid.	Primær teknik
	Aktiveret persulfat (Persulfat + aktivator). Aktivator kan være temperatur, Fe katalysator, basisk aktivering, permanganat.	Aktiveret persulfat er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder farmastoffer. Anvendes dog typisk ikke til on site-behandling af grundvand.	
AIRSTIPPING	Det oppumpede grundvand ilttes kraftigt med luft, og de flygtige stoffer stripes til luftfasen. Forureningen i luftfasen renses efterfølgende.	Ikke effektiv til behandling af farmastoffer. Metoden blev tidligere ofte anvendt til grundvandsrensning af klorerede opløsningsmidler, men der var ofte udfordringer med udfældning af jern.	Supplerende teknik
SUPER CRITICAL WATER OXIDATION (SCWO)	De organiske stoffer nedbrydes til vand, kuldioxid og kvælstof med ilt under superkritiske forhold (ca. 250 bar og 550-600 grader Celcius). De uorganiske salte udskilles i et saltkoncentrat.	Metoden er sandsynligvis effektiv til rensning af alle de organiske stoffer. Metoden kræver forbehandling (opkoncentrering) inden rensning med SCWO fx. med membranfiltrering.	Primær teknik
MEMBRANFILTRERING	Det oppumpede vand renses ved membranfiltrering (Nanofiltrering (NF) eller omvendt osmose (RO)).	Kan sandsynligvis fjerne alle Grindstedstofferne. Der vil være et "koncentrat", som skal behandles eller bortskaffes. Kan med fordel kombineres med SCWO-metoden til behandling af "koncentratet", se ovenstående.	Supplerende teknik

## 5.2 Indledende screening af metoder til in situ-afværg af forureningsfane

Bilag D viser resultatet af den indledende screening af in situ-metoder til afværg af forureningsfanen. Referencer som vores vurdering bygger på, fremgår af Bilag D.

De enkelte metoder er vurderet mht.:

- > Renseeffektivitet over for stofgrupper.

- > Anvendelse som "Primær" eller "Supplerende" metode: Ved "Primær" metode defineres metoden, som at den potentielt helt eller delvis kan rense alle stofgrupperne i grundvandsfanen. Ved "Supplerende" metode defineres metoden, som at den ikke kan rense alle komponenterne, men med fordel kan anvendes i kombination med den "Primære" metode.
- > Tidsplan: Kan metoden gennemføres inden for den krævede tidsplan (etablering af driftsklart anlæg den 31. december 2019).
- > Erfaring med metoden (metodens modenhed).

I alt 13 metoder indgår i screeningen fordelt på følgende overordnede afværgeprincipper:

- > Reaktive vægge med Nulvalent Jern (ZVI) og kombinationer heraf
- > Kemisk oxidation
- > Biologisk nedbrydning
- > Airsparging og on site-behandling
- > Phytoremediering.

Det er vores vurdering, at Bilag D medtager de mest relevante og "modne" in situ-metoder til afskæring af grundvandsfanen. Der kommer dog hele tiden nye metoder på markedet, så der er ikke tale om en komplet liste over metoder.

Resultater af den indledende screening i bilag D viser følgende:

- > Der er stor erfaring og vidensniveau med in situ-afværge af klorerede opløsningsmidler og kulbrinter. Derimod er der kun lille erfaring med afværge af farmastofferne. Fra Kærgård Plantage vides det /13/, at farmastofferne kan nedbrydes med kemisk oxidation (Fentons, Modifieret Fentons og aktiveret persulfat). Kemisk oxidation vil dog være en meget dyr metode, hvis metoden anvendes som afskæringsløsning, idet driftstiden vil være meget lang.
- > For vinylklorid er der gode erfaringer fra Kærgård Plantage med biologisk nedbrydning /15/. Metoden kaldes "Stimuleret Reduktiv Deklorering" og omfatter tilsætning af organisk stof og bakteriekultur til grundvandszonen. Ved tilsætning af organisk stof kan bakterierne nedbryde vinylklorid (og andre klorerede opløsningsmidler) til uskadelige stoffer. Det vurderes, at den anvendte metode på Kærgård Plantage med stor sandsynlighed også kan anvendes til nedbrydning af klorerede opløsningsmidler i forureningsfanen fra fabriksgrunden.
- > Det vurderes ikke realistisk, at der kan igangsættes en in situ-oprensning inden for den planlagte tidsplan (31. december 2019). På baggrund heraf er

det aftalt med Region Syddanmark, at der i nærværende afværgeprogram ikke er udført detaljeret screening af in situ-metoder.

For at kunne vurdere, hvilke in situ-metoder, som vil være mest cost-effektive som afskæringsløsning af forureningsfanen fra fabriksgrunden, vil det være nødvendigt at der laves omfattende forundersøgelser, herunder:

- > Undersøgelse af indsatsområde for en in situ-afværge
- > Opstilling af målsætning og kriterier for afværge (fx. hvilket koncentrationsniveau/årlig flux skal der renses ned til for farmastoffer)
- > Laboratorietest til vurdering af renseseffekt af de mest lovende metoder
- > Pilotforsøg i felten til test af den/de mest lovende in-situ metoder.

## 6 Detaljeret screening af renseløsninger til on site-vandbehandling og fravalg af løsninger

I dette afsnit beskrives resultatet af en detaljeret screening af afværgeløsninger til on site-behandling af oppumpet grundvand. I den indledende screening blev metoderne vurderet enkeltvis. I den detaljerede screening, ses der på kombination af metoder (samlede løsninger) som potentielt kan rense den komplekse forurening i det oppumpede grundvand.

Formålet med den detaljerede screening er at indsnævre antallet af afværgeløsninger, som vil blive behandlet mere uddybende i afværgekataloget under den detaljerede analyse.

I den detaljerede screening er metoderne kvantitativt vurderet i forhold til nedenstående kriterier, som er aftalt med Region Syddanmark:

- 1 Renseeffektivitet over for stofgrupper (score 0-10): En score på 10 angiver at løsningen med sikkerhed kan rense alle de organiske stoffer. En score på 8-9 angiver at løsningen med stor sandsynlighed kan rense alle de organiske stoffer. En score på 6-7 angiver at løsningen kan rense det meste af den organiske forurening, men der er usikkerhed omkring rensegrad. En score på 3-5 angiver at løsningen kun kan rense dele af den organiske forurening. En score på 2 eller derunder angiver lille rensegrad af den organiske forurening.
- 2 Erfaring med metoden dvs. metodens modenhed (score på 0-5): En score på 5 angiver at der er stor erfaring med metoden til at rense den organiske forurening. En score på 3-4 angiver at der middel erfaring med metoden til at rense den organiske forurening. En score på 2 eller derunder angiver at der er ringe erfaring med at rense den organiske forurening. Mht. erfaring tæller både erfaring i Danmark eller i udlandet.
- 3 Påvirkning af mennesker og miljø inkl. arbejdsmiljø (score på 0-5): Den højeste score angiver at der er lille påvirkning af det omgivende miljø eller for arbejdsmiljøet ved drift af løsningen. En lav score angiver, at der er stor påvirkning af det omgivende miljø eller for arbejdsmiljøet ved drift af løsningen.
- 4 Overholde den givne tidsramme i udbud - dvs. etablering af driftsklart anlæg den 31. december 2019 - (score på 0-5). Den højeste score som er givet er 3. En score på 3 betyder at løsningen sandsynligvis kan gennemføres inden for den givne tidsramme, men at der vil være udfordringer hermed. En score på 1 og 2 angiver at det ikke vurderes at metoden kan gennemføres inden for den givne tidsramme. En score på 4 angiver at løsningen med stor sandsynlighed kan gennemføres inden for den angivne tidsramme. En score på 5 angiver at løsningen med meget stor sandsynlighed kan gennemføres inden for den angivne tidsramme.

- 5 Omkostninger til etablering (score 0-5): Jo højere score jo billigere er løsningen at etablere.
- 6 Omkostninger til drift (score 0-5): Jo højere score jo mindre årlige driftsudgifter er der.

Hvert kriterium er tildelt en score, hvor 0 er dårligst og 5 (10) er bedst. Det fremgår, at kriteriet "Renseeffektivitet over for stofgrupper", er vægtet højest med en score på 10. Ved anvendelse af denne scoringsmodel kan der maksimalt opnås en score på 35.

## 6.1 Valg af løsninger til detaljeret analyse

Bilag E viser den detaljerede screening. Der er i alt vurderet 10 løsninger. I Tabel 6-1 opsummeres resultatet af den detaljerede screening af de samlede løsninger. Følgende løsninger er valgt til at indgå i den detaljerede analyse:

- > Løsning A: Sandfilter + Ozon + GAC
- > Løsning B: Sandfilter + Ozon + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + GAC
- > Løsning C: Sandfilter, UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + GAC
- > Løsning D: Sandfilter + katalytisk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> filter + GAC

Disse 4 løsninger har opnået den højeste samlede score (alle > 20). Løsningerne inkluderer forfiltrering med sandfilter, AOP-processer samt efterfiltrering gennem aktivt kulfilter (GAC).

### Forfiltrering

Som forfiltrering er der for alle metoder foreslået fjernelse af jern og mangan med enten traditionel iltning og filtrering i tryk-sandfilter eller med "Greensand". Fordelen ved at anvende "Greensand" er, at der ikke sker nogen afdampning af flygtige stoffer til "head space" (luft) som efterfølgende skal håndteres. Metoden er meget anvendt i USA til drikkevandsbehandling, men metoden er efter vores viden ikke anvendt i Danmark. Greensand-metoden er beskrevet i Bilag H. I Danmark anvendes typisk iltning og filtrering i trykkammer. Ulempen er her, at der vil ske en afdampning af flygtige stoffer til head space, som skal håndteres efterfølgende.

### AOP-behandling

Ved AOP dannes der hydroxylradikaler ( $\cdot\text{OH}$ ), der har et standard oxidationspotential på 2,8 V. Til sammenligning kan nævnes, at ozon har et standard oxidationspotential på 2,1 V og brintperoxid har et på 1,8 V. Jo større standard oxidationspotential, jo flere stoffer kan oxideres. Rensning med ozon alene (metode A) kan være en løsning, men der opnås sandsynligvis ikke samme rensnings-effektivitet som med de tre AOP-metoder med brintperoxid (metoderne B, C og D).

Der er ved AOP metoder risiko for dannelse af det kræftfremkaldende stof bromat, dette er beskrevet i afsnit 9 under den detaljerede analyse.

Efterfiltrering med  
aktivt kul - GAC

For alle de fire valgte AOP-metoder sker efterbehandling med aktivt kul for at fjerne evt. restprodukter af forurening eller restprodukter fra AOP-processerne (ozon/brintperoxid). Det er muligt, at efterbehandling med aktivt kul ikke er nødvendigt for alle AOP-processerne, hvis det behandlede vand kan "neutraliseres" på anden måde (fx. ved tilsætning af kemikalier). Det vil dog give en usikkerhed på, om udledningskrav til fx. overfladevand kan overholdes. Ved drift af anlæg kan det vise sig, at behandling med aktivt kul ikke er nødvendig for at overholde udledningskrav. I dette tilfælde kan behandling med aktivt kul evt. udgå af driften. Generelt, vil det dog være relativt billigt at efterrense med aktivt kul, idet der forventes at være tale om stort set rent vand efter AOP-behandlingen, og omfanget af kulskift vil derfor ikke være så stort. Det kan også vise sig, at det er billigere at neddosere AOP-behandlingen for så at rense restforurening gennem kulfilteret. Etablering af kulfilter som efterfiltrering kan således være med til at optimere rensningen, så det gøres billigst og mest effektivt.

Tabel 6-1 Resultat af den detaljerede screening.

PRIMÆR METODE TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDEVAND	SAMLET LØSNING TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDEVAND	KORT METODEBESKRIVELSE	BEMÆRKNING	TOTAL SCORE (MAX. 30)	UDVALGT TIL DETALJERE ANALYSE
AKTIVT KUL (ACTIVATED GRANULATED CARBON, GAC)	Sandfilter + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes ved aktivt kul.	GAC er ikke cost-effektiv til rensning af vinylklorid. Sandsynligvis ikke cost-effektiv til rensning af farmastoffer.	19	Nej
AVANCEREDE OXIDATIONS-PROCESSER (AOP)	Sandfilter + Ozon + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter. De organiske forureningskomponenter nedbrydes med kemisk oxidation med ozon. Der sker efterbehandling med aktivt kulfilter.	Vurderes at være den billigste AOP-løsning, men det er usikkert, om metoden kan rense effektivt for alle organiske stoffer.	25	Ja
	Sandfilter + Ozon + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med ozon og brintperoxid (dannelse af hydroxylradikaler). Rester af ozon og brintperoxid skal "fjernes" inden udledning til recipient eller reinfiltration til grundvandet.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer. Metoden bør dog suppleres med kulfilter som ekstra sikkerhed.	23	Nej
	Sandfilter + Ozon + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (eller UV)+ GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med ozon og brintperoxid. Der sker efterbehandling med aktivt kulfilter.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer.	24	Ja
	Sandfilter, UV + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med photochemisk oxidation med UV og	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer.	24	Ja

PRIMÆR METODE TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDEVAND	SAMLET LØSNING TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDEVAND	KORT METODEBESKRIVELSE	BEMÆRKNING	TOTAL SCORE (MAX. 30)	UDVALGT TIL DETALJERET ANALYSE
		brintperoxid. Der sker efterbehandling med aktivt kulfilter.			
	Sandfilter + katalytisk H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> filter + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med brintperoxid som aktiveres med keramisk filter. Der sker efterbehandling med aktivt kulfilter.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer.	24	<b>Ja</b>
	Sandfilter + Fentons/Modificeret Fentons + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med Fentons Reagens eller Modificeret Fentons reagens. Der sker efterbehandling med aktivt kulfilter.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, men metoden vurderes ikke egnet til on site-vandbehandling.	15	Nej
	Sandfilter + Aktiveret Persulfat	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med aktiveret persulfat. Der sker efterbehandling med aktivt kulfilter.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, men metoden vurderes ikke egnet til on site-vandbehandling.	15	Nej
<b>AIRSTIPPING</b>	Sandfilter + Airstripping + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter. De organiske forureningskomponenter stripkes til luftfasen og skal behandles fx. i kulfilter. Der sker efterbehandling med aktivt kulfilter.	Vurderes ikke effektiv til at fjerne farmastoffer. Desuden vanskelig at håndtere stoffer i luftfasen.	19	Nej
<b>MEMBRAN FILTRERING + SUPERKRITISK VAND OXIDATION (SUPER CRITICAL WATER OXIDATION, SCWO)</b>	Membranfiltrering + SCWO + GAC	Både organiske og uorganiske stoffer opkoncentreres ved membranfiltrering. Det opkoncentrerede koncentrat renses med SCWO. Der skal sandsynligvis ske efterbehandling med aktivt kulfilter af både koncentrat fra SCWO og fra vand fra membranfiltreringen	Løsning vil med stor sandsynlighed være effektiv til at fjerne alle organiske stoffer. Metoden er dog væsentlig dyrere end AOP-løsningerne, og er derfor fravalgt til den detaljerede analyse.	20	Nej

## 6.2 Fravalg af løsninger

### AOP med UV-lys

Den fotokemiske oxidation med ozon + UV-lys vurderes også effektivt at kunne nedbryde den organiske forurening. I praksis anvendes denne metode dog stort set ikke, da den ikke kan konkurrere økonomisk med brintperoxid og UV-lys. Denne metode er derfor fravalgt.



AOP med Fentons og aktiveret persulfat

Det vides fra Kærgård Plantage /13/, at AOP med Fentons Reagens og aktiveret persulfat er meget effektiv til nedbrydning af den organiske forurening i det oppumpede grundvand. Metoderne er dog mest anvendelige som in situ-metoder til oprensning af kildeområde i den mættede zone. Løsningen er ikke så praktisk anvendelige til pump-and-treat-løsninger. Disse metoder er derfor fravalgt som on-site løsning til behandling af oppumpet grundvand, men vil stadig være relevante til evt. in situ-oprensning i kildeområde.

Aktivt kul – GAC

Aktivt kul som "stand alone-metode" er fravalgt, idet den ikke vurderes at være cost-effektiv, da der forventes krav til/behov for hyppige skift af aktivt kul. Desuden er metoden ikke effektiv overfor nedbrydningsprodukter af klorerede opløsningsmidler (vinylchlorid og *cis*-1,2-DCE), og der vil jævnligt kunne ske gennembrud med bl.a. vinylchlorid. Metoden er i overensstemmelse hermed ikke anbefalet til fjernelse af vinylchlorid af den amerikanske Miljøstyrelse (US EPA).

SCWO-metode

Det er vores vurdering, at SCWO vil kunne nedbryde alle Grindstedstofferne. SCWO vurderes at være den ultimative løsning til oxidering af organiske stoffer. Med denne metode oxideres stoffer, som evt. ikke kan oxideres ved den bedste AOP-metode.

Metoden er imidlertid en kompleks og forholdsvis dyr metode. Det er således ikke økonomisk realistisk at køre alt vandet igennem en SCWO-reaktor, da en sådan reaktor skal være meget stor. Den normale SCWO-reaktor, som Aquarden har i dag, har en kapacitet på ca. 200 l/t. Den kan opskaleres fx. til en kapacitet på ca. 500 l/t. Med et flow på 5.000-10.000 l/t, skal der derfor ske en opkoncentrering (fx. 20-30 gange) først. Opkoncentreringen vil typisk ske ved membranfiltrering (RO – omvendt osmose eller NF – nanofiltrering).

Det vides ikke, om membranfilteret kan rense fuldstændigt for alle Grindstedstoffer, BTEX'er og klorerede opløsningsmidler. Det vil derfor sandsynligvis være nødvendigt at lede dette vand gennem kulfilter inden udledning til overfladevand eller reinfiltration til grundvandet.

Der vil således være 2 vandstrømme, som skal udledes til overfladevand eller reinfiltreres til grundvandet:

- > Koncentratet fra SCWO-behandlingen (ca. 5 % af det oppumpede grundvand)
- > Det vand som renses gennem membranfilter (ca. 95 % af det oppumpede grundvand).

Udgifter til etablering af et SCWO-anlæg med membranfilter og evt. kulfilter vil være væsentlig højere end for AOP-metoderne. Driftsudgifter vil også være relativt store ift. AOP-metoderne.

Overordnet vurderes metoden med den rette opskalering, at kunne rense det oppumpede grundvand effektivt, men økonomisk vil metoden være væsentligt dyrere end AOP-metoderne. Metoden er derfor i første omgang ikke medtaget til nærmere analyse i afværgeprogrammet. Erfaring med metoden (både

membranfiltrering og SCWO rensenheden) er ligeledes lille mht. rensning af den organiske forurening i det oppumpede grundvand.

Air stripping (fx.  
Inka-beluffer)

Denne metode vil ikke kunne rense for alle Grindstedstofferne, da f.eks. de farmaceutiske stoffer ikke er flygtige. Metoden vurderes heller ikke attraktiv ift. kombination med andre metoder.

## 7 Beskrivelse af grundvandsoppumpning

Det er i afsnit 5 og 6 vurderet, at den bedste løsning for et midlertidigt anlæg, der kan reducere udstrømningen af forurenende stoffer fra forureningsfanen fra fabriksgrunden ud fra de givne ønsker for tidshorizont, vandmængde og placering, omfatter oppumpning og on site-behandling af forurenet grundvand.

I afsnit 2.1 og 2.2 er de lokale geologiske forhold og de hydrauliske parametre beskrevet. Disse er anvendt som forudsætninger ved vurdering af grundvandsoppumpningen og er derfor kort opsummeret her.

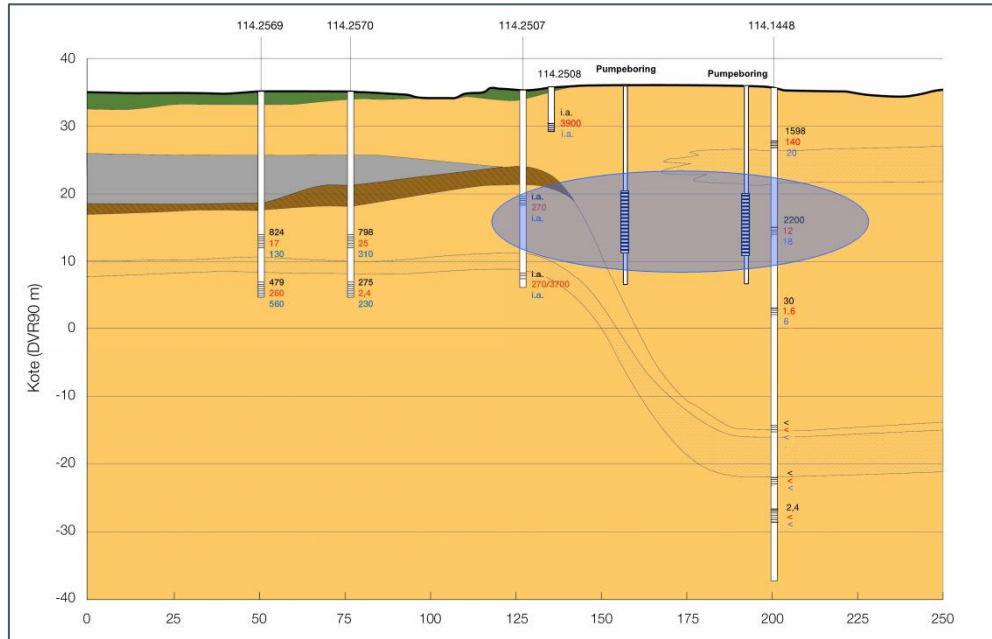
PARAMETER	FORUDSÆTNING	BEMÆRKNING
Hydraulisk lednings- evne, kvartære sandlag	$2 \cdot 10^{-4}$ m/s	Baseret på grundvandsmodeller
Hydraulisk lednings- evne, tertiære sandlag	$1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s	Baseret på grundvandsmodeller
Strømningsretning	Sydlig mod Grindsted Å	Vurderet ud fra potentialekortet i /7/
Gradient på grund- vandspejl	6.5 ‰	Vurderet ud fra potentialekortet i /7/, som er baseret på pejle- data indsamlet lokalt på grun- den. Vertikalt ses i flere borin- ger et opadrettet tryk mellem filtrene.

Med de givne forudsætninger, om at afværganlægget skal placeres på Renseanlæg Vest-grunden, at der skal opsamles i størrelsesordenen  $4,5 \text{ m}^3/\text{time}$  fra dræne og den samlede maximale kapacitet for afværganlægget skal være  $10 \text{ m}^3/\text{time}$ , er det givet at oppumpningen skal omfatte ca.  $5,5 \text{ m}^3/\text{time}$ .

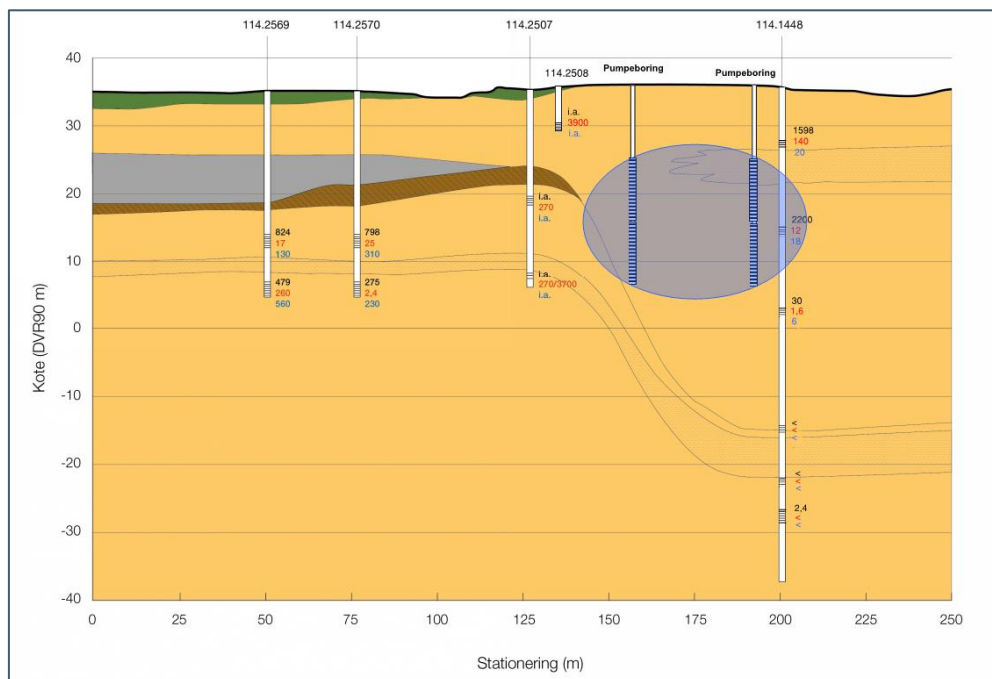
Med den nuværende viden vurderes det, at den kraftigste grundvandsforurening findes ned til ca. 30 m u.t.

Bilag G indeholder en beregning af oplandsbredden under forudsætning af, at den vertikale forureningsudbredelse overvejende ligger mellem ca. 10 og 30 m u.t. Den analytiske beregning viser på denne baggrund, at påvirkningsbredden ved en pumpeydelse på  $5,5 \text{ m}^3/\text{time}$  og et 10 meter filter vil ligge mellem 78 og 112 m, hvilket ca. svarer til bredden af grunden ved tidl. Renseanlæg Vest. Den effektive påvirkningsdybde vil være filtersætningen + 5 meter, svarende til 15 m. Ved et 20 meter filter vil påvirkningsdybden øges til 25 meter, mens oplandsbredden vil reduceres til 39-56 meter. Størrelsen af behandlingsområdet ved de nævnte forudsætninger er for en situation med hhv. korte og lange filtre vist på Figur 7-1 og Figur 7-2.

En oppumpning på 5,5 m<sup>3</sup>/time vil, på grund af sænkningen af vandspejlet, formentlig betyde, at koncentrationen og vandmængden i drænene bliver mindre. Det samme gælder den strømpeføring af kloakkerne i området, som Billund Kommune planlægger i sommeren 2019. Dette er noget man bør forholde sig f.eks. ved at følge de hydrauliske ændringer før og efter strømpeføringen af kloakkerne, og vurdere hvorledes dette kan påvirke oppumpningen.



Figur 7-1 *Konceptuel præsentation af skønnet behandlingsområde (blåt) ved korte filtre (10 m). Tegningen er ikke målfast.*



Figur 7-2 *Konceptuel præsentation af skønnet behandlingsområde (blåt) ved lange filtre (20 m). Tegningen er ikke målfast.*

Pumpeboringerne anbefales placeret på den sydlige del af Renseanlæg Vest grunden. Jo længere mod syd pumpedoringerne placeres, jo kortere forventes pumpeboringerne at skulle være.

Et indledende forslag til placering af borerne er angivet på Figur 7-3, hvor også den omtrentlige horisontale oplandsbredde for pumpeboringerne er angivet. De vurderede oplandsbredder viser at der med en pumpeydelse på 5,5 m<sup>3</sup>/time formentlig ikke vil være risiko for at trække å-vand ind i pumpeboringerne.



Figur 7-3 Indledende forslag til placering pumpeboringer og med angivelse af oplandsbredden, som vurderes at være 78-112 m ved 10 meter filtre.

## 7.1 Anlæg til oppumpning

Det vurderes, at oppumpning af op til 10 m<sup>3</sup>/t uden problemer kan ske fra en enkelt boring filtersat over ca. 10 m. Af hensyn til at kunne maksimere mængden af forurening der opsamles, anbefales det dog, at der etableres mindst 2 oppumpningssteder bestående af hver 2 pumpeboringer, som udstyres med Ø125 mm filtre placeret i hhv. det kvartære sand og det tertiære sand. Herved øges sandsynligheden for, at et filter kommer til at stå i den mest forurenede del af fanen, og det vil være muligt at differentiere hvilket filter der pumpes fra. Efter indledende prøvetagning af filtrene besluttet, hvilke filtre der indledningsvist skal pumpes fra. Supplerende undersøgelser af forureningsudbredelsen i grundvandet vil kunne danne et bedre grundlag for vurdering af om 1-2 pumpeboringer er tilstrækkeligt ift. fjernelse af mest mulig masse.

Alternativt kan man nøjes med at etablere 2 oppumpningssteder bestående af hver 1 pumpeboring, som filtersættes med et langt filter, der kan udstyres med packere, således at oppumpningen kan koncentreres i den ønskede dybde. Endelig beslutning om antal boringer, filterlængder og -niveauer samt placering bør fastlægges på baggrund af forundersøgelser til nærmere fastlæggelse af forureningens vertikale udbredelse.

Pumpeboringerne bør placeres i den sydlige del af grunden, jf. Figur 7-3, da forureningen må forventes at ligge nærmest terræn her.

En del af anlægget skal også omfatte opsamling fra de to dræn og tilkobling til behandlingsanlægget. Dette kan f.eks. gøres ved at sætte en brønd i hver dræn opstrøms overløbsbygværket. Disse brønde vil desuden kunne anvendes til udførelse af flowmålinger, hvis dette ønskes inden etablering af behandlingsanlægget.

Geologi og hydrogeologi i området er ikke detaljeret undersøgt og der bør ved forundersøgelser være fokus på dette, herunder på potentialeforskelle/ trykniveauer i sandlagene.

## 8 Beskrivelse af bortskaffelse af rensset vand

Det rensede vand skal efter behandling enten udledes til Grindsted Å, reinfiltres i grundvandszonen via borer, nedsives til grundvandszonen via faskine eller afledes til kloak.

COWI og Region Syddanmark har den 4. april 2019 afholdt et indledende møde med Billund Vand og Billund Kommune. Formålet med mødet var at have en indledende drøftelse af muligheder og forventede krav i forbindelse med afledning af rensset grundvand.

På baggrund af mødet er fordele og ulemper ved de forskellige afledningsmetoder opsummeret i Tabel 8-1 herunder.

Tabel 8-1 Fordele og ulemper ved forskellige afledningsmetoder.

Metode	Fordele	Ulemper	Bemærkning
Udledning til Grindsted Å	Ukompliceret. Lave anlægsomkostninger.  Afgiftsfrit at lede til overfladevand.	Kræver udledningstilladelse, som kan have lang sagsbehandlingstid.  Krav til rensning af Grinstedstoffer kendes ikke. Der vil formentlig være høje krav til rensningsgraden. Der forventes fx. meget lave grænseværdier for vinylklorid ved udledningen.  Udledning til overfladevand stiller desuden store krav til overvågning af vandkvaliteten af det rensede vand.	Billund Kommune har på møde den 4. april 2019 oplyst, at tilladelsesprocessen, forudsat at ansøgningen er dækkende, formentlig vil ligge på 2-3 måneder.  Der skal laves VVM-screening på udledningen.
Afledning til kloak/spildevandssystem	Lave anlægsomkostninger ved tilslutning til kloak.  Ingen forrensning påkrævet, forudsat at Billund Vand accepterer kvaliteten.	Høje driftsomkostninger pga. vandafledningsbidrag.  Grundbeløb ved tilledning af grundvand til kloak er ifølge Billund Vand 4 kr./m <sup>3</sup> inkl. moms. Tillæg ved tilledning af grundvand med risiko er 5 kr./m <sup>3</sup> , i alt 9 kr./m <sup>3</sup> . Om der er en særlig risiko kan afgøres ved en vandanalyse før og efter rensning af grundvandet.	Billund Vand har på møde den 4. april 2019 oplyst, at der er kapacitet til at modtage det rensede vand. Tilledning af rensset vand til spildevandssystemet vil evt. kunne anvendes som en midlertidig løsning, hvis udledningstilladelse til overfladevand eller reinfiltration i grundvandszonen mod forventning ikke er opnået inden opstart af anlæg.
Reinfiltration i grundvandszonen via borer	Moderate anlægsomkostninger. Forventeligt ca. 2 infiltrationsboringer pr. pumpeboring.  Afgiftsfrit at reinfiltrere til grundvandet.	Der er anlægs- og driftsomkostninger.  Det rensede (oxiderede) vand kan ikke udledes dybere end redoxgrænsen, da dette vil hurtigt medføre	Baseret på foreliggende data ligger redoxgrænsen >6 m u.t.  Der skal laves VVM-screening på udledningen.  Det skal vurderes, hvordan de enkelte vandspejl påvirker mulighederne for reinfiltration.

Metode	Fordele	Ulemper	Bemærkning
	Der er betydelig forsinkelse inden udløb af rensset, reinfiltret grundvand til overfladevand, hvilket formentlig vil betyde mindre krav til overvågning af vandkvalitet end ved direkte udledning. Evt. mindre restriktive grænseværdier.	tilstopning af infiltrationsboringeres filter med jernoxider.	
Nedsivning i grundvandszonen via faskine	Moderate anlægsomkostninger.	Der er anlægs- og driftsomkostninger, men formentlig lavere end ved reinfiltration via boringer. Det er muligt, at nedsivningsevnen er for lille, og der sker opstuvning af grundvand i den umættede zone.	Der skal evt. laves VVM-screening på nedsivningen. Det skal vurderes, hvordan det terrænnære vandspejl ligger i området, hvor evt. nedsivning skal finde sted.

Den økonomisk mest attraktive metode er udledning til Grindsted Å. Herefter kommer formentlig nedsivning via faskine eller reinfiltration i grundvandszonen, mens afledning til spildevandssystemet vurderes at være den dyreste løsning, med mindre der kan opnås afgiftsfritagelse for afledningen hertil.

Til reinfiltrering vurderes der at være behov for 2-3 ca. 10-15 m dybe boringer, der placeres således, at de om muligt virker gunstigt i forhold til den nedstrøms del af forureningsfanen. Disse bør udføres som minimum 8"-boringer med Ø110 mm filter. Boringerne bør placeres enten mellem pumpeboringerne og Grindsted Å eller længst mod øst og vest på grunden, således at forurening bedst muligt presses mod pumpeboringerne. Placering og dybde af boringer bør fastlægges på baggrund af forundersøgelser, herunder placering af redoxgrænsen.

Et billigere alternativ til boringer er etablering af faskiner til nedsivning i toppen af grundvandsmagasinet. For at vurdere, om det er en mulighed, skal der forud laves nedsivningsforsøg, og de terrænnære potentialeforhold skal undersøges nærmere.

Det endelige antal boringer/faskiner samt placering, dybde og filtersætning af disse fastlægges ud fra forundersøgelserne, som også bør omfatte en opdatering af den analytiske model eller alternativt, anvendelse af en grundvandsmodel.



## 9 Detaljeret analyse af de valgte løsninger til on site-vandrensning

På baggrund af den detaljerede screening er der udpeget fire løsninger til den detaljerede analyse:

- > Løsning A: Sandfilter + Ozon + GAC (aktivt kulfilter)
- > Løsning B: Sandfilter + Ozon + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + GAC
- > Løsning C: Sandfilter, UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + GAC
- > Løsning D: Sandfilter + katalytisk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> filter + GAC

Alle løsninger omfatter følgende procestrin:

- 1 Oppumpning af forurenede grundvand og drænvand. Vand ledes gennem rørføring til vandbehandlingsanlæg. Oppumpning af grundvand samt opsamling af drænvand er det samme for alle fire løsninger. Oppumpning er nærmere beskrevet i afsnit 7.
- 2 Forrensning gennem sandfilter for jern og mangan. Der anvendes Greensand-filter. Holdbarhed af Greensand er ca. 10-20 år før det skal udskiftes. Greensand-filter skal returskylles dagligt. Der forventes ca. 12 m<sup>3</sup>/dag af slam og returskyllevand, som skal bortskaffes. Muligheder for bortskaffelse af slam og returskyllevand skal nærmere belyses i detailprojektet.
- 3 AOP-behandling til nedbrydning af organiske miljøfremmede stoffer i en særlig AOP-reaktor. Der anvendes fire forskellige løsninger med AOP-processer:
  - > Løsning A: Ozon
  - > Løsning B: Ozon + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
  - > Løsning C: UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
  - > Løsning D: Katalytisk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> filter
- 4 Efterfiltrering gennem kulfilter til fjernelse af rester af iltningsmidler og eventuelle restprodukter af miljøfremmede stoffer. Vi foreslår, at anlægget vil blive udført med to kulfiltre i serie. På den måde kan man få optaget maksimal mængde organisk stof, uden at det går ud over renseeffektiviteten, fordi vandet til sidst løber igennem en næsten rent kulfilter. Når det første filter er helt mættet, skal det udskiftes, hvorefter man bytter om på rækkefølgen, så det helt nye filter bliver placeret til sidst. Kulforbruget er vanskeligt at forudsige præcist. Det hænger bl.a. sammen med, hvor meget organisk stof, der nedbrydes ved AOP samt ved destruktion af ozon og/eller brintperoxid. Som udgangspunkt, forventes et forbrug i størrelsesorden

4500 kg/år. I Bilag H er der en mere uddybende beskrivelse af efterfiltrering med aktivt kul.

- 5 Bortskaffelse af rensed vand enten til overfladevand, grundvandszonen eller spildevandssystem, se beskrivelse i afsnit 8. Det anbefales, at der vælges en løsning med udledning til Grindsted Å, da dette er den mest enkle og billigste løsning.

#### Detaljeret analyse

I den detaljerede analyse er der arbejdet mere intenst med metoderne både teknisk og økonomisk. Metoderne er blevet vurderet på følgende punkter, som er opstillet i et skema, se Bilag F:

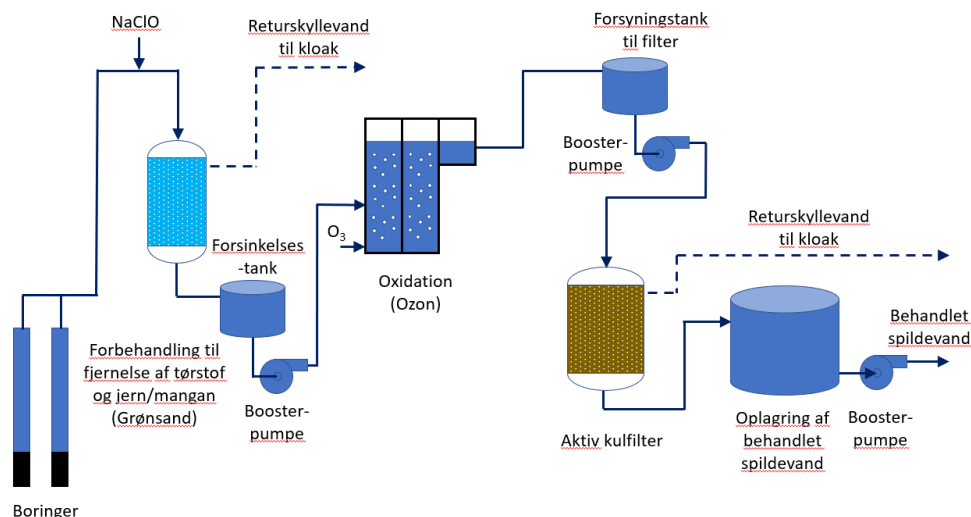
- > Teknisk metodebeskrivelse med principdiagram af anlæg
- > Udviklingsstadium
- > Kommercielt tilgængelig
- > Renseeffekt
- > Kapacitet (m<sup>3</sup>/h)
- > Energiforbrug
- > Kemikalieforbrug
- > Forventet holdbarhed af udstyr
- > Overskydende materiale som skal bortskaffes
- > Metodens tekniske begrænsninger
- > Behov for supplerende oplysninger/tests
- > Fordele
- > Ulemper
- > Referencer.

I de følgende afsnit gives der en kort beskrivelse af de fire løsningsforslag. For detaljer henvises til Bilag F.

## 9.1 A: Oppumpning og vandrensning med Sandfilter + Ozon + GAC

AOP med ozon er en velafprøvet metode til nedbrydning af forurening i grundvand. Metoden har ikke så stort oxidationspotentiale som de øvrige AOP-løsninger, og det er derfor uvist om der kan opnås en tilstrækkelig

rensningsgrad af den organiske forurening. Ozonen genereres på stedet med elektricitet i en ozongenerator ved at bruge enten luft eller ren ilt. Den resulterende ozongas injiceres derefter i vandet i en lukket reaktor. Principdiagram af Løsning A fremgår af Figur 9-1.



Figur 9-1 Principdiagram af Løsning A: Ozon.

Ozon reagerer også med evt. tilstedeværelse af bromid i vandet ved at danne det giftige bromat, hvilket er uønsket i vandmiljøet, da det er et kræftfremkaldende stof. I boringerne ved Bekkasinevej (114.2616-114.2620) er der påvist indhold af bromid på 0,2-0,55 µg/l, mens der i 114.1448 er påvist indhold af bromid på 12 µg/l (8-9 m u.t.), hvilket umiddelbart er relativt lave niveauer, som ikke forventes at udgøre en risiko ved dannelse af bromat. Dette bør dog undersøges helt lokalt i indsatsområdet.

De væsentligste fordele ved metoden er:

- > Rensning med ozon synes at være billigere end UV+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> og ozon+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> men dyrere end den katalytiske rensning med H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.
- > Simpel i opbygning. Tidsforbrug til pasning og vedligeholdelse er formentlig mindre end for de andre løsninger med AOP.
- > Ved denne metode anvendes ingen kemikalier – kun elektricitet og ilt. Dog anvendes kemikalier til returskyl/regenerering af sandfilter.

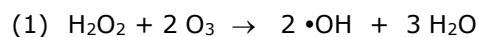
De væsentligste ulemper ved metoden er:

- > Der er risiko for, at der ved nedbrydning af den organiske forurening kan dannes toksiske nedbrydningsprodukter, som ikke fjernes ved rensningsprocessen.
- > Der skal tages forholdsregler, så der ikke afgives uacceptable mængder ozon til luften i det lokale, hvor anlægget er placeret.

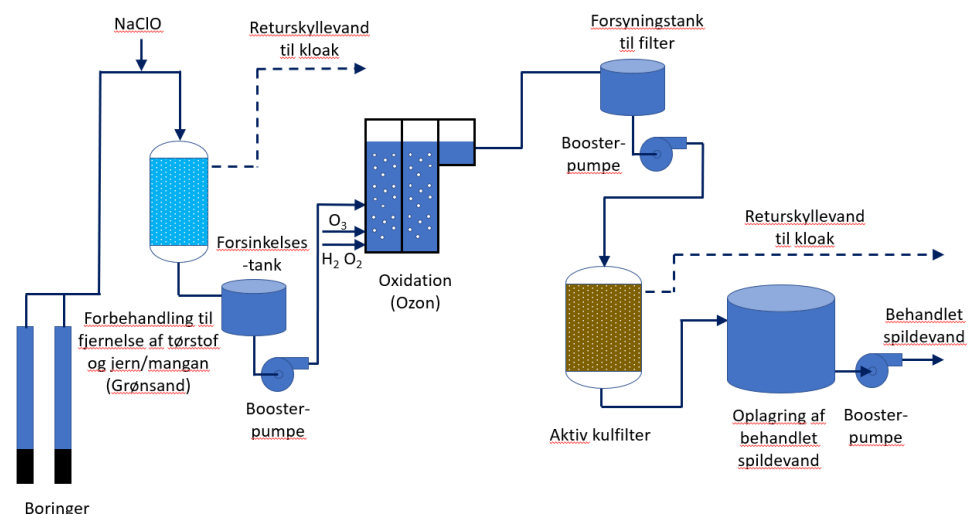
- > Dannelse af det giftige bromat er en risiko, hvis der findes bromid i grundvandet. Der findes flere forskellige måder at reducere bromatdannelsen fx. ved at adskille ozoninjektionen over reaktoren, anvende lavere ozon dosering, pH regulering for at sikre at pH ikke bliver for høj (< pH 9). Der kan også tilsættes "kemikalier fx. ammonium eller ammonium-klorin /30/. Desuden vil noget af bromaten blive tilbageholdt i kulfilteret /29/.

## 9.2 B: Oppumpning og vandrensning med Sandfilter, Ozon + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + GAC

Stoffet brintperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) er et effektivt oxidationsmiddel, som kan oxidere en del stoffer, men der er også flere stoffer, som er svært oxiderbare og ikke kan oxideres af brintperoxid. Hvis brintperoxid bliver aktiveret, kan det omdannes til de såkaldte hydroxylradikaler, som er langt mere reaktive end brintperoxid, og derfor kan oxidere svært nedbrydelige organiske stoffer. Hydroxylradikaler kan fremstilles ud fra ozon og brintperoxid, se nedenstående reaktionsligning (1). Ved denne proces går en stor del ozon tabt som ilt, mens det er brintperoxid, der fraspalter hydroxylradikaler.



AOP med ozon/brintperoxid er mere kraftig end ozon alene og forventes derfor at være mere effektiv til nedbrydning af den organiske forurening i det oppumpede grundvand. Nedbrydningen opnås ved tilsætning af brintperoxid til vandet efterfulgt af tilsætning af ozon i en AOP-reaktor. Der vil typisk være overskud af brintperoxid og ozon, som kan nedbrydes efterfølgende i kulfilteret. Principdiagram af et muligt anlæg fremgår af Figur 9-2.



Figur 9-2 Principdiagram af Løsning B: Ozon + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Som for Løsning A er der også risiko for at der dannes bromat, hvis der er tilstedeværelse af bromid i vandet.

Doserne af ozon og peroxid samt forholdet mellem de to kemikalier skal optimeres for den aktuelle vandtype, da disse parametre er afhængige af vandkemi.

Evt. forskel i vandkemi i drænvand og oppumpet grundvand vurderes ikke at medføre væsentlige problemer med AOP-behandlingen.

Reaktoren er helt lukket, så der ikke kan slippe ozon ud, før vandet kommer ud af reaktoren.

De væsentligste fordele ved metoden er:

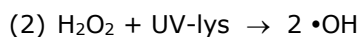
- > Det forventes, at metoden kan nedbryde alle organiske stoffer i grundvandet fra forureningsfanen i Grindsted.
- > AOP med ozonbehandling ozon/brintperoxid af grundvand er en velafprøvet metode i USA.

De væsentligste ulemper ved metoden er:

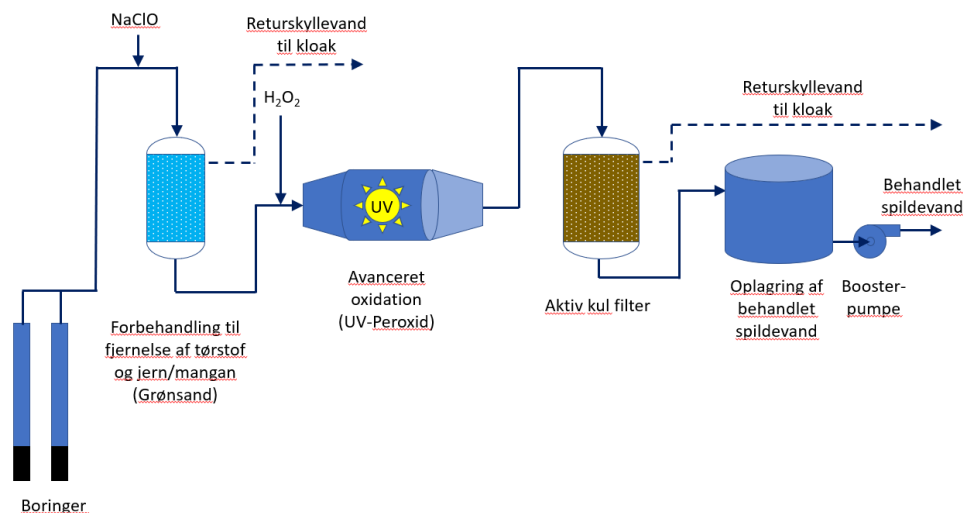
- > AOP-systemet er mere kompliceret at drive end løsning A – hvor der kun anvendes ozon.
- > Dannelse af det giftige bromat er en risiko, hvis der findes bromid i grundvandet. En del af bromaten forventes at blive tilbageholdt i kulfilteret /29/.
- > Der skal tages forholdsregler, så der ikke afgives uacceptable mængder ozon til luften i det lokale, hvor anlægget er placeret.
- > Metoden er ikke anvendt i Danmark, så vidt vides.

### 9.3 C: Oppumpning og vandrensning med Sandfilter, UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + GAC

AOP-processer med UV-lys kaldes ofte for fotokemisk oxidation. Den mest almindelige fotokemiske oxidationsproces er en proces med brintperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) og UV-lys. Her dannes hydroxylradikaler, se nedenstående reaktionsligning (2). Til denne proces skal der ud over brintperoxid også bruges elektricitet.



AOP med UV/brintperoxid vurderes at have samme oxidationspotentiale som løsning B og højere end løsning A. Principdiagram af et muligt anlæg fremgår af Figur 9-3.



Figur 9-3 Principdiagram af Løsning C: UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

I AOP-reaktoren tilsættes brintperoxid til vandet, efterfulgt af bestråling af vandet via UV-lamper i en AOP-reaktor, som er designet til at give den korrekte kontakttid og blanding til vandbehandlingen. UV- og brintperoxid-doserne skal optimeres for den specifikke vandkvalitet, der skal behandles. Evt. forskel i vandkemi i drænvand og oppumpet grundvand vurderes ikke at medføre væsentlige problemer med AOP-behandlingen.

UV-lamper skal rengøres regelmæssigt for at forhindre belægninger, da disse reducerer UV-intensiteten.

Én af ulemperne ved metoden er et stort strømforbrug for UV-pæren. Fordelen er, at der ikke er risiko for dannelse af det giftige bromat. Desuden skal der ikke etableres anlæg til generering af ozon, som udgør en risiko for arbejdsmiljøet.

De væsentligste fordele ved metoden er:

- > Sandsynligvis det kraftigste oxidationspotentiale af de fire løsninger.
- > Det er simplere og mere sikkert at håndtere brintperoxid med UV end f.eks. ozon.
- > AOP med UV/brintperoxid til behandling af grundvand er en velafprøvet metode i USA.
- > Der er ikke risiko for dannelse af bromat

De væsentligste ulemper ved metoden er:

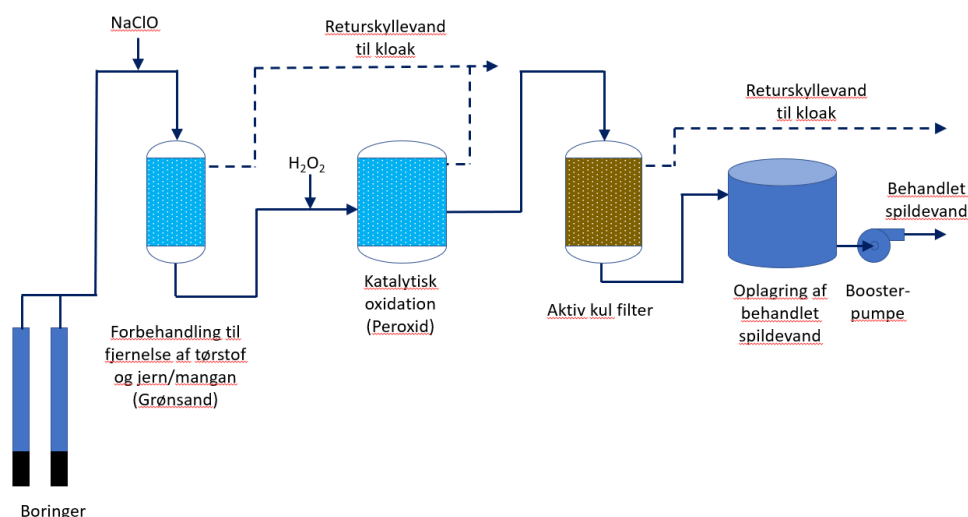
- > Den dyreste løsning ved både etablering og drift, bl.a. på grund af stort strømforbrug.
- > Der kan dannes belægninger på lampeglasset, som svækker lysgennemgangen.
- > Lampernes lysstyrke reduceres med alderen.

## 9.4 D: Oppumpning og vandrensning med Sandfilter, katalytisk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> filter + GAC

Det er også muligt at generere hydroxylradikaler ud fra H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ved en katalytisk proces med et fast stof. Det har den fordel, at der ikke skal anvendes elektricitet som ved de fotokemiske processer, men til gengæld skal katalysatoren fornyes engang imellem, da den slides/forbruges.

AOP-reaktoren består af et keramisk filter, hvor filtermaterialet er coated med en katalysator, der er i stand til at aktivere brintperoxid. Før gennemløb af filteret doseres brintperoxid til vandet, og ved kontakt med katalysatoren aktiveres brintperoxid under dannelsen af hydroxylradikaler. Hydroxylradikaler sørger for en hurtig nedbrydning af den organiske forurening.

Katalysatoren forbruges/inaktiveres langsomt, og derfor skal den katalytiske coating i begge filtre fornyes ca. hvert halve år. Man kan eventuelt også tilsætte nogle kemikalier til vandet, så den oxiderende effekt bliver endnu kraftigere, men ofte er renseeffekten tilfredsstillende uden tilsætning af flydende katalysator. Principdiagram fremgår af Figur 9-4.



Figur 9-4 Principdiagram af Løsning D: Katalytisk brintperoxid-filter.

Metoden er forholdsvis ny, og der er, så vidt vides, ingen anlæg af denne type i drift i Danmark. Metoden minder om løsning B og C, da alle metoder danner hydroxylradikaler ud fra brintperoxid. I Holland findes der et enkelt anlæg af denne type godkendt til fjernelse af pesticider i gartnerivand.

De væsentligste fordele ved metoden er:

- > Det er simple og mere sikkert at håndtere brintperoxid end f.eks. ozon, og der er ikke risiko for dannelse af bromat.
- > Den katalytiske proces kræver ikke løbende kemikalietilsætning ud over brintperoxid, og den forbruger ingen strøm.
- > Metoden er relativt billig ift. de øvrige AOP-metoder.

De væsentligste ulemper ved metoden er:

- > Der er tale om en forholdsvis ny metode, så erfaring med metoden er relativt begrænset. I Danmark er metoden ikke afprøvet.
- > Metoden anvendes i Holland til rensning af pesticider i vand fra gartnerier. Metoden har, efter vores viden, ikke være anvendt til rensning af vand med komponenter som findes i forureningsfanen fra fabriksgrunden.
- > Katalysatoren forbruges og skal fornyes ca. én gang halvårligt.
- > Der dannes små mængder spildevand, og der skal ske reaktivering af filterne. Muligheder for bortskaffelse af spildevand skal nærmere belyses i detaljprojektet.

## 9.5 Økonomisk overslag

I dette afsnit gives økonomisk overslag over udgifter til etablering og drift.

### Forudsætninger

Forudsætningerne for prisoverslag er følgende:

- > Der skal behandles 10 m<sup>3</sup>/time.
- > Der sker oppumpning af 5,5 m<sup>3</sup> grundvand fra 2 borer og opsamling af 4,5 m<sup>3</sup> drænvand fra 2 drænstreng.
- > Det rensede vand ledes til Grindsted Å.
- > Udgifter er uden omkostninger til forundersøgelser.
- > Der er jf. oplysning fra Region Syddanmark regnet med en elpris på 1,47 kr./kWh.
- > **Monitering:**  
Der er forudsat periodevis analyse af indløbsvand fra de 2 pumpeboringer og de 2 drænstreng samt analyse af det rensede vand (der er regnet med årlige udgifter til analyser på 100.000 kr.). Herved kan det sikres, at det rensede vand overholder de aftalte renseskriterier. Desuden kan der beregnes, hvor meget forureningsmasse der er fjernet.

Der er efter aftale med Regionerne ikke forudsat udgifter til monitering af grundvand eller overfladevand.

- > Der er ikke medregnet ekstra deponeringsafgifter for deponering af opgravet/opboret jord, mens udgifter til bortskaffelse af de 12 m<sup>3</sup> slam/returskyllevand er indregnet.
- > Prisniveau er 2019 priser.



I Tabel 9-1 fremgår økonomiske overslag for de 4 løsninger.

Tabel 9-1 Overslag over udgifter til etablering og drift. Udgifter til forundersøgelser er ikke medtaget i tabellen. Alle beløb er mio. kr. ekskl. moms.

LØSNING		PROJEKTERING OG ETABLERING	DRIFT, ÅRLIGE UDGIFTER
A	Sandfilter + Ozon + GAC	7.7	1.45
B	Sandfilter, Ozone + Brintperoxid + GAC	7.7	1.55
C	Sandfilter + Brintperoxid + UV, GAC	8.7	2.0
D	Sandfilter, Brintperoxid/Katalysator + GAC	6.8	1.25

Følgende kan udledes af prisoverslag:

- > Løsning D med katalytisk brintperoxid er den billigste løsning både med hensyn til etablering og drift. Da metoden ikke tidligere er anvendt på en lignende forurenings sammensætning, vurderes det, at usikkerheden af omkostninger til denne metode er højere end for de andre tre løsninger.
- > Løsning C med UV + brintperoxid er den dyreste løsning både mht. etablering og drift.
- > Løsning A og B har nogenlunde samme omkostninger for etablering, mens løsning A er billigere i drift.

Såfremt vandet ikke kan udledes til recipient, vil der være ekstra udgifter til reinfiltration til grundvandszonen eller tilledning til offentligt spildevandssystem:

Afledning til spildevandssystem

Eventuelle udgifter til afledning til spildevandssystem vil være ca. 9 kr./m<sup>3</sup> jf. afsnit 8, såfremt vandet skal afledes som risikovand. Med en udledning på 10 m<sup>3</sup>/time (88.000 m<sup>3</sup>/år) vil det give årlige afledningsudgifter på i størrelsesordenen mellem 792.000 kr. Hvis vandet kan afledes som alm. grundvand er prisen ca. 4 kr/m<sup>3</sup>, svarende til ca. 352.000 kr.

Reinfiltration til grundvandszonen

Ved eventuel reinfiltration til grundvandszonen skal der etableres ca. 4 boringer til ca. 10-15 m u.t. (ned til, hvor redoxforholdene skifter til reducerede forhold med tilstedeværelse af jern), eller evt. en billigere løsning med faskiner samt ledningsføringer, styring og drift af reinfiltration. Det vurderes, at udgifter til anlæg til reinfiltration vil være ca. 200-400.000 kr. (afhængig af, om der vælges løsning med boringer eller faskiner). Årlige driftsudgifter med regenerering af boringer og styring af reinfiltration vil være ca. 100.000 kr.

## 9.6 Usikkerheder ved etablering af afværgede ved nuværende vidensniveau

De væsentligste usikkerheder i vidensniveau for at etablere afværgede vurderes at være følgende:

- > Generelt vides det ikke om metoderne kan nedbryde alle Grindstedstofferne. Som udgangspunkt vurderes Løsning B, C og D de mest effektive til at nedbryde alle Grindstedstofferne.
- > Følgende forhold ved Renseanlæg Vest, Svinget 12 er ikke velbelyst:
  - > Forureningens detaljerede horisontale og vertikale udbredelse. Det er derfor usikkert, hvor pumpeboringer mest optimalt placeres og hvor de filtersættes.
  - > Redoxforhold og geokemi i grundvandet, særligt forventede forhold i oppumpet vand samt beliggenheden af redoxgrænsen.
  - > De detaljerede hydrauliske parametre (hydraulisk ledningsevne, transmissivitet og magasintal).
  - > Den detaljerede geologiske opbygning i indsatsområde for oppumpning, her specielt vidensniveauet omkring lavpermeable aflejringer i grundvandsmagasinet (brunkul/ler), som kan have betydning for den vertikale forureningsudbredelse. Det er eksempelvis afgørende om lerlagene omkring ca. 10 m u.t. er gennemgående da dette kan have betydning for valg af filtersætning i pumpeboringer.
  - > Detaljerede potentialeforhold i og omkring indsatsområdet.
  - > Flow i dræn og variationer i flowet samt drænkort.
  - > Mulighed for tilladelse til, at det rensede grundvand ledes direkte til recipient eller evt. til reinfiltration til grundvandszonen.
  - > For de fleste farmastoffer findes der ikke vandkvalitetskrav ved udledning til recipient. Der er derfor usikkerhed til krav til renseniveau for disse stoffer.

## 10 Myndighedsgodkendelser

I forbindelse med afværgetiltagene skal der indhentes en række myndighedsgodkendelser. De gængse tilladelser ved et projekt af denne type er opstillet i Tabel 10-1. Det anbefales, at indhentning af myndighedsgodkendelser igangsættes snarest muligt.

Tabel 10-1 Tilladelser.

TILLADELSE	BEMÆRKNING
Byggetilladelse (bygning til afværgeanlæg)	Næppe relevant, da anlægget formentlig placeres i container. Såfremt der opføres en skurbygning, skal der evt. indhentes byggetilladelse til denne ved Billund Kommune.
Boretilladelse	Borearbejde skal anmeldes til Billund Kommune, da borearbejde er en del af en offentlig indsats.
Anmeldelse og anvisning af jord	Flytning af opboret og opgravet jord skal anmeldes til Billund Kommune.
Evt. kloakomlægninger	Skal koordineres med Billund Vand.
Skilteplaner og godkendte køreruter herunder ind- og udkørsler til ejendommen	Næppe relevant, da omfang af jordarbejder vil være begrænset sammenlignet med en opgravning.
Tilladelse til reinfiltration til grundvandszonen	Der skal søges tilladelse ved Billund Kommune. Billund Kommune har oplyst, at reinfiltration er omfattet af reglerne om VVM, og der skal ifm. ansøgningen udarbejdes en VVM-screening.
Tilladelse til udledning til overfladevand	Der skal indhentes tilladelse ved Billund Kommune, hvis der skal udledes rensset grundvand til Grindsted Å. Billund Kommune har oplyst, at udledning til Grindsted Å er omfattet af reglerne om VVM, og at der ifm. ansøgningen skal udarbejdes en VVM-screening.
Tilladelse til udledning til kloak	Der skal søges tilslutningstilladelse ved Billund Vand. Det skal ifm. detailprojektering undersøges om returskyllevand kan afledes til kloak eller generelt skal bortskaffes.
Nedsivning via faskiner	Der skal søges nedsivningstilladelse ved Billund Kommune. Ved behandling af tilladelser til infiltration er det ofte af afgørende betydning om grundvandet infiltreres i samme magasin som det er oppumpet fra. Der skal evt. udføres VVM-screening.

# 11 Beskrivelse af supplerende projekteringsparametre

Projekteringsparametre

Med udgangspunkt i tidsplanen, hvor der ønskes opstillet et driftsklart afværgeanlæg ved udgangen af 2019, er det vigtigt, at relevante projekteringsparametre for afværge indhentes så tidligt som muligt aht. den efterfølgende detailprojektering. Ved vurdering af anbefalede projekteringsparametre har vi anvendt screeningsværktøj fra "Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer" se <https://www.miljoegressourcer.dk/afvaergekatalog.php /14/>, her fra eksempel i Figur 11-1.

**AFVÆRGEKATALOG**  
Nedenstående kriterier kan til- eller fravælges med henblik på at indsnævre listen over afværagemetoder, der er tilpasset forholdene.

AFVÆRGE OVERFOR: Grundvand  
GEOLOGI: Sand/Grus  
MÆTTET/UMÆTTET: Mættet  
STOFGRUPPER: Chlorerede opløsningsmidler

**Mulige afværagemetoder**

METODE
<input type="checkbox"/> Airsparging
<input type="checkbox"/> Dampstripping og vakuumelektraktion
<input type="checkbox"/> Flushing
<input type="checkbox"/> In-well Aerator
<input type="checkbox"/> Indeslutning
<input type="checkbox"/> Kemisk Oxidation
<input type="checkbox"/> Naturlig nedbrydning
<input type="checkbox"/> Opgravning - opboring, ekstern jordbehandling
<input checked="" type="checkbox"/> Oppumpning og on-site vandbehandling
<input type="checkbox"/> Phytooprensning
<input type="checkbox"/> Reaktiv væg med Jern (0)
<input type="checkbox"/> Reaktiv væg med sorbentmateriale
<input type="checkbox"/> Stimuleret biologisk nedbrydning - reduktion
<input type="checkbox"/> Tilsætning af bakterier eller svampe (bioaugmentering)
<input type="checkbox"/> Varmeledning og vakuumelektraktion

**Projekteringsparametre**

	KATEGORI: 1	2	3
Carbonatsystemet og geokemi	✓	✓	✓
Forekomst af fri fase (DNAPL eller LNAPL undersøgelse af omfang)	x	x	
Hydraulisk konduktivitet	✓	✓	✓
Jordens indhold af organisk materiale	✓		
Kvælstof og Fosfor	x		
Lækagekoefficient			x
Magasinkoefficient	x	x	x
Nedbrydningsrate, mættet zone		✓	✓
Redoxforhold mættet zone	✓	✓	✓
Retardation (R)	✓	✓	
Specifikke nedbrydere	✓		
Strømningsfordeling i mættet zone		✓	✓
Suspenderet stof	x		

Figur 11-1 Eksempel på brug af screeningsværktøj til vurdering af projekteringsparametre /14/.

Tabel 11-1 viser forslag til projekteringsparametre jf. /14/.

Tabel 11-1 Projekteringsparametre.

Projekteringsparameter	AFVÆRGESTRATEGI MED OPPUMPNING OG VANDBEHANDLING			
	Løsning A: Sandfilter + Ozon + GAC	Løsning B: Sandfilter, Ozon + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + GAC	Løsning C: Sandfilter, UV + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + GAC	Løsning D: Sandfilter, katalytisk H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> filter + GAC
Carbonatsystemet, geo- kemi samt redoxforhold	X	X	X	X
Hydrogeoloiske parametre (k-værdi, transmissivitet, magasintal)	X	X	X	X
Redoxforhold, grundvand	X	X	X	X
Potentialeforhold (vertikalt og horisontalt)	X	X	X	X
Undersøgelse af nedbryd- ningsrate og oxidationsfor- brug ved vandbehandling	X	X	X	X
Bromidindhold (vurdering af potentiale for dannelse af bromat)	X	X		

Forundersøgelser

Tabel 11-2 viser forslag til undersøgelser, som er nødvendige for at have det fornødne grundlag for detailprojektering.

Tabel 11-2 Forundersøgelser.

AFVÆRGESTRATEGI	UNDERSØGELSE
<p>Løsning A: Sandfilter + Ozon + GAC</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Undersøgelse af indsatsområde for oppumpning (horisontal og vertikal afgrænsning). Etablering af filtersatte boringer, vandprøvetagning og analyse</li> <li>&gt; Undersøgelse af flow fra dræn, variationer af flowet samt placering af dræn-streng</li> <li>&gt; Udtagning af vandprøver til boringskontrolanalyse (geokemi og redoxforhold)</li> <li>&gt; Pumpeforsøg til undersøgelse af hydrauliske parametre</li> <li>&gt; Pejlerunde i udvalgte boringer ved indsatsområde til opdatering af potentialeforhold</li> <li>&gt; Opdatering af grundvandsmodel til vurdering af pumpestrategi</li> <li>&gt; Laboratorieforsøg til undersøgelse af AOP-metodernes effektivitet til at nedbryde den organiske forurening, herunder klørerede opløsningsmidler, BTEX'er og Grindstedstofferne samt kemikalieforbrug</li> <li>&gt; Økotoxtest af behandlet vand mht. at udlede til recipient</li> <li>&gt; Undersøgelse af bromidindhold i grundvand for at vurdere risiko for dannelse af bromat ved ozonbehandling</li> <li>&gt; Miljøfremmede stoffer i returskyllevand</li> </ul>
<p>Løsning B: Sandfilter, Ozon + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + GAC</p>	<p>Tilsvarende løsning A</p>
<p>Løsning C: Sandfilter, UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + GAC</p>	<p>Tilsvarende løsning A, men uden bromidindhold i grundvand for at vurdere risiko for dannelse af bromat ved ozonbehandling</p>
<p>Løsning D: Sandfilter, katalytisk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> filter + GAC</p>	<p>Tilsvarende løsning A, men uden bromidindhold i grundvand for at vurdere risiko for dannelse af bromat ved ozonbehandling</p>

## 12 Tidsplan

Region Syddanmark har i udbudsmaterialet anført, at man ønsker et driftsklart anlæg ved udgangen af 2019, og at fase 2 (supplerende undersøgelser, laboratorieforsøg mv.) opstartes 1. august 2019. Dette giver 5 måneder til supplerende undersøgelser, laboratorieforsøg, detailprojektering, udbud og etablering.

Tidsplanen er derfor en væsentlig udfordring ved projektet.

Udkast til tidsplan for fase 2 og 3 er vedlagt i Bilag K. Planen er udarbejdet med udgangspunkt i regionens ønske om at have et driftsklart anlæg ved udgangen af 2019.

Normalt vil en proces med detailprojektering, udbud, etablering og opstart af anlæg igangsættes efter afslutning af nødvendige forundersøgelser og forløbe over en tidsperiode på 6-7 måneder (ekskl. forundersøgelser).

I tidsplanen vedlagt i Bilag K er det, efter aftale med regionen, forudsat at rensemetode vil være valgt 1. august 2019.

Regionen har bedt COWI om at pege på en metode på det foreliggende grundlag. Jf. afsnit 13 vil dette på det foreliggende grundlag være løsning C, idet denne umiddelbart vurderes at være mest robust. Det anbefales dog at laboratorieforsøgene gennemføres sideløbende med etableringen, således at det sikres at den valgte rens metode har den ønskede effekt og at der ikke er utilsigtede økotoksikologiske konsekvenser ved udledning af vandet. Testene vil desuden kunne anvendes til støtte for ansøgning om udledningstilladelse.

Testene forventes at forløbe over ca. 1 måned, men da der endnu ikke er lavet arbejdsbeskrivelser for testene, er tidsestimatet for udførelse af testene usikkert, særligt for metode D.

Hertil kommer 1 måneds analysetid for Grindstedstofferne. Eurofins har oplyst, at det ikke er muligt at udføre hasteanalyser for Grindstedstoffer, og den lange analysetid må derfor forventes at være en udfordring gennem hele perioden, medmindre der vælges en indikator-parameter med en væsentligt kortere analysetid.

Af hensyn til tidsplanen bør det overvejes, om der kan laves et simpelt udbud eller om det, afhængig af hvilken rens metode der vælges, vil være muligt for regionen at indkøbe anlægget som en bygherreleverance. Dette vil give en større sikkerhed for at projektet kan gennemføres i 2019.

Det er sandsynligt at selve rensenheden (kun AOP) vil være en enhed for sig, som evt. skal hentes i udlandet. Et alternativ kan derfor være at håndtere selve rensenheden som en bygherreleverance, som når den er fundet kan kobles ind mellem sandfiltrene og kulfiltrene. Det betyder at udbud på boringer, deres bestykning, rørføringer, sandfiltre, kulfiltre, fundamenter og PLC/SRO kan ske parallelt med processen med at finde den rette rens metode. Dette arbejde kan udføres af flere danske entreprenører og den valgte rens enhed kan herefter

tilkobles, indkøres og idriftsættes. Det vurderes at denne fremgangsmåde vil øge sandsynligheden for at kunne etablere et indkøringsklart anlæg i indeværende år. Bygherres rådgiver er alligevel dybt involveret i udvælgelse af AOP renseprocessen, hvorfor en bygherreleverance vil være naturlig. Det er ikke vurderet hvilken effekt denne fremgangsmetode vil have på overslagspriserne.

Sammenfattende vurderes at alle 4 løsninger kan etableres i 2019 under forudsætning af at beslutning om valg af løsning sker senest den 1. august og detailprojektering ligeledes påbegyndes den 1. august. Der må forventes ca. 2-3 måneder til levering af AOP-enheden. Løsning D kan evt. leases af firmaet som en mobil containerløsning af det hollandske firma Water IQ, bilag F.



## 13 Sammenfatning og anbefaling til detailprojektering

I denne rapport er der gennemført en udredning af mulighederne for at reducere påvirkningen af Grindsted Å. Helt konkret ønsker Region Syddanmark at etablere et midlertidigt anlæg til rensning af grundvand på Renseanlæg Vest-grunden. Denne rapport omfatter første fase som er udarbejdelsen af et afværgeprogram med beskrivelse og vurdering af mindst to løsningsmuligheder.

Ved udpegning af de mest egnede afværgeløsninger er der udført en proces som omfatter:

- > Indledende screening til identifikation af mulige afværgeløsninger.
- > Detaljeret screening med sammenligning af potentielt egnede afværgeløsninger.
- > Detaljeret analyse med en mere dybtgående vurdering af metoderne både teknisk og økonomisk.

### Indledende screening

I den indledende screening er der vurderet 2 principper til reduktion af påvirkningen af Grindsted Å:

- > Oppumpning af grundvand og drænvand og on site-rensning på Renseanlæg Vest-grunden. Her oppumpes drænvand og forurenede grundvand tæt på åen, og det forurenede vand renses i et overjordisk behandlingsanlæg. Det rensede vand udledes til Grindsted Å, reinfiltreres til grundvandszonen eller ledes til det offentlige kloaksystem.
- > In situ-afværge af grundvand. Her renses grundvandsforureningen nede i selve grundvandsmagasinet. Det rensede grundvand strømmer naturligt videre nede i grundvandsmagasinet og senere op i Grindsted Å.

På baggrund af screeningen er udpeget en række potentielt egnede metoder for begge afværgeprincipper.

For oppumpningsløsningen er der udpeget en række egnede metoder som er nærmere belyst i den detaljerede screening.

For in situ-metoder findes der også en række egnede metoder som sandsynligvis kan reducere påvirkningen af Grindsted Å. Tidsmæssigt er det dog ikke muligt, at der kan igangsættes en in situ-oprensning inden for den planlagte tidsplan (31. december 2019). På baggrund heraf er det aftalt med Region Syddanmark, at der i nærværende afværgeprogram ikke foretages detaljeret screening af mulige in situ-metoder.

### Detaljeret screening

I den detaljerede screening er der i alt vurderet 10 potentielt egnede løsninger. Fire af de opstillede løsninger er vurderet som de mest egnede og disse løsninger er valgt til at indgå i den detaljerede analyse. De fire løsninger omfatter alle

avanceret vandrensning med AOP-reaktor – dvs. en kraftig iltning af forureningsstofferne, så de omdannes til uskadelige nedbrydningsprodukter (fx. kuldi-oxid og vand).

Detaljeret analyse De fire løsninger, hvor der er gennemført en detaljeret analyser omfatter alle følgende procestrin:

- 1 Oppumpning af forurenede grundvand og drænvand som skal renses,
- 2 Forrensning gennem sandfilter for jern og mangan.
- 3 AOP-behandling til nedbrydning af organiske miljøfremmede stoffer i en særlig AOP-reaktor. Der er foretaget detaljeret analyse af fire forskellige løsninger med AOP-processer:
  - > Løsning A: Ozon
  - > Løsning B: Ozon + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
  - > Løsning C: UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
  - > Løsning D: Katalytisk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> filter
- 4 Efterfiltrering gennem kulfilter til fjernelse af rester af iltningmidler og eventuelle restprodukter af miljøfremmede stoffer.
- 5 Bortskaffelse af rensede vand enten til recipient, grundvandszonen eller spildevandssystem.

Overordnet vurderes det, at alle fire løsninger potentielt kan rense det oppumpede grundvand og drænvand fra forureningsfanen fra fabriksgrunden i Grindsted. Der er dog usikkerhed omkring renseseffektivitet for alle metoder, herunder forbrug af kemikalier og energi til rensningen.

Løsning A (Sandfilter + Ozon + GAC) er en moden metode, men det er usikkert om løsningen kan rense for alle de organiske forureningskomponenter. Desuden er der en risiko for arbejdsmiljøet ved brug af ozon og potentiale for dannelse af det giftige bromat. Økonomisk er løsningen den anden billigste både mht. etablering og drift.

Løsning B (Sandfilter, ozon + brintperoxid + GAC) har et større oxidationspotentiale, og det vurderes at løsningen med stor sandsynlighed effektivt vil kunne rense for alle de organiske forureningskomponenter. Der er en risiko for arbejdsmiljøet ved brug af ozon og potentiale for dannelse af det giftige bromat. Erfaring med metoden er stor i USA, men der er ingen erfaring i Danmark. Økonomisk er løsningen på niveau med løsning A for etablering men lidt dyrere i drift.

Løsning C (Sandfilter + Brintperoxid + UV, GAC) har samme oxidationspotentiale som løsning B og D og det vurderes, at løsningen med stor sandsynlighed effektivt vil kunne rense for alle de organiske forureningskomponenter. Der er ikke

samme risiko for arbejdsmiljøet som ved løsning A og B, hvor der er brug af ozon, og der er ikke risiko for dannelse af bromat. Erfaring med metoden er relativ stor i USA, men lille i Danmark. Økonomisk er løsningen den dyreste både mht. etablering og drift.

Løsning D (Sandfilter, Brintperoxid/Katalysator + GAC) har samme oxidationspotentialer som løsning B og C og det vurderes, at løsningen med stor sandsynlighed effektivt vil kunne rense for alle de organiske forureningskomponenter. Der er ikke samme risiko for arbejdsmiljøet som ved løsning A og B ved brug af ozon, og der er ikke risiko for dannelse af bromat. Erfaring med metoden er dog relativ lille, og i Danmark er der ingen erfaring med metoden. Desuden er metoden ikke tidligere anvendt til rensning af de forureningskomponenter som findes i forureningsfanen i Grindsted. Økonomisk er det den billigste løsning både mht. etablering og drift, men da erfaring med metoden er lille, vurderes det også at denne løsning har den største usikkerhed mht. økonomi.

Samlet set vurderes alle 4 løsninger at være relevante, idet de alle har deres styrker og svagheder. For at kunne udpege den mest cost-effektive løsning er det derfor vores anbefaling, at der udføres laboratorietest til vurdering af rensningseffektivitet samt designparametre for fuldskalaløsning.

#### Økonomi

Afhængig af, hvilken afværgeløsning der vælges, vil udgifterne jf. Tabel 9-1 være:

- > Etablering: mellem 6,8 og 8,7 mio. kr.
- > Drift: mellem 1,3 og 2,0 mio. kr./år

Hertil kommer udgifter til forundersøgelser hvis omfang er vist i Tabel 11-2. Udgifterne til forundersøgelser vurderes at være i størrelsesorden 1,5-2 mio. kr. afhængig af ønsket detaljeringsgrad og robusthed og skal derfor drøftes nærmere.

## 13.1 Anbefaling

Før der laves detailprojektering anbefales det, at der udføres laboratorietest til vurdering af rensningseffektivitet samt designparametre for fuldskalaløsning. Først herefter kan den mest cost-effektive løsning vurderes. Desuden anbefales, at der udføres de foreslåede forundersøgelser jf. Tabel 11-2.

Såfremt der ikke udføres forudgående laboratorieforsøg er det vores anbefaling at der vælges løsning C. Det er vores vurdering at denne løsning er den mest robuste og der er ikke risiko for dannelse af bromat. Herudover er løsningen ikke så kritisk mht. arbejdsmiljø som de 2 løsninger med ozon (løsning A og B). Løsningen er dog også den dyreste både mht. etablering og drift. Det er dog muligt at driftsudgifter (her især udgifter til strøm) vil være lavere end angivet i Tabel 6-1. Det vil afhænge af den konkrete driftssituation og hvor nemt den organiske forurening renses i AOP enheden og i det efterfølgende kulfilter.

## 14 Referencer

- 1 Udbudsmateriale, Underhåndsbud. Projektering af afværgeforanstaltninger efter Jordforureningsloven overfor forureningsfanen fra det tidligere Grindstedværkets fabriksgrund, Region Syddanmark, 24. januar 2019.
- 2 Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. BEK nr. 1625 af 19/12/2017.
- 3 Bolton, R. J. & Collins, Advanced Oxidation Handbook, AWWA, 2016.
- 4 Stasinakis, A.S., Global NEST Journal, Vol 10, No 3, pp 376-385, 2008.
- 5 Kruuseman, G.P. og de Ridder, N.A. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Publication 47. 1994.
- 6 Udpegning af indvindings- og grundvandsdannende oplande (Del 1). Vejledning i oplandsberegninger i forbindelse med den nationale grundvandskortlægning. Claus Holst Iversen, Lisbeth Ulsøe Lauritsen, Thomas Nyholm og Jan Kürstein. GEO-VEJLEDNING 2. GEUS 2008.
- 7 Region Syddanmark. Lok.nr. 565-32009: Tidl. Renseanlæg Vest/Gartnergården, 7200 Grindsted. Videregående undersøgelse. Journal nr.: 16/24184. November 2017. Orbicon for Region Syddanmark.
- 8 Region Syddanmark. Redegørelse over anvendte kemikalier på Grindstedværket og deres potentielle trussel i forhold til miljøet. Rapport med tilhørende database. NIRAS for Region Syddanmark, nov. 2009.
- 9 Miljøstyrelsen. Vurdering af påvirkning af Grindsted Å og Grindsted Eng sø fra jordforureningerne fra Grindstedværket. Den 2. februar 2011.
- 10 Alectia. Grindsted forureningskortlægning. Modelopsætning og kalibrering. 2015.
- 11 Balbarini, N. Modelling tools for integrating geological, geophysical and contamination data for characterization of groundwater plumes. DTU, 2017.
- 12 Miljøstyrelsen. Notat om vandkvalitetskriterier for barbiturater og kommentarer til DHI-rapporten om vandkvalitetskriterier for disse stoffer fremsendt til MST til Region Syddanmark 1/12-2010. 3. december 2010.
- 13 Kærgård Plantage Delrapport 5 - Pilot test with ISCO and sequenced ISCO/ERD in Pit 1, Rambøll/COWI/ISOTEC/GeoSyntec. november 2011.
- 14 Afværgekatalog, Projekteringsparametre for afværge: <https://www.miljoeogressourcer.dk/afvaergekatalog.php>.
- 15 Kærgård Plantage Delrapport 6 - Pilot test with enhanced reductive dechlorination in pit 2, Rambøll/COWI/ISOTEC/GeoSyntec. November 2011.

- 16 Mail fra Region Syddanmark, Jørn K. Pedersen. Analysedata vedr. dræn. 24. April 2019.
- 17 Arbejdsgruppen vedrørende Kærgård Plantage. Delrapport 4. Laboratory Treatability Tests of Chemical Oxidation and Bioremediation Technologies for groundwater remediation Kærgård Plantage (Grindstedværkets gruber). COWI og Geosyntec for Ribe Amt og Miljøstyrelsen, 22. november 2006
- 18 Kemisk oxidation af sediment- og grundvandsforureningen på depotet ved Høfde 42 - fase 1: Projektbeskrivelse og forundersøgelser. Miljøprojekt Nr. 1194 2007. COWI, Geosyntec og Isotech for Miljøstyrelsen.
- 19 Håndtering af pesticid-holdigt spildevand fra væksthushavterier. En teknisk, miljømæssig og økonomisk vurdering af forskellige rensningsmetoder. COWI, December 2017 for Miljøstyrelsen.
- 20 Videncenter for Jordforurening. Afværgekatalog. Teknik og Administration Nr. 4 2007.
- 21 Personlig korrespondance med Director Zhuoyan Cai, Aquarden Technologies ApS, Industrivej 17, DK-3320 Skævinge
- 22 Afværge af grundvandsforurening ved kombination af Flushing og MPPE-vandrensning. Miljøprojekt Nr. 725 2002 Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening.
- 23 Membranfiltrering, erfaring og muligheder i dansk vandforsyning. Miljøprojekt Nr. 882 2004.
- 24 Permeable Reactive Barrier: Technology Update. The Interstate Technology & Regulatory Council. PRB: Technology Update Team. June 2011.
- 25 Aquarden Technologies. Destruction of environmentally hazardous pharmaceuticals with SCWO. May 2018, se [www.aquarden.com](http://www.aquarden.com).
- 26 Miljøprojekt Nr. 391. 1998. Vandrensning ved hjælp af aktiv kulfiltre.
- 27 Vejledning om videregående vandbehandling. Miljøstyrelsen, Høringsudkast, Februar 2019.
- 28 Systematisk beskrivelse af afværgemetoder er udført af den Amerikanske Miljøstyrelse (USEPA), se <https://clu-in.org/remediation/>
- 29 Removal of bromide and bromate from drinking water using granular activated carbon. Yong-qing Zhang, Qing-ping Wu, Ju-mei Zhang and Xiu-hua Yang. Journal of Water and Health, 13.1, 2015
- 30 Reduction of Bromate Formation During Ozonation of Drinking Water. Antoniou, Maria; Sichel, C.; Andre, K.; Andersen, Henrik Rasmus, DTU, 2011.

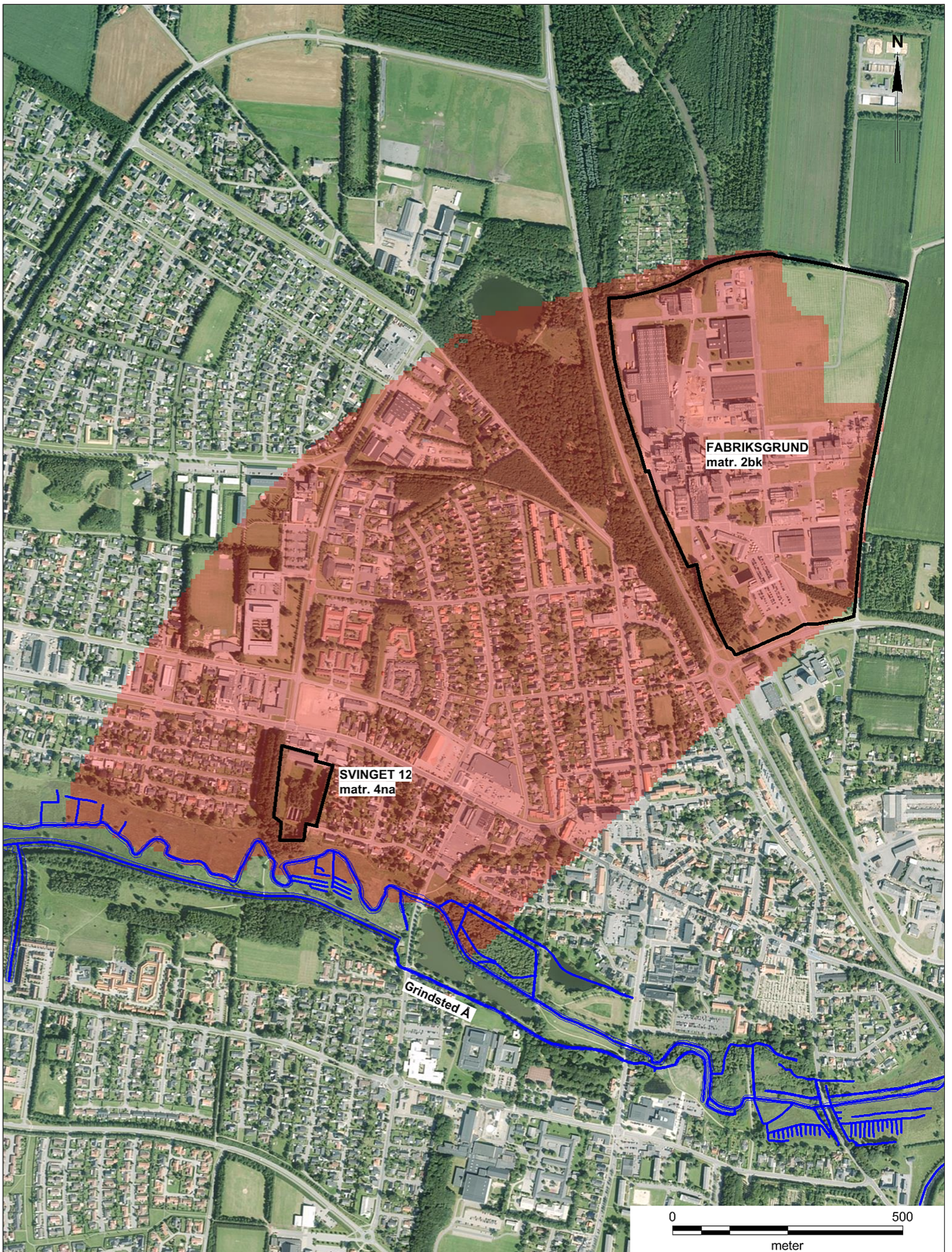


## Bilag A Tegninger

### A.1 Oversigtskort med grundvandsfane







Grundkort: © copyright Kort & Matrikelstyrelsen. Reproduceret i henhold til tilladelse G11-98. Ortofoto: DDO@land2016, © COWI A/S.

Signaturer:

Foureningsfane

**Regions Syddanmark  
Grindstedværket**

**Situationsplan**

Bemærkninger

O:\A12000\A121940\GIS\Bilag\_A1\_å\_wor

**COWI**

COWI A/S  
Vestre Stationsvej 7  
5000 Odense C

Telefon 56 40 00 00  
Telefax 56 40 99 99  
www.cowi.dk

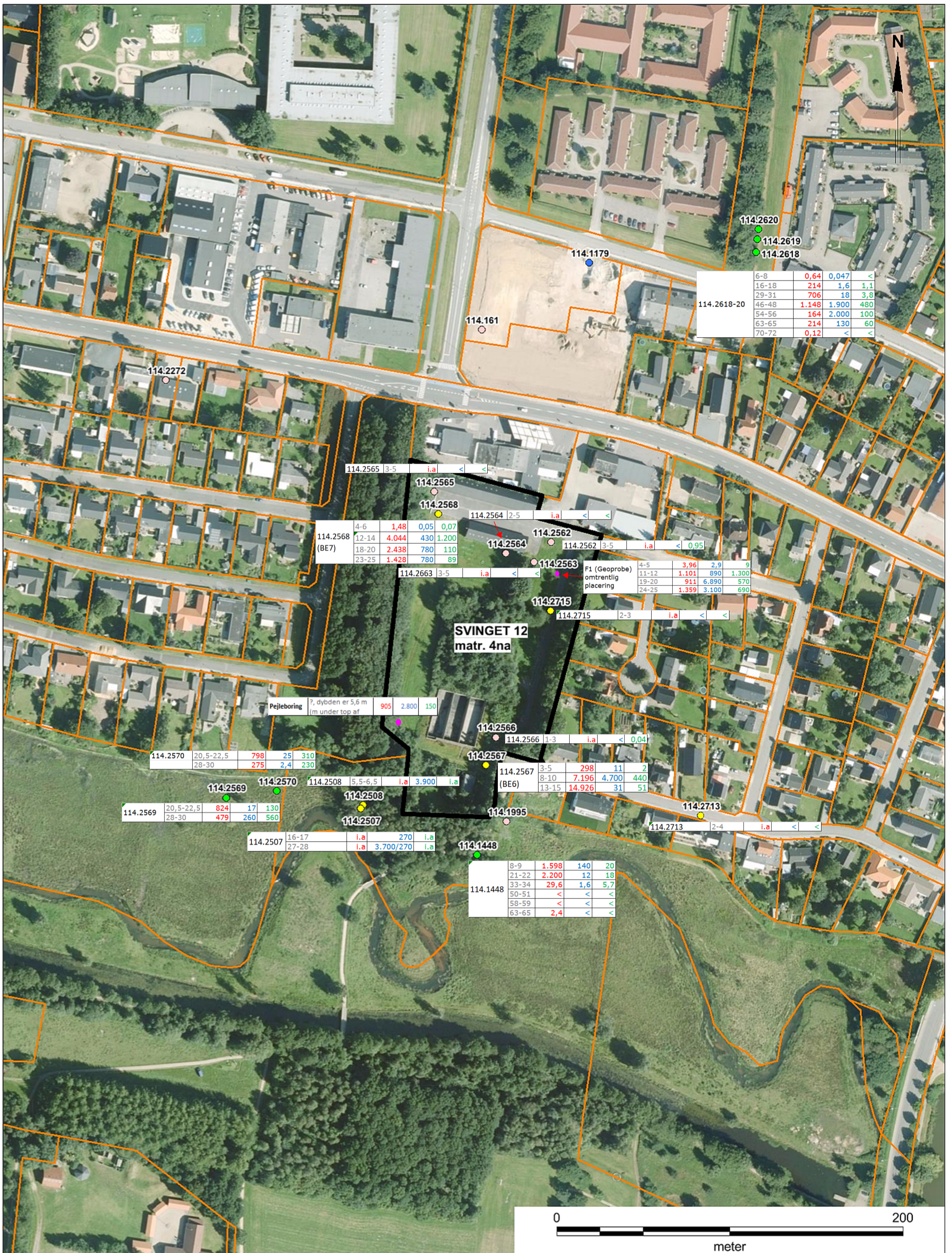
ATR-nr.	A121940-002
Tegnr./Udarb.	PJN
Kontr.	AKRA
Godek.	AKRA
MM	1:7.500 (A3)
Dato	13. juni 2019

Dokument nr.	Rev.
<b>Bilag A1</b>	<b>0</b>



## A.2 Oversigtskort, detailkort ved Svinget 12





Grundkort: © copyright Kort & Matrikelstyrelsen. Reproduceret i henhold til tilladelse G11-98. Ortofoto: DDO@land2016, © COWI A/S.

**Signaturer:**

- Anden boring
- Miljøboring
- Sløjfet boring
- Vandboring

Boring	Filter (m u.t.)	Sum Grindstoffer (µg/l)	Vinylklorid (µg/l)	Benzen (µg/l)
--------	-----------------	-------------------------	--------------------	---------------

**Regions Syddanmark  
Grindstedværket**

**Situationsplan**

Bemærkninger

O:\A12000\A121940\GIS\Bilag\_A2.wor

**COWI**

COWI A/S  
Vestre Stationsvej 7  
5000 Odense C

Telefon 56 40 00 00  
Telefax 56 40 99 99  
www.cowi.dk

ATR-nr.	A121940-002
Tegn./Udarb.	PJN
Kontr.	AKRA
Godk.	AKRA
MM	1:2000 (A3)
Dato	30. april 2019

Dokumentnr.	Rev.
<b>Bilag A2</b>	<b>0</b>



## A.3 Profiler





# Signaturforklaring

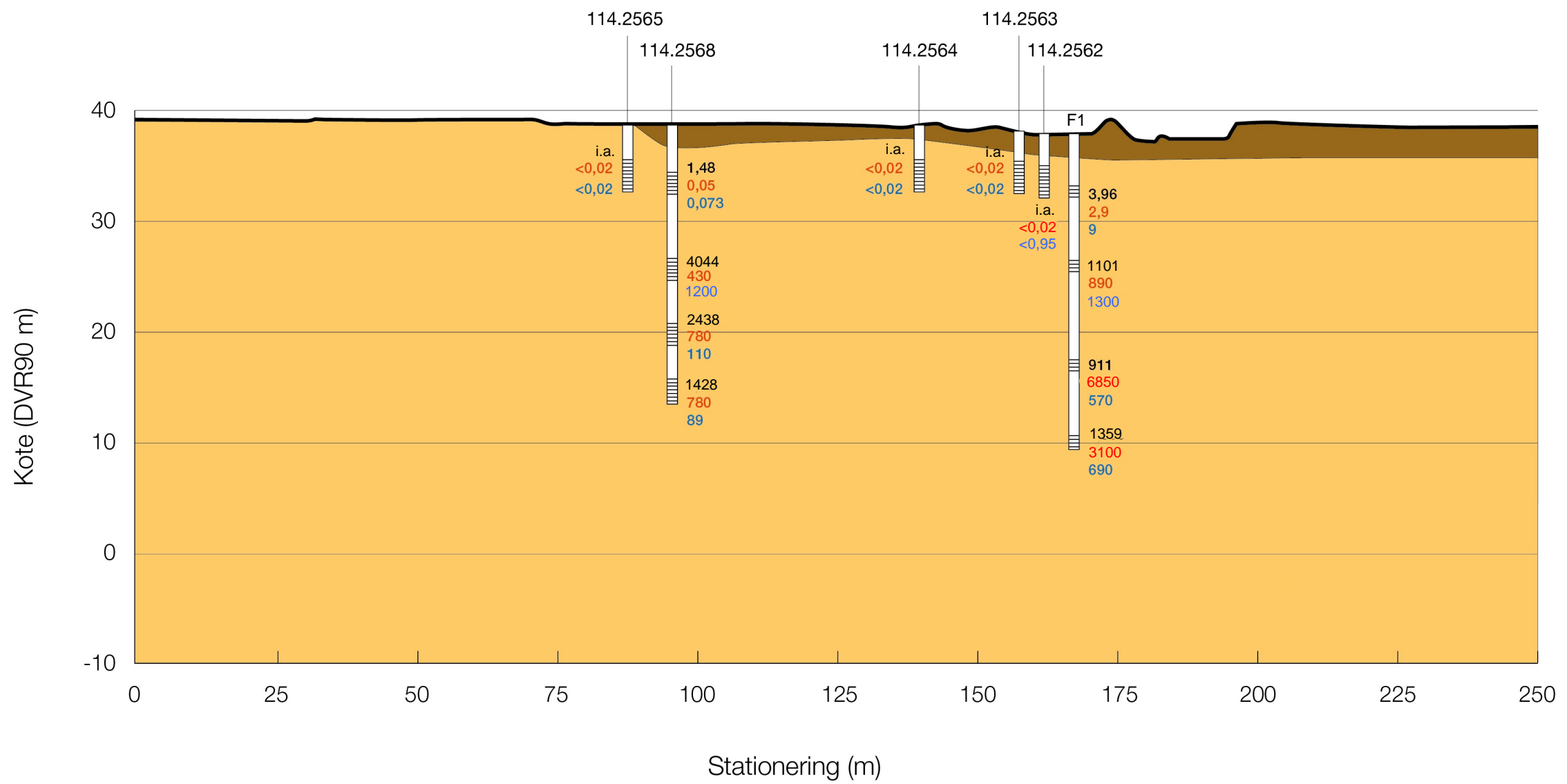
## PROFIL NORD

- FYLD / MULD
- SAND
- xxx Sum Grindsted-stoffer, grundvand (µg/l)
- xxx Vinylklorid, grundvand (µg/l)
- xxx Benzen, grundvand (µg/l)
- 114.2565 Boringsnummer
- Filterstrækning

Koordinatsystem: ETRS89 UTM 32N

V

Ø



### Grindsted afværgeforanstaltninger

Geologisk profil, Nord

ATR: A121940  
 Udarbejdet: MGPA  
 Kontrolleret: KAPN  
 Godkendt: AKRA

DOKUMENT \projects\cowportal\configs\A121940\Documents\03 Project documents\Geologi\Profil\G29\Grindsted.gzd

SKALA 1:1  
 DATO 12.04.2019

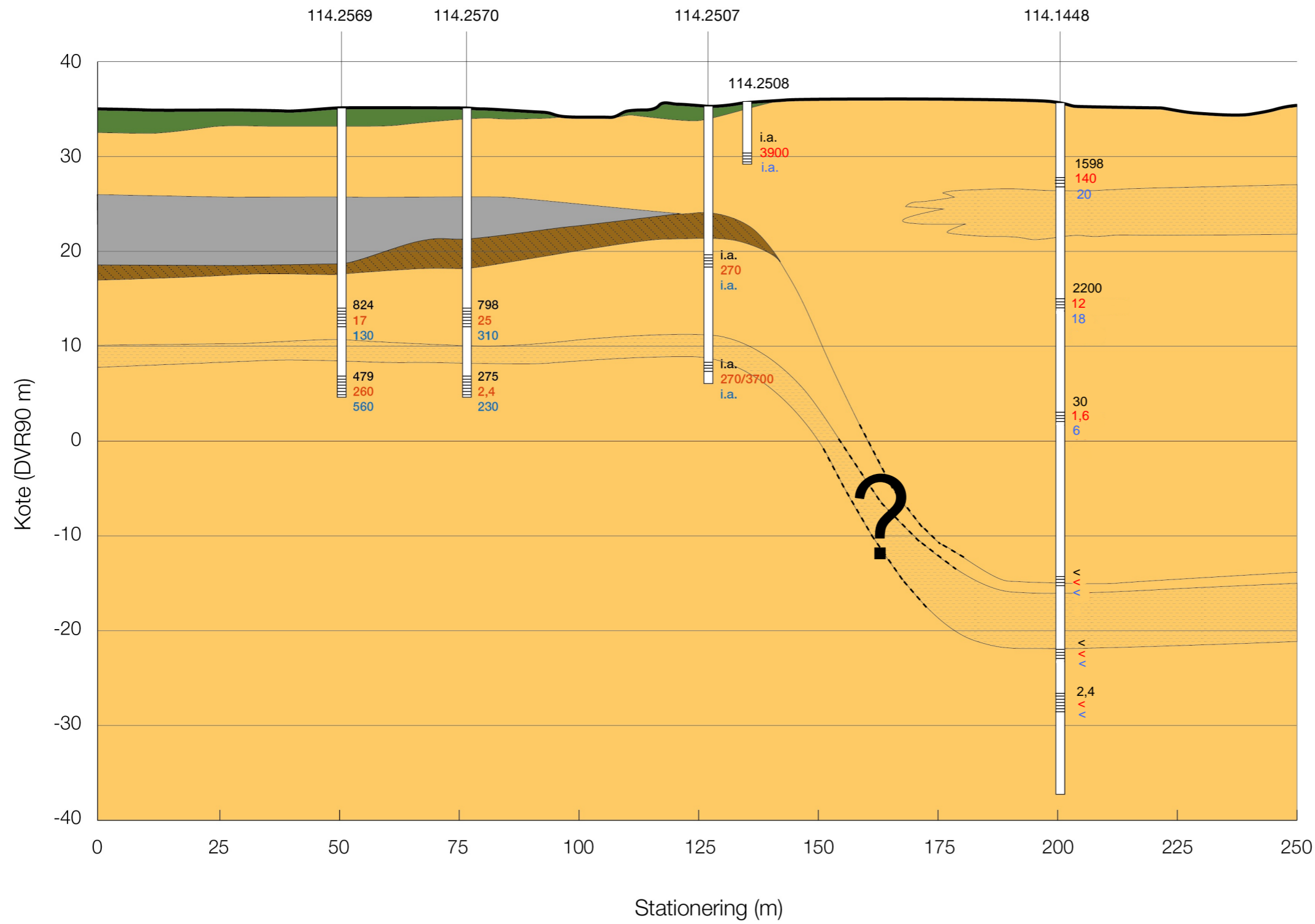


COWI A/S  
 Parallelvej 2  
 DK-2800 Kongens Lyngby  
 Tlf +45 56 40 00 00  
 Fax +45 56 40 99 99  
 www.cowi.com



V

Ø



### Signaturforklaring

#### PROFIL SYD

- FYLD / MULD
- SAND
- TØRV
- LER
- BRUNKUL
- LER / SAND MIX
- xxx Sum Grindsted-stoffer, grundvand (µg/l)
- xxx Vinylklorid, grundvand (µg/l)
- xxx Benzen, grundvand (µg/l)
- 114.2565 Børingsnummer
- Filterstrækning

Koordinatsystem: ETRS89 UTM 32N



### Grindsted afværgeforanstaltninger

Geologisk profil, Syd

ATR: A121940  
 Udarbejdet: MGPA  
 Kontrolleret: KAPN  
 Godkendt: AKRA

DOKUMENT \\projects.cowportal.com\ps\A121940\Documents\03 Project documents\Geologi\Profiler\GIS\Grindsted.apz SKALA 1:1320  
 DATO 12.04.2019



## Bilag B Matrix for udvælgelse af fokusstoffer









## Bilag C Indledende screening af rensemetoder til vandbehandling



Metode/process	Kort metodebeskrivelse	Renseeffektivitet over for stofgrupper					Anvendelse		Erfaring med metoden (laboratorie/pilot/fuldskala)	Indledende vurdering	Valgt til detaljeret screening
		Opløst jern og mangan	Klorede opløsningsmidler (PCE, TCE)	Klorede opløsningsmidler (DCE, VC)	TPH, BTEX	Pharma (barbiturater and sulfonamides)	Kan anvendes som "Primær" metode	Anvendelse som "Supplerende" teknik			
Iltning af grundvand og filtrering gennem sandfilter /ref. 14, 20/	Det oppumpede vand iltes og ledes gennem sandfilter, hvor mangan og jern fjernes. Herefter sker der efterbehandling af forureningsstoffer.	Ja	Nej men der sker afdampning	Nej men der sker afdampning	Nej men der sker afdampning	Nej	Nej	Ja	Stor (fuldskala)	Er formentlig nødvendig som forbehandling på grund af højt jernindhold. Vil kun fjerne jern og mangan. Kræver returskylning som vil medføre "slam, vand" som skal håndteres særskilt. Desuden skal "headspace" med flygtige komponenter ligeledes håndteres særskilt. Kan anvendes i kombination med GAC eller andre teknikker. VOC'er kan stripes ved iltning - hvilket skal håndteres. En anden metode er tilsætning af klorin istedet for ilt, men kloring er ikke ønskeligt i vandmiljøet. Behandling af slam og vand fra returskylning kan være problematisk at slutdisponere.	Ja
"Manganese Greensand" til fjernelse af jern og mangan uden iltning af grundvand /ref.:se bilag H/	Det oppumpede grundvand ledes gennem filter med "Manganese Greensand" og jern og mangan udfældes i filteret ved katalytiske processer. Der sker ingen iltning og der er ikke noget "headspace" i filteret, hvorfor der ikke sker afdampning af flygtige stoffer som skal behandles.	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	Stor i Nordamerika, men ingen eller kun lille erfaring i DK	Er formentlig nødvendig som forbehandling på grund af højt jernindhold. Vil kun fjerne jern og mangan. Kan anvendes i kombination med GAC- og AOP-teknikker. Behandling af slam og vand fra returskylning kan være problematisk at slutdisponere.	Ja
Vandrensning med traditionel aktivt kul (GAC) /ref. 19, 26, 27 samt bilag I/	Det oppumpede vand renses ved at bruge traditionelt aktivt kul. Metoden er relativ simpel og er nok den mest udbredte rensningsmetode. Inden vandet ledes gennem kullet, skal der ske en afjerning - ellers falder kullet adsorbitionsevne kraftigt.	Nej	Ja	Delvis	Ja	Delvist	Ja	Ja	Stor (fuldskala), men mindre erfaring for pharmastoffer	Metoden er effektiv til at rense for kulbrinter, BTEXN og PCE og TCE. Metoden er mindre effektiv til at fjerne DCE og VC. Er sandsynligvis ikke effektiv for pharmastoffer (men ikke testet herfor). Forrensning af jern og mangan er nødvendig.	Ja
Avancerede oxidationsprocesser (AOP). Det oppumpede vand renses ved at bruge avancerede oxidationsprocesser /ref. 3, 4, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 27/	Ozon (O <sub>3</sub> )	Nej	Ja	Ja	Delvis?	Delvis?	Ja	Nej	Stor (fuldskala), men lille for pharmastoffer	Metoden er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder pharmastoffer. Det vides dog ikke, om der sker dannelse af toksiske nedbrydningsprodukter. Metoden er den billigste og mest nvendte AOP-metode. Metoden kræver forrensning af jern og mangan. Forekomst af bromidioner (Br <sup>-</sup> ) kan danne giftige nedbrydningsprodukter (skal analyseres i grundvandsprøve). Kræver sandsynligvis efterrensning med kulfilter.	Ja
	O <sub>3</sub> +UV (photochemical oxidation)	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Medium (fuldskala), men ingen erfaring med Grindsted pharma stoffer	Metoden er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder pharmastoffer. Metoden kræver forrensning af jern og mangan. Forekomst af bromidioner (Br <sup>-</sup> ) kan danne giftige nedbrydningsprodukter (skal analyseres i grundvandsprøve). Kræver god gennemtrængning af UV-stråler. Kræver sandsynligvis efterrensning med kulfilter.	Ja
	O <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	CVOC's - stor erfaring med fuldskala. For pharmastoffer medium erfaring i fuldskala.	Metoden er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder pharmastoffer. Metoden kræver forrensning af jern og mangan. Forekomst af bromidioner (Br <sup>-</sup> ) kan danne giftige nedbrydningsprodukter (skal analyseres i grundvandsprøve). Kræver sandsynligvis efterrensning med kulfilter. Testet i laboratoriet for Kærgård-forurening. Her blev der fundet god behandling af VOC'er og pharmastoffer /5/ (dog ikke rensning for chloroform og DCM).
Avancerede oxidationsprocesser (AOP). Det oppumpede vand renses ved at bruge avancerede oxidationsprocesser /ref. 3, 4, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 27/	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + UV	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	CVOC's - stor erfaring med fuldskala. For pharmastoffer medium erfaring i fuldskala.	Metoden er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder pharmastoffer. Metoden kræver forrensning af jern og mangan. Kræver god gennemtrængning af UV-stråler. Kræver sandsynligvis efterrensning med kulfilter.	Ja

Metode/process	Kort metodebeskrivelse	Renseeffektivitet over for stofgrupper					Anvendelse		Erfaring med metoden (laboratorie/pilot/fuldskala)	Indledende vurdering	Valgt til detaljeret screening
		Opløst jern og mangan	Klorerede opløsningsmidler (PCE, TCE)	Klorerede opløsningsmidler (DCE, VC)	TPH, BTEX	Pharma (barbiturater and sulfonamides)	Kan anvendes som "Primær" metode	Anvendelse som "Supplerende" teknik			
	KMnO <sub>4</sub>	Nej	Ja	Ja	Ja (men ikke benzen)	Delvis	Nej	Nej	Lille erfaring i feltet. Testet	Testet i laboratoriet for Kærgård-forurening. Her blev der fundet god behandling af VOC'er og sulfonamider, men dårlig behandling af barbiturater og benzen. Er ikke en moden metode til anvendelse på Grindsted-projektet.	Nej
	Fentons (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + Fe katalysator), Modifieret Fentons (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + Fe katalysator + pH-stabilisering til pH på ca. 7).	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Stor erfaring med traditionel Fentons for rensning af spildevand, men lav for on site-rensning af grundvand. Modifieret Fentons anvendes udelukkende til in situ-behandling af jord- og grundvandsforurening. Anvendes for at holde pH neutralt i modsætning til traditionel Fentons, hvor pH typisk sænkes væsentligt.	Både traditionel Fentons og Modifieret Fentons er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder pharmastoffer. Metoden kræver forrensning af jern og mangan. Testet i laboratoriet for Kærgård-forurening. Her blev der fundet god behandling af VOC'er og pharmastoffer (dog ikke rensning for chloroform og DCM) /5/. Kræver sandsynligvis efterrensning med kulfilter.	Ja
	Aktiveret persulfat (Persulfat + aktivator). Aktivator kan være temperatur, Fe-katalysator, basisk aktivering, permanganat.	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Anvendes som afværgemetode til oprensning af forurening under grundvandsspejlet i grube 3. Er påvist effektiv til at rense alle Grindsted-forureningskomponenterne. Efter vores viden ikke nogen erfaring med at anvende metoden til on site-vandbehandling.	Aktiveret persulfat er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder pharmastoffer. Metoden kræver forrensning af jern og mangan. Kræver sandsynligvis efterrensning med kulfilter.	Ja
	UV + Chlorin	Nej	Ja	Ja	Ja	?	Ja	Nej	Lav-medium. Lille erfaring med pilot- og fuldskala.	Metoden er relativt uafprøvet, men er under udvikling især i USA. Metoden kan potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer, herunder pharmastoffer. pH skal sænkes ved vandrensningen. Chlorinrester kan være et problem (smag og biprodukter). Kræver god gennemtrængning af UV-stråler.	Nej
Vandrensning ved makro-porøs polymer extraction (MPPE) /ref. 22/	Det oppumpede vand renses ved at bruge små hydrofobe plastpartikler, som er placeret i en rensokolonne. Mellem plastpartiklerne findes der en ekstraktionsvæske, som tilbageholder forureningen. Rensokolonnen regenereres med damp, med opsamling af kondensat i udskillere. Virker bedst på klorerede opløsningsmidler.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja	Lav for grundvandsrensning. Medium-høj for rensning af industrielt spildevand. Geosyntec her erfaring med metoden som pilotanlæg.	Tilsvarende som for GAC, men med on site-regenerering. Opkoncentrerede forureningskomponenter skal bortskaffes.	Nej
Ionbytning/syntetiske resiner /ref. 27/	Det oppumpede vand renses ved at bruge syntetiske resiner, som er et syntetisk granulat med en høj adsorbtionsevne. Granulatet er dyrere end aktivt kul, men kan regenereres med syrer/opløsningsmidler.	Ja	Nej	Nej	Nej	?	Nej	Måske	Lav for klorerede opløsningsmidler og pharmastoffer.	Anion-resin kan have kapacitet for rensning af nogle pharmastoffer, afhængig af pH. Metoden vurderes for uafprøvet til at blive anvendt på Grindsted-projektet.	Nej

Metode/process	Kort metodebeskrivelse	Renseeffektivitet over for stofgrupper					Anvendelse		Erfaring med metoden (laboratorie/pilot/fuldskala)	Indledende vurdering	Valgt til detaljeret screening
		Opløst jern og mangan	Klorerede opløsningsmidler (PCE, TCE)	Klorerede opløsningsmidler (DCE, VC)	TPH, BTEX	Pharma (barbiturater and sulfonamides)	Kan anvendes som "Primær" metode	Anvendelse som "Supplerende" teknik			
Airstripping /ref. 20, 27/	Det oppumpede grundvand iltes kraftigt med luft og de flygtige stoffer stripkes til luftfasen. Forureningen i luftfasen renses efterfølgende.	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej	Ja	Stor erfaring med klorerede opløsningsmidler i fuldskala.	Metode blev tidligere ofte anvendt til grundvandsrensning af CVOCs, men der var ofte udfordringer med udfældning af jern.	Ja
Super critical water oxidation (SCWO) /ref. 21, 25/	Efterrensningsmetode til biologisk rensset hospitalsspildevand til destruktion af lægemiddelstoffer og andre svært nedbrydelige miljøfremmede organiske stoffer i spildevand. De organiske stoffer nedbrydes til vand, kuldioxid og kvælstof med ilt under superkritiske forhold (ca. 250 bar og 550-600 grader Celcius). De uorganiske salte udskilles i et saltkoncentrat. Da SCWO-anlæg har forholdsvis lav kapacitet, vil man ofte opkoncentrere urenhederne først.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Lille erfaring da det er en forholdsvis ny metode. Der findes dog erfaring med rensning af pharmastoffer.	Anlæg kan lejes og leverandør står for driften. Metoden er sandsynligvis effektiv til rensning af alle de organiske stoffer. Metoden kræver forbehandling (opkoncentrering) inden rensning med SCWO fx. med membranfiltrering, se nedenstående.	Ja
Membranfiltrering /ref. 23, 27/	Det oppumpede vand renses ved membranfiltrering. Membranfiltreringsteknikkerne kategoriseres efter størrelsesordenen af porestørrelsen i membranen og dermed størrelsesordenen af partiklerne membranen tilbageholder. I faldende størrelse findes der følgende 4 kategorier: -Mikrofiltrering (MF), Ultrafiltrering (UF), Nanofiltrering (NF), Omvendt osmose (RO). For behandling af grundvand fra Grindsted-forureningen vil NF og RO umiddelbart være de mest relevante.	Ja	Ja	Sandsynligvis men det vil være vanskeligt at opnå en rensegrad for VC svarende til kvalitetskrav for overfladevand på 0,05 ug/l	Ja	Sandsynligvis, men ikke testet	Nej	Ja	Kun begrænset erfaring til rensning af grundvand i Danmark, og ingen erfaring for den specielle Grindsted-forurening.	Kan sandsynligvis fjerne alle Grindsted-stofferne, men der skal laves test forinden anvendelse. Der vil være et "opkoncentrat" som skal behandles eller bortskaffes. Kan med fordel kombineres med SCWO-metoden til behandling af "opkoncentratet", se oventående.	Ja - i kombination med SCWO
Nul Valent Jern (ZVI) /ref. 17, 20, 24/	Det oppumpede vand renses gennem reaktor med ZVI - jerngranulat.	Nej - men udfældes	Ja	Ja	Kun delvis	Kun delvis	Nej	Nej	Stor erfaring med nedbrydning af klorerede opløsningsmidler, men ingen erfaring med nedbrydning af pharmastoffer i pilot- eller fuldskala.	Metoden vil sandsynligvis ikke kunne nedbryde alle Grindsted-stofferne. Halveringstid for vinylklorid forventes at være stor (>24 timer), hvilket vil betyde, at reaktor skal være meget stor (med en opholdstid på 24 timer, en pumpeydelse på 10 m <sup>3</sup> /time og en effektiv porøsitet på 0,2 vil reaktoren skulle være ca.1200 m <sup>3</sup> ). Metoden vurderes derfor ikke at være cost-effektiv.	Nej
Bioreaktor /ref. 15, 17, 19, 20/	Det oppumpede vand behandles biologisk i bioeaktor.	Ja	Ja	Ja	Ja	Kun delvist	Ja	Ja	Medium for cVOCs og BTEX	Tidligere laboratorieforsøg på grundvand fra Kærgård Plantage viste dårlig biologisk nedbrydning af pharmastoffer og høje driftsudgifter.	Nej



## Bilag D Indledende screening af metoder til in situ-afværge





Metode/process <i>Referencer er angivet</i>	Kort metodebeskrivelse	Renseeffektivitet over for stofgrupper				Anvendelse		Tidsplan	Erfaring med metoden (laboratorie/pilot/fuldskala)	Indledende vurdering	Mulig metode til håndtering af Grindsted-forureningsfane	
		Klorerede opløsningsmidler (PCE, TCE)	Klorerede opløsningsmidler (DCE, VC)	TPH, BTEX	Pharma (barbiturater and sulfonamides)	Kan anvendes som "Primær" metode	Anvendelse som "Supplerende" teknik	Kan metoden gennemføres inden for den krævede tidsplan			Som "Primær" metode	Som "Supplerende" metode
Reaktive vægge med nulvalent jern (ZVI) og kombinationer heraf  /ref. 17, 20, 24, 28/	<u>Nulvalent jern (ZVI)</u> : Etablering af afskærende reaktive barrierer med nulvalent jern. Der findes forskellige typer af ZVI (nano-, mikro- og granulat), men processerne er de samme. ZVI tilsættes typisk ved injektion med DPT-udstyr (Direct Push - fx. Geoprobe). Tilsætning skal ske i hele indsatsområdets horisontale og vertikale udstrækning.	Ja	Ja	Delvis	Delvis	Nej	Ja	Nej	Stor erfaring med nedbrydning af klorerede opløsningsmidler (fuldskala), men ingen erfaring med nedbrydning af pharmastoffer i pilot- eller fuldskala.	Metoden vil sandsynligvis ikke kunne nedbryde alle Grindsted-stofferne. Holdbarhed af reaktanter (fx. ZVI) vurderes at være minimum 5 år og maksimalt 10 år. Så skal der igen tilsættes fx. ZVI. Kombination med andre reaktanter og evt. aktivt kul kan gøre metoden mere cost-effektiv og evt. rense grundvandet til et tilfredsstillende niveau.	Nej	Ja
	<u>Nulvalent jern i kombination med anden reaktant</u> : Der findes også kombinationer af ZVI med aktivt kul (fx. Trap & Treat® BOS 100®) hvor forureningen opfanges i kul og herefter nedbrydes abiotisk med ZVI. Desuden også kombinationer af ZVI og organisk stof (fx. EZVI® og Provect-IR™ til oprensning af klorerede opløsningsmidler) hvor der sker både abiotisk nedbrydning med ZVI og biotisk nedbrydning med stimuleret reduktiv deklorering.	Ja	Ja	Delvis	? - ikke undersøgt	Ja	Ja	Nej	Middel erfaring med oprensning af oliestoffer og klorerede opløsningsmidler i pilot- og fuldskala. Ingen erfaringer med oprensning af pharmastoffer i pilot- og fuldskala.		Nej	Ja
	<u>Reaktive vægge med aktivt kul (Trap Treat)</u> : Fx. tilsætning af aktivt kul med næringsstoffer og elektronacceptorer til grundvandszonen til nedbrydning af oliestoffer (Fx. Trap & Treat® BOS 200®). PlumeStop® (liquid activated carbon) er aktivt kul som tilsættes grundvandszonen og kan kombineres med tilsætning af kulstof og bakterier til at nedbryde klorerede opløsningsmidler.	Ja	Ja	Ja	?	Ja	Ja	Nej	Middel erfaring med oprensning af oliestoffer og klorerede opløsningsmidler i pilot- og fuldskala. Ingen erfaringer med oprensning af pharmastoffer i pilot- og fuldskala.		Nej	Ja
Kemisk oxidaton  /ref. 13, 14, 17,18, 20, 28/	<u>C-sparging med Ozon</u> : Injektion af luft blandet med ozon i den mættede zone til kemisk oxidation. Kan tilsættes via filtersatte borer.	Ja	Ja	Ja	?	Ja	Ja	Nej	Middel erfaring med oprensning af oliestoffer og klorerede opløsningsmidler i pilot- og fuldskala. Ingen erfaringer med oprensning af pharmastoffer i pilot- og fuldskala.	Metoden vurderes at være den mest relevante og cost-effektive af ISCO-metoderne. Ved høje indhold af jern kan der ske udfældning af jern som kan tilstoppe (tilklogge) injektionsboringer. Nedbrydning af pharmastofferne vil være den største udfordring, og der skal laves laboratorietest og evt. pilottest for at kunne vurdere om metoden er cost-effektiv ved fuldskala.	Ja	Ja
	<u>H2O2</u> : Der tilsættes brintperoxid til grundvandszonen for at nedbryde organisk forurening. Kan tilsættes via filtersatte borer. Oxidationspotentialet er ikke så stort som ved Fentons reaktion (se nedenstående) idet H2O2 ikke aktiveres. Der kan dog ske en vis aktivering, hvis der er opløst jern(II) i grundvandet. Tilsætning af H2O2 kan også medføre areob biologisk omsætning af organisk forurening.	Delvis	Delvis	Delvis	Delvis	Nej	Ja	Nej	Metoden er testet i laboratoriet med forurening fra Kærgård- forureningsfane /5/ (meget høje koncentrationer - ca. faktor 100 højere end Grindsted-fanen ved Grindsted Å). Der blev observeret en vis nedbrydning af alle organiske stoffer.	Metoden vurderes ikke at kunne stå alene (for lille oxidationspotential til at nedbryde fx. pharmastoffer. Ved høje indhold af jern kan der ske udfældning af jern som kan tilstoppe (tilklogge) injektionsboringer. Nedbrydning af pharmastofferne vil være den største udfordring, der skal laves laboratorietest og evt. pilottest for at kunne vurdere om metoden er costeffektiv ved fuldskala.Kan evt. kombineres med ozon.	Nej	Ja
	<u>Fentons/Modificeret Fentons</u> : Der tilsættes H2O2 + jernkatalysator til grundvandszonen, hvorved organisk forurening nedbrydes til kuldioxid og vand. Ved traditionel Fentons vil pH falde til typisk pH 3-4. Ved Modificeret Fentons vil pH typisk være neutral efter behandling. Tilsætning kan ske gennem filtersatte borer i hele indsatsområdets horisontale og vertikale udstrækning.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Metoden er anvendt til oprensning af kildeområde ved Kærgård Plantage i pilotskala (grube 1). Metoden anvendes normalt ikke som en afskæringsmetode.	Metoden er mest cost-effektiv til oprensning af kraftig forurening i selve kildeområdet eller området omkring kildeområdet. Vurderes ikke at være cost-effektiv i grundvandsfanen ved Grindsted.	Ja - men ikke costeffektiv	Nej

Metode/process <i>Referencer er angivet</i>	Kort metodebeskrivelse	Renseeffektivitet over for stofgrupper				Anvendelse		Tidsplan	Erfaring med metoden (laboratorie/pilot/fuldskala)	Indledende vurdering	Mulig metode til håndtering af Grindsted-forureningsfane	
		Klorerede opløsningsmidler (PCE, TCE)	Klorerede opløsningsmidler (DCE, VC)	TPH, BTEX	Pharma (barbiturater and sulfonamides)	Kan anvendes som "Primær" metode	Anvendelse som "Supplerende" teknik	Kan metoden gennemføres inden for den krævede tidsplan			Som "Primær" metode	Som "Supplerende" metode
	<u>Aktiveret persulfat</u> : Der tilsættes persulfat samt aktivator (jernkatalysator eller NaOH) til grundvandszonen hvorved organisk forurening nedbrydes til kuldioxid og vand. B2	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Middel - stor erfaring med metoden ved både pilot- og fuldskala. Metoden er anvendt til oprensning af kildeområde ved Kærgård Plantage i fuldskala (grube 3). Metoden anvendes normalt ikke som en afskæringsmetode.	Metoden er mest cost-effektiv til oprensning af kraftig forurening i selve kildeområdet eller området omkring kildeområdet. Vurderes ikke at være cost-effektiv i grundvandsfanen ved Grindsted.	Ja - men ikke costeffektiv	Nej
	<u>Permanganat</u> : Tilsætning af permanganat i et barrieresystem eventuelt med recirkulation. Tilsætning kan ske i en række af afskæringsboringer eller i et Funnel and Gate-system.	Ja	Ja	Delvis - ikke benzen	Delvis - ikke barbiturater	Ja	Ja	Nej	Middel - stor erfaring med oprensning af klorerede opløsningsmidler i pilot- og fuldskala. Ingen erfaringer med oprensning af pharmastoffer i pilot- og fuldskala. Metoden er testet i laboratoriet med forurening fra Kærgård-forureningsfane /5/. Der blev observeret god nedbrydning af klorerede opløsningsmidler, sulfastoffer og kulbrinter (kun delvis for benzen). Men ringe nedbrydning af barbiturater.	Metoden er mest cost-effektiv til oprensning af kraftig forurening i selve kildeområdet eller området omkring kildeområdet. Vurderes ikke at være cost-effektiv i grundvandsfanen ved Grindsted.	Nej	Ja - men ikke costeffektiv
Biologisk nedbrydning  /13, 14, 15, 17, 20, 28/	<u>Aerobic bio-oxidation</u> : Tilførsel af luft, hydrogen peroxide, ren ilt i kombination med næringsstoffer og eventuelt bakteriekulturer for at stimulere biologisk nedbrydning af organisk forurening.	Nej	Ikke DCE men muligvis VC	Ja	Delvis?	Nej	Ja	Nej	Stor erfaring med nedbrydning af klorerede opløsningsmidler og oliestoffer (fuldskala), men ingen erfaring med nedbrydning af pharmastoffer i pilot- eller fuldskala.	Det er ret sikkert, at metoden vil være effektiv overfor langt de fleste stoffer dog undtaget moderstoffer af de klorerede stoffer (PCE, TCE og evt. DCE). Metoden vil givet være et godt supplement til en anden metode, som fjerner de klorerede stoffer. Ved høje indhold af jern kan der ske udfældning af jern som kan tilstoppe (tilklogge) injektionsboringer.	Nej	Ja
	<u>Anaerob oxidation og reduktion</u> : Tilsætning af elektron-donorer (kulstof) i forskellige kombinationer. Der kan f.eks. tilsættes methanol og lactat, samt anaerobe electron-acceptorer som f.eks. nitrate/jernforbindelser. Dette kombineres med specialiserede mikroorganismer til at stimulere en biologisk nedbrydning af alle primære organiske komponenter. De klorerede stoffer vil kunne nedbrydes ved reduktiv dechlorering og sulfonamider, anilin og barbiturater vil kunne nedbrydes via oxidation.	Ja	Ja	Ja	Delvis?	Nej	Ja	Nej	Teknologien vil kunne være effektiv for klorerede stoffer. På nuværende tidspunkt er effektiviteten i forhold til sulfonamider og barbiturater ukendt. Som afskæring vil metoden fortløbende kræve tilsætning af biostimulerende stoffer.	Nej	Ja	

Metode/process <i>Referencer er angivet</i>	Kort metodebeskrivelse	Renseeffektivitet over for stofgrupper				Anvendelse		Tidsplan	Erfaring med metoden (laboratorie/pilot/fuldskala)	Indledende vurdering	Mulig metode til håndtering af Grindsted-forureningsfane	
		Klorerede opløsningsmidler (PCE, TCE)	Klorerede opløsningsmidler (DCE, VC)	TPH, BTEX	Pharma (barbiturater and sulfonamid)	Kan anvendes som "Primær" metode	Anvendelse som "Supplerende" teknik	Kan metoden gennemføres inden for den krævede tidsplan			Som "Primær" metode	Som "Supplerende" metode
Biologisk nedbrydning  /13, 14, 15, 17, 20, 28/	<u>Stimuleret sekventiel aerob/anaerob biologisk nedbrydning:</u> En serie af biobarrierer f.eks. én aerob opstrøms og én anaerob nedstrøms, som behandler vandet inden det udsiver til Grindsted Å. Disse biobarrierer kan bestå af en række borer (både vertikale og horisontale) eller infiltrationssystemer. I den anaerobe barriere ville de klorerede stoffer nedbrydes, og i den aerobe ville de øvrige stoffer nedbrydes.	Ja	Ja	Ja	Delvis?	Ja	Ja	Nej	Stor erfaring med nedbrydning af klorerede opløsningsmidler og oliestoffer (fuldskala), men ingen erfaring med nedbrydning af farmastoffer i pilot- eller fuldskala.	Denne løsning vil være den mest optimale biologiske løsning, da både fordelene ved aerob- og anaerob nedbrydning forenes. Som afskæring vil løsningen kræve løbende biologiske tilsætningsstoffer. Metoden vil også være særdeles velegnet som supplement til biologisk oprensning i kildeområder. En strategi kunne være følgende: 1) Etablere en reduceret behandlingszone (opstrøms) - Der tilsættes organisk elektron donor og sulfat for at skabe en sulfat reducerende zone, der vil skabe H <sub>2</sub> S og udfælde Fe (II) som FeS. Denne zone behandler de klorerede opløsningsmidler og muligvis benzen samt 2) Oxiderende behandlingszone (nedstrøms i en sikker afstand fra den reducerede zone) til behandling af farmastoffer og eventuelle resterende klorerede ethener, BTEX'er. Etableres fx. med ozon sparging, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -injektion, Fentons, etc.	Ja	Nej
Sparging og on-site behandling  /14, 17, 20, 28/	<u>Airsparging:</u> Der tilsættes luft til grundvandszonen, hvorved flygtige komponenter overgår til luftfase som siver op i den umættede zone. Her opsuges luften med de flygtige komponenter og de renses on site fx. gennem kulfilter. Den tilsatte luft ilter grundvandet og fremmer biologisk omsætning af fx. kulbrinter.	Ja	Ja	Ja	?	Nej	Ja	Nej	Stor erfaring med nedbrydning af klorerede opløsningsmidler og oliestoffer (fuldskala), men ingen erfaring med nedbrydning af farmastoffer i pilot- eller fuldskala.	Pharmastoffer vil ikke blive strippet til luftfasen. Den tilsatte ilt kan evt. medføre en vis biologisk nedbrydning af farmastoffer, men dette er uvist. Ved høje indhold af jern kan der sker udfældning af jern som kan tilstoppe (tilklogge) injektionsboringer.	Nej	(Ja)
Phytoremediering med etablering af træer i borede brønde i grundvandszonen  /ref. <a href="https://www.geosyntec.com/treewell/">https://www.geosyntec.com/treewell/</a>	TreeWell Phytoremediation System: TreeWell-teknologien overvinder begrænsninger af konventionelle fytoremedieringsdesign ved ved at målrette oprensningen til grundvandszonen, der normalt ikke er tilgængeligt for planterødder, se fx. <a href="http://www.geosyntec.com/treewell">www.geosyntec.com/treewell</a> . TreeWell-systemet er et patenteret design, der fokuserer på "oppumpning" af grundvand ved hjælp af træer som plantes i specielle brønde. Herved træ kkes grundvand opad gennem træerne og ind i rodzonen, hvilket skaber en hydraulisk forbindelse mellem ramt grundvand og fytoremedieringssystemet. Metoden kan trække grundvand ned til ca. 15 m under jordoverfladen. Metoden er afprøvet flere steder i USA og har vist vst at være cost-effektiv til at oprense grundvandsfaner. Desuden er metoden bæredygtig, da den ikke kræver nogen tilførsel af energi i driftsfasen.	Ja	Ja	Ja	Sandsynligvis - men ikke undersøgt	Ja	Ja	Nej	En ny metode som er afprøvet i fuldskala med succes i USA. Dog ingen erfaringer med oprensning af farmastoffer.	Metoden kan anvendes til optagning af forurening i træer og til at danne en hydraulisk barriere mod Grindsted Å. Udenfor vækstperioden vil der kun ske minimal opsugning af grundvand. Så afhængig af grundvandets hastighed er det muligt at metoden ikke vil kunne opfange al forurening hele året. Kan evt. kombineres med anden metode som er effektiv i vinterhalvåret. Kan ligeledes kombineres med tilsætning af reaktanter i "brøndende" fx. ZVI. Metoden har vist sig at være en meget billigt metode og også en meget bæredygtig metode til håndtering af forurenede grundvandsfaner med lange driftstider.	(Ja)	Ja



## Bilag E    Detaljeret screening af løsninger til vandrensning



PRIMÆR METODE TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDVAND	SAMLET LØSNING TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDVAND	KORT METODEBESKRIVELSE	SCREENING KRITERIE: 0 = Lavest (dårligste) og 5 /10 = Højeste							FORDELE	ULEMPER	VURDERING	UDVALGT TIL DETALJERET ANALYSE
			Max = 10		Max = 5								
			Samlet renseeffektivitet, se bilag C	Erfaringer fra tidligere projekter	Påvirkning af mennesker og miljø inkl. arbejdsmiljø	Overholde den givne tidsramme i udbud	Omkostninge		Total score (max. 30)				
				Etablering	Drift								
AKTIVT KUL (GAC)	Sandfilter + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter med "Greensand"-metode eller iltet sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes ved aktivt kul. Drift inkluderer periodevis returskylning af sandfilter og periodevis udskiftning af kul.	3	3	3	3	5	2	19	Simpel løsning og med stor erfaring fra andre projekter	Vil sandsynligvis ikke tilbageholde alle pharmastoffer og ikke effektiv mod vinylklorid. Ikke en cost effektiv metode til rensning for vinylklorid.	GAC er ikke cost-effektiv til rensning af vinylklorid. Sandsynligvis ikke cost-effektiv til rensning af pharmastoffer. Mindre erfaring med rensning af sulfonamider, men vi har ikke fundet nogen erfaringer med rensning af barbiturater. Løsningen kræver supplerende metode til rensning af vinylklorid. GAC er ikke anbefalet som rensning til vinylklorid af den Amerikanske Miljøstyrelse (US-EPA).	Nej
AVANCEREDE OXIDATION PROCESSER (AOP)	Sandfilter + Ozon + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter med "Greensand"-metode eller iltet sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med ozon. Rester af ozon skal "fjernes" inden udledning til recipient eller reinfiltration til grundvandet. Drift inkluderer periodevis returskylning af sandfilter, generering af ozon samt periodevis udskiftning af kul.	7	4	3	3	4	4	25	Relativ simpel løsning og med stor kommerciel anvendelse. Ofte brugt til behandling af pharmastoffer i spildevand i Europa.	Den svageste af AOP-processerne. Mulighed for dannelse af ikke nedbrudte nedbydningsprodukter. O3-generatorer er dyre; kræver kontrol af O3-tab til atmosfæren/indeklima. Bromatdannelse kan være et problem, hvis der findes bromid i grundvandet.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer. Metoden bør dog suppleres med kulfilter som ekstra sikkerhed.	Ja

PRIMÆR METODE TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDVAND	SAMLET LØSNING TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDVAND	KORT METODEBESKRIVELSE	SCREENING KRITERIE: 0 = Lavest (dårligste) og 5 /10 = Højeste							FORDELE	ULEMPER	VURDERING	UDVALGT TIL DETALJERET ANALYSE
			Max = 10		Max = 5								
			Samlet renseeffektivitet, se bilag C	Erfaringer fra tidligere projekter	Påvirkning af mennesker og miljø inkl. arbejdsmiljø	Overholde den givne tidsramme i udbud	Omkostninge		Total score (max. 30)				
Etablering	Drift												
AVANCEREDE OXIDATION PROCESSER (AOP)	Sandfilter, O3 + H2O2 (eller UV)	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter med "Greensand"-metode eller iltet sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med ozon og brintperoxid (eller UV) til dannelse af hydroxylradikaler. Rester af ozon og brintperoxid skal "fjernes" inden udledning til recipient eller reinfiltration til grundvandet. Drift inkluderer periodevis returskylning af sandfilter, generering af ozon + tilsætning af brintperoxid. Desuden nødvendig med "neutralisering" (quenching) med kemikalier af overskydende ozon/brintperoxid inden slutførelse.	8	3	3	3	3	3	23	Er et stærkere oxidationsmiddel end ozon alene, så det forventes at alle organiske forureningsstoffer kan nedbrydes.	O3-generatorer er dyre; kræver kontrol af O3-tab til atmosfæren/indeklima. Bromatdannelse kan være et problem, hvis der findes bromid i grundvandet. UV medfører stort elforbrug. Uden brug af GAC er der risiko for at overskydende ozon og brintperoxid ikke fjernes inden slutførelse. O3 + H2O2 er en mere moden teknik end O3 + UV.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer. Metoden bør dog suppleres med kulfilter som ekstra sikkerhed. GAC kan evt. udelades, hvis driftsresultater viser, at der ikke er overskydende ozon/brintperoxid i det rensede vand, og at der sker tilfredsstillende rensning af forureningen.	Nej - vi foreslår at løsning udbygges med GAC.
	Sandfilter + O3/H2O2 (eller UV) + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter med "Greensand"-metode eller iltet sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med ozon og brintperoxid (eller UV) til dannelse af hydroxylradikaler. Rester af ozon og brintperoxid skal "fjernes" inden slutførelse. Drift inkluderer periodevis returskylning af sandfilter, generering af ozon + tilsætning af brintperoxid (eller UV) samt periodevis udskiftning af kul.	9	4	3	3	2	3	24	Er et stærkere oxidationsmiddel end ozon alene, så det forventes at alle organiske forureningsstoffer kan nedbrydes. Kulfilteret vil sikre at overskydende ozon/brintperoxid nedbrydes inden slutførelse.	O3-generatorer er dyre; kræver kontrol af O3-tab til atmosfæren/indeklima. Bromatdannelse kan være et problem, hvis der findes bromid i grundvandet. UV medfører stort elforbrug.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer. O3 + H2O2 er en mere moden teknik end O3 + UV. Kulfilteret vil sikre, at overskydende ozon/brintperoxid nedbrydes inden slutførelse.	Ja - men ikke O3 + UV, som ikke vurderes som en moden og cost-effektiv metode.



PRIMÆR METODE TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDVAND	SAMLET LØSNING TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDVAND	KORT METODEBESKRIVELSE	SCREENING KRITERIE: 0 = Lavest (dårligste) og 5 /10 = Højeste							FORDELE	ULEMPER	VURDERING	UDVALGT TIL DETALJERET ANALYSE
			Max = 10		Max = 5								
			Samlet renseef- fektivitet, * se bilag C	Erfaringer fra tidligere projekter	Påvirkning af mennesker og miljø inkl. arbejdsmiljø	Overholde den givne tidsramme i udbud	Omkostninge		Total score (max. 30)				
Etablering	Drift												
AVANCEREDE OXIDATION PROCESSER (AOP)	Sandfilter + UV/ H2O2 + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter med "Greensand"-metode eller iltet sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med UV + brintperoxid til dannelse af hydroxylradikaler. Rester af brintperoxid skal "fjernes" inden udledning til recipient eller reinfiltration til grundvandet. Drift inkluderer periodevis returskylning af sandfilter, strøm til UV-lampe + tilsætning af brintperoxid samt periodevis udskiftning af kul.	9	4	4	3	2	2	24	Er et stærkere oxidationsmiddel end ozon alene, så det forventes at alle organiske forureningsstoffer kan nedbrydes. Det er simplere og mere sikkert at håndtere brintperoxid end f.eks. ozon. Der dannes ikke bromat.	UV har et stort strømføbrug. Der kan dannes belægninger på lampeglasset, som svækker lysgennemgangen. Lampernes lysstyrke reduceres med alderen	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer. Kulfilteret vil sikre at overskydende ozon/brintperoxid nedbrydes inden slutafledning.	Ja
	Sandfilter + katalytisk H2O2 filter + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter med "Greensand"-metode eller iltet sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med brintperoxid som aktiveres med keramisk filter. Rester af brintperoxid skal "fjernes" inden udledning til recipient eller reinfiltration til grundvandet. Drift inkluderer periodevis returskylning af sandfilter, tilsætning af brintperoxid, periodevis regenerering af keramisk filter samt periodevis udskiftning af kul.	9	3	4	3	2	3	24	Er et stærkere oxidationsmiddel end ozon alene, så det forventes at alle organiske forureningsstoffer kan nedbrydes. Det er simplere og mere sikkert at håndtere brintperoxid end f.eks. ozon. Der dannes ikke bromat.	Reletiv ny metode med begrænset erfaring. Metoden er ikke tidligere anvendt til rensning af stofferne som findes i Grindsted-fanen. Katalysatoren forbruges og skal fornyes ca. én gang halvårligt.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer. Kulfilteret vil sikre at overskydende ozon/brintperoxid nedbrydes inden slutafledning.	Ja

PRIMÆR METODE TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDTVAND	SAMLET LØSNING TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDTVAND	KORT METODEBESKRIVELSE	SCREENING KRITERIE: 0 = Lavest (dårligste) og 5 /10 = Højeste							FORDELE	ULEMPER	VURDERING	UDVALGT TIL DETALJERET ANALYSE
			Max = 10		Max = 5								
			Samlet rensseffektivitet, se bilag C	Erfaringer fra tidligere projekter	Påvirkning af mennesker og miljø inkl. arbejdsmiljø	Overholde den givne tidsramme i udbud	Omkostninge		Total score (max. 30)				
				Etablering	Drift								
AVANCEREDE OXIDATION PROCESSER (AOP)	Sandfilter + Fentons/Modificeret Fentons + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter med "Greensand"-metode eller iltet sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med Fentons/Modificeret Fentons (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + jernkatalysator). Rester af brintperoxid og jern skal "fjernes" inden slutførelse. Drift inkluderer periodevis returskylling af sandfilter, tilsætning af brintperoxid-jernkatalysator samt periodevis udskiftning af kul.	9	0	1	1	3	1	15	Er et stærkere oxidationsmiddel end ozon alene, så det forventes at alle organiske forureningsstoffer kan nedbrydes. Erfaring fra Kærgård Plantage der viser meget effektiv renseseffekt.	Anvendes typisk ikke til on site-vandbehandling (anvendes typisk som in situ-metode - se bilag D). Vanskeligt at håndtere det dannede jern i AOP reaktor. Dyrere i drift.	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer. Metoden vurderes ikke cost-effektiv til on site-vandbehandling. Desuden er det vanskeligt at behandle den overskydende jern der dannes ved processen.	Nej
	Sandfilter + Aktiveret Persulfat + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter med "Greensand"-metode eller iltet sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med kemisk oxidation med aktiveret persulfat (persulfat kan aktiveres med Fe-katalysator, NaOH, termisk). Rester af persulfat og katalysator skal "fjernes" inden slutførelse. Drift inkluderer periodevis returskylling af sandfilter, tilsætning af persulfat + aktivator samt periodevis udskiftning af kul.	9	0	1	1	3	1	15	Er et stærkere oxidationsmiddel end ozon alene, så det forventes at alle organiske forureningsstoffer kan nedbrydes. Erfaring fra Kærgård Plantage der viser meget effektiv renseseffekt.	Anvendes typisk ikke til on site-vandbehandling (anvendes typisk som in situ-metode - se bilag D).	Løsning er potentielt effektiv til at fjerne alle organiske stoffer. Metoden vurderes ikke cost-effektiv til on site-vandbehandling. Der dannes sulfat som sandsynligvis ikke kan tillades i recipient uden behandling.	Nej

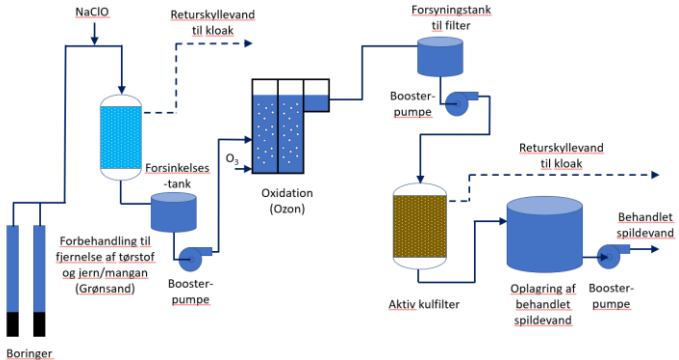
PRIMÆR METODE TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDVAND	SAMLET LØSNING TIL RENSNING AF OPPUMPET GRUNDVAND	KORT METODEBESKRIVELSE	SCREENING KRITERIE: 0 = Lavest (dårligste) og 5 /10 = Højeste							FORDELE	ULEMPER	VURDERING	UDVALGT TIL DETALJERET ANALYSE
			Max = 10		Max = 5								
			Samlet renseseffektivitet, se bilag C	Erfaringer fra tidligere projekter	Påvirkning af mennesker og miljø inkl. arbejdsmiljø	Overholde den givne tidsramme i udbud	Omkostninge		Total score (max. 30)				
Etablering	Drift												
Airstripping	Sandfilter + Airstripping (fx. Inka belufter) + GAC	Jern og mangan fjernes gennem sandfilter med "Greensand"-metode eller iltet sandfilter. De organiske forureningskomponenter fjernes med stripping til luftfasen. Drift inkluderer periodevis returskylning af sandfilter, tilsætning af stripping med atmosfærisk luft samt periodevis udskiftning af kul (både luft og vandfase).	2	3	3	3	4	4	19	Erfaring med rensning for klorerede opløsningsmidler med Inka-belufter i Danmark.	Pharmastoffer vil ikke blive behandlet med stripping (kun i kulfilter). Rensning af luftfasen vil kræve ekstra behandling fx. med kulfilter. Ikke alle pharmastoffer vil blive tilbageholdt i kulfilteret.	Vurderes ikke effektiv til at fjerne pharmastoffer. Desuden vanskeligt at håndtere stoffer i luftfasen.	Nej
MEMBRANE FILTRATION + SUPER CRITICAL WATER OXIDATION (SCWO)	Membran filtrering + SCWO + GAC	Både organiske og uorganiske stoffer opkoncentreres ved membranfiltrering. Det opkoncentrerede koncentrat renses med SCWO. Der skal sandsynligvis ske efterbehandling med aktivt kulfilter af både koncentrat fra SCWO og fra vand fra membranfiltreringen	9	3	3	2	1	2	20	Forventes effektivt at kunne rense alle de organiske forureningskomponenter.	SCWO er en kompliceret og dyr metode.	Det er vores vurdering at SCWO vil kunne nedbryde alle Grindstedstofferne. SCWO vurderes at være den ultimative løsning til oxidering af organiske stoffer. Med denne metode oxideres stoffer, som evt. ikke kan oxideres ved den bedste AOP-metode. Metoden er imidlertid en kompleks og forholdsvis dyr metode. Det er således ikke økonomisk realistisk at køre alt vandet igennem en SCWO-reaktor, da en sådan reaktor skal være meget stor. Opkoncentreringen vil typisk ske ved membranfiltrering (RO – omvendt osmose eller NF – nanofiltrering). Det vides ikke, om membranfilteret kan rense fuldstændigt for alle Grindstedstoffer. Det vil derfor sandsynligvis være nødvendigt at lede dette vand gennem kulfilter inden udledning til overfladevand eller reinfiltration til grundvandet.	Nej

\* Renseeffektivitet: Alle forureningskomponenter, se den indledende screening i bilag C



## Bilag F Beskrivelse af afværgeløsninger



LØSNING A	SANDFILTER + OZON + GAC
<p>Kort metodebeskrivelse</p>	<p>Denne løsning omfatter følgende procestrin:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Oppumpning af forurenede grundvand og drænvand. Vand ledes gennem rørføring til vandbehandlingsanlæg.</li> <li>2 Forrensning gennem sandfilter for jern og mangan. Der anvendes Greensand filter.</li> </ol> <p>AOP-behandling med ozon til nedbrydning af organiske miljøfremmede stoffer. Processen finder sted i en reaktor, hvor ozon udnyttes optimalt. Ozon er et meget kraftigt iltningemiddel, der også kan danne hydroxylradikaler. Ozon kan ilte de fleste organiske stoffer, hvis ozonkoncentrationen er passende høj og reaktionstiden er lang nok.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4 Efterfiltrering gennem kulfilter til fjernelse af evt. rester af ozon og ikke nedbrudte organiske miljøfremmede stoffer.</li> <li>5 Bortskaffelse af rensede vand enten til recipient, grundvandszonen eller spildevandssystemet.</li> </ol> <p>Proces 1, 2, 4 og 5 er beskrevet udførligt i bilag G, H, I og J – og beskrives kun overordnet i dette bilag - idet disse processer stort set er de samme for alle de fire rensemetoder. Dette notat giver en mere detaljeret beskrivelse af selve AO- processen.</p> <p>Principdiagram fremgår af nedenstående figur.</p>  <p>Ozonbehandlingssystemer bruger ozon til at nedbryde organiske forureninger i vand. Ozonen genereres på stedet ud fra luft eller ren ilt med elektricitet i en ozongenerator. Den mest effektive metode er at anvende ilt, der kan leveres med tankbil. Den resulterende ozongas injiceres derefter i vandet i en "lukket" reaktor. Reaktoren skal være dimensioneret til at give en tilstrækkelig opholdstid for ozon til at reagere med forureningerne. Brugen af ren ilt giver mulighed for en højere koncentration af ozon, hvilket muliggør en mere effektiv drift af AOP-reaktoren.</p> <p>Ozon reagerer også med evt. tilstedeværelse af bromid i vandet ved at danne det giftige bromat, hvilket er kræftfremkaldende (I USA er bromat EPA-reguleret desinfektionsbiprodukt med en MCL på 10 µg/l). Reaktionsligningen for denne reaktion er:</p> $Br^- + O_3 \rightarrow BrO_3^-$ <p>Grundvand med bromid under 35 µg/l betragtes som lavt bromid. Bromatdannelse kan styres ved at forøge forholdet mellem hy-</p>

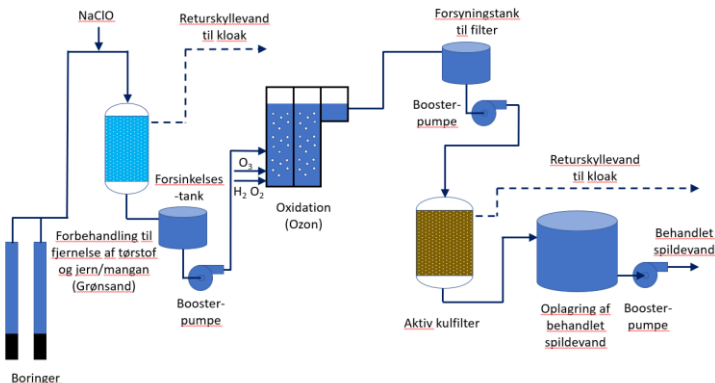
LØSNING A	SANDFILTER + OZON + GAC	
	<p>drogenperoxid og ozon og adskille ozoninjektionen over reaktoren.</p> <p>Resterende ozon i reaktoren kan adskilles fra vandet og destrueres ved anvendelse af et katalytisk filter. Ozongeneratoren producerer en betydelig mængde spildvarme, der skal håndteres via enten luft eller vandkøling. Det er vores indledende vurdering at, at luftkøling ville være tilstrækkelig. Den endelig vurdering skal laves i detailprojektet.</p> <p>Reaktoren er et lukket system , så principielt ikke kan slippe ozon ud, før vandet kommer ud af reaktoren. Der leveres en ozon-rumdetektor, der placeres i det rum, hvor ozonanlægget er placeret. Overskrides den gældende ozonkoncentration i luften, slukker ozongeneratoren automatisk.</p> <p>Ozon vil efterhånden nedbrydes, og nedbrydningshastigheden afhænger af vandets pH og sammensætning. I almindeligt postevand vil ozonkoncentrationen normalt halveres på 15 minutter. Ved nedbrydningen dannes ilt.</p>	
Billede af ozonreaktor	 <p>HortiZone anlæg fra Holland med en kapacitet på 0,7 eller 1,2 m<sup>3</sup>/h. PLC-Styreskab i forgrunden og reaktionstank i baggrunden.</p>	 <p>Ozonanlæg fra Oxidationtech.com Kapacitet: 1,5-9 m<sup>3</sup>/h</p>
Udviklingsstadium	<p>Ozonbehandling af spildevand har været anvendt i Danmark og mange andre lande i mange år. Ozonbehandling anvendes også som supplerende metode ved biologisk behandling af spildevand med svært nedbrydelige stoffer. I Danmark anvendes det således som supplement i forbindelse med rensning af hospitalsspildevand med svært nedbrydelige medicinrester.</p> <p>Ozonbehandling af den særlige forurening i grundvandet i Grindsted er dog ikke tidligere belyst.</p>	
Kommercielt tilgængelig	<p>En komplet ozonløsning med kulfilter kan leveres som færdig pakkeløsning af f.eks. Suez Water Danmark A/S. Flere danske firmaer kan også levere ozonanlæg til spildevandsrensning, og de</p>	




LØSNING A	SANDFILTER + OZON + GAC
	<p>kan formentlig let tilpasse anlæggene, så de kan anvendes til rensning af grundvandet fra Grindsted.</p> <p>I USA leveres ozonanlæg bl.a. af Xylem/Wedeco og Mazzei:  <a href="https://www.xylem.com/en-us/brands/wedeco/">https://www.xylem.com/en-us/brands/wedeco/</a>  <a href="https://mazzei.net/">https://mazzei.net/</a></p>
Renseeffekt	Renseeffekten afhænger af reaktionstiden og ozondoseringen. Jo længere reaktionstid og jo højere ozonkoncentration, jo mere organisk forurening vil der blive nedbrudt. Ikke alle organiske stoffer nedbrydes lige let. Indledningsvis vurderes det relativt nemt at nedbryde vinylklorid og cis-1,2-DCE (de væsentligste stoffer af klorerede opløsningsmidler). De særlige pharmastoffer vurderes at være mere vanskelige at behandle. Næringssalte og andre uorganiske stoffer fjernes ikke med ozon.
Kapacitet (m <sup>3</sup> /h)	Ozonanlæg leveres i mange forskellige størrelser – og vil kunne behandle den forventede mængde på mellem 5 og 10 m <sup>3</sup> /h.
Energiforbrug	Ca. 1.2 kWh/m <sup>3</sup> ved et flow på 10 m <sup>3</sup> /time
Ozonforbrug	<p>Dosering af ozon skal baseres på laboratorieforsøg samt erfaring fra leverandør. Ud fra den forventede forureningssammensætning antager vi følgende indledende koncentrationer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Koncentration i ozon-reaktor: <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; ozon = 30 - 100 mg ozon/l</li> </ul> </li> <li>&gt; Kemikalieforbrug ved et flow på 5-10 m<sup>3</sup>/time: <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; ozon = 0,3 - 0,6 kg/time (3.000-6.000 kg/år)</li> </ul> </li> </ul>
Forventet holdbarhed af udstyr	Ozon system: De primære vedligeholdelseskomponenter til ozon-systemet er ozongeneratoren og ozonreduktionsfilteret. Disse komponenter skal have en levetid svarende til andet udstyr i systemet (dvs. i størrelsesordenen 10-20 år).
Overskydende materiale som skal bortskaffes	Ozonanlæg: Der er ikke nogen restprodukter der skal bortskaffes.
Metodens tekniske begrænsninger	Det er usikkert om AOP-processen kan nedbryde alle de organiske forureningskomponenter. Ozon rens ikke uorganiske stoffer fx. næringssalte og tungmetaller.
Behov for supplerende oplysninger/tests	Der skal laves laboratorietest til at vurdere rensningseffektiviteten samt til at vurdere nødvendig tilsætning af ozon.
Fordele	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Almindelig anvendt i spildevandsbehandling</li> <li>&gt; I AOP-processen nedbrydes de organiske urenheder til vand og kuldioxid, og der dannes der ingen affaldsprodukter.</li> <li>&gt; Simpelt i opbygning. Tidsforbrug til pasning og vedligeholdelse</li> </ul>

LØSNING A	SANDFILTER + OZON + GAC
	<p>se er formentlig mindre end for de andre løsninger med AOP.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Rensning med ozon synes at være billigere end UV+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> og ozon+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> men dyrere end den katalytisk rensning med H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> <li>&gt; Ved denne metode anvendes ingen kemikalier – kun elektricitet og ilt. Dog anvendes kemikalier til returskyl/regenerering af sandfilter.</li> </ul>
Ulemper	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Der er risiko for, at der ved nedbrydning af den organiske forurening kan dannes toksiske nedbrydningsprodukter, som ikke fjernes ved rensprocessen.</li> <li>&gt; Der skal tages forholdsregler, så der ikke afgives for store mængder ozon til luften i det lokale, hvor anlægget er placeret. Derfor skal der være en ozonmåler i rummet, så anlægget automatisk stopper i tilfælde af for høj ozonkoncentration.</li> <li>&gt; Dannelse af det giftige bromat er en risiko, hvis der findes bromid i grundvandet</li> </ul>
Referencer	<p>Amerikanske leverandører:</p> <p><b>Xylem/Wedeco</b> <a href="https://www.xylem.com/en-us/brands/wedeco/">https://www.xylem.com/en-us/brands/wedeco/</a></p> <p><b>Mazzei</b> <a href="https://mazzei.net/">https://mazzei.net/</a></p> <p>Der er én hollandsk leverandører af udstyr, som er godkendt til nedbrydning af pesticider i drænvand fra gartnerier. Disse anlæg er leveret til flere hollandske gartnerier:</p> <p><b>AgroZone IE BV</b>, <a href="http://www.agrozone.nl/">http://www.agrozone.nl/</a> E-mail: <a href="mailto:info@agrozone.nl">info@agrozone.nl</a></p> <p>Udvalgte danske leverandører af ozonanlæg:</p> <p><b>O3 Nordic</b>, Telefon: 31458118, E-mail: <a href="mailto:na@O3nordic.com">na@O3nordic.com</a></p> <p>O3 Nordic har leveret flere ozonanlæg i Danmark til rensning af forurenede grundvand, men man har endnu ingen erfaringer med rensning af returvand fra gartnerier.</p> <p><b>Suez Water A/S</b>: Telefon 69156600. <a href="https://www.suez.com/en">https://www.suez.com/en</a> Kontakt i Danmark: Per Krøyer Kristensen, <a href="mailto:per.krøyer.kristensen@degremont.com">per.krøyer.kristensen@degremont.com</a></p> <p>Suez har internationalt leveret mange ozonanlæg suppleret med aktivt kul til rensning af mange typer spildevand med miljøfremmede stoffer – bl.a. hospitalsspildevand. Den danske afdeling har deltaget i flere ozonprojekter og har bådellaboratorieanlæg og pilotanlæg til rådighed.</p>

LØSNING B	SANDFILTER + OZON + H2O2 + GAC
Kort metodebeskrivelse	Denne løsning omfatter følgende procestrin:

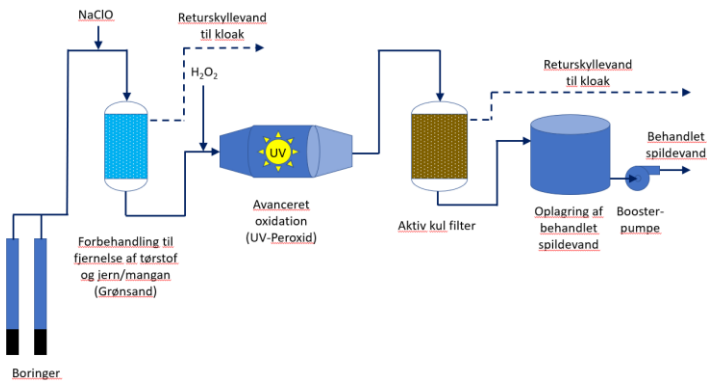
LØSNING B	SANDFILTER + OZON + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + GAC
	<p>1 <u>Oppumpning</u> af forurennet grundvand og drænvand. Vand ledes gennem rørføring til vandbehandlingsanlæg.</p> <p>2 <u>Forrensning</u> gennem sandfilter for jern og mangan. Der anvendes Greensand filter.</p> <p>3 <u>AOP-behandling med ozon + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></u> til nedbrydning af organiske miljøfremmede stoffer. Processen finder sted i en reaktor, hvor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kommer i kontakt med ozon. Herved dannes hydroxylradikaler (•OH), har et standard oxidationspotential på 2,8 V. Til sammenligning har ozon et standard oxidationspotentiale på 2,1 V. Jo større standard oxidationspotentiale, jo flere stoffer kan oxideres.</p> <p>4 <u>Efterfiltrering</u> gennem kulfilter til fjernelse af evt. rester af brintperoxid og ozon samt ikke nedbrudte miljøfremmede stoffer.</p> <p>5 <u>Bortskaffelse af rensset vand</u> enten til recipient, grundvandszonen eller spildevandssystemet</p> <p>Proces 1, 2, 4 og 5 er beskrevet udførligt i bilag G, H, I og J – og beskrives kun overordnet i dette bilag - idet disse processer stort set er det samme for alle for de fire rensemetoder. Dette notat giver en mere detaljeret beskrivelse af selve AOP-processen.</p> <p>Principdiagram fremgår af nedenstående figur.</p>  <p><b>Beskrivelse af AOP-anlæg:</b></p> <p>Ozon / hydrogenperoxid AOP-systemer bruger ozon til at oxidere hydrogenperoxid til hydroxylradikaler (OH<sup>*</sup>). Ligningen for denne reaktion er:</p> $2O_3 + H_2O_2 \rightarrow 2OH^* + 3O_2$ <p>Dette opnås ved tilsætning af brintperoxid til vandet efterfulgt af tilsætning af ozon i en AOP-reaktor. Der vil typisk være overskud af brintperoxid og ozon, som kan nedbrydes efterfølgende i kulfilteret. Rester af ozon i reaktoren kan evt. adskilles fra vandet og destrueres ved anvendelse af et katalytisk filter</p> <p>Ozon/brintperoxid processen kan hæmmes af høj pH.</p> <p>Ozon reagerer også med evt. tilstedeværelse af bromid i vandet ved at danne det giftige bromat, hvilket er kræftfremkaldende (I USA er bromat EPA-reguleret desinfektionsbiprodukt med en MCL på 10 µg/l). Reaktionsligningen for denne reaktion er:</p>


LØSNING B	SANDFILTER + OZON + H2O2 + GAC
	<p style="text-align: center;"><math>Br^- + O_3 \rightarrow BrO_3^-</math></p> <p>Grundvand med bromid under 35 µg/l betragtes som lavt bromid. Bromatdannelse kan styres ved at forøge forholdet mellem hydrogenperoxid og ozon og adskille ozoninjektionen over reaktoren.</p> <p>Doserne af ozon og peroxid samt forholdet mellem de to kemikalier skal optimeres for den aktuelle vandtype, da disse parametre er stærkt afhængige af vandkemi.</p> <p>Ozongeneratoren producerer en betydelig mængde spildvarme, der skal håndteres via enten luft eller vandkøling. Det er vores foreløbige vurdering, at luftkøling vil være tilstrækkelig. Den endelig vurdering skal laves i detailprojektet.</p> <p>Reaktoren er helt lukket, så der ikke kan slippe ozon ud, før vandet kommer ud af reaktoren. Der leveres en ozon-rumdetektor, der placeres i det rum, hvor ozonanlægget er placeret. Overskrides den gældende ozonkoncentration i luften, slukker ozongeneratoren automatisk.</p> <p>Ozon vil efterhånden nedbrydes, og nedbrydningshastigheden afhænger af vandets pH og sammensætning. I almindeligt postevand vil ozonkoncentrationen normalt halveres på 15 minutter. Ved nedbrydningen dannes ilt.</p>
Billede af ozon + H2O2 reaktor	 <p style="text-align: center;">Foto af APT HiPOX System</p>
Udviklingsstadium	<p>Avanceret oxidation med ozon og brintperoxid er efter vores viden ikke tidligere anvendt i fuldskala til behandling af forurenede grundvand i Danmark. Derimod er metoden betragtet som en moden metode i USA i forbindelse med rensning af svært nedbrydelige organisk forurening.</p>
Kommercielt tilgængelig	<p>APTwater LLC 1921Arena Blvd Sacramento, CA 95834</p>

LØSNING B	SANDFILTER + OZON + H2O2 + GAC
	USA T: +1 916-779-7651 <a href="http://www.apwater.com">www.apwater.com</a>
Renseeffekt	Renseeffekten afhænger af reaktionstiden og doseringen af ozon og H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Jo længere reaktionstid og jo højere koncentration af ozon og H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , jo mere organisk forurening vil der blive nedbrudt. Baseret på erfaringer fra laboratorieforsøg på Kærgård Plantage vurderes metoden at kunne nedbryde alle organiske stoffer i grundvandet fra forureningsfanen i Grindsted. Næringssalte og andre uorganiske stoffer fjernes ikke med ozon.  Såfremt der er ikke nedbrudte organisk forurening eller nedbrydningsprodukter forventes de renses i kulfilteret. Kulfilteret vil ligeledes fjerne rester af ozon og brintperoxid.
Kapacitet (m <sup>3</sup> /h)	Ozonanlæg af denne type leveres i mange forskellige størrelser – og vil kunne behandle den forventede mængde på mellem 5 til 10 m <sup>3</sup> /h.
Energiforbrug	Ca. 1.2 kWh/m <sup>3</sup> forudsat 10 m <sup>3</sup> /time
Kemikalieforbrug	Dosering af ozon og brintperoxid skal baseres på laboratorieforsøg samt erfaring fra leverandør. Ud fra den forventede forurenings-sammensætning antager vi følgende indledende koncentrationer:  > koncentration i AOP-reaktor:  > ozon = 30 - 60 mg ozon/l  > H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 90 til 180 mg H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /l  > Kemikalieforbrug ved et flow på 5-10 m <sup>3</sup> /time:  > ozon = 0,35 – 0,7 kg/time eller 3.000-6.000 kg/år  > H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 1, – 2 kg/time = 8.500 – 17.000 kg/år svarende til 21 – 42 tons/år 35% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .
Forventet holdbarhed af udstyr	Ozon system: De primære vedligeholdelseskomponenter til ozonsystemet er ozongeneratoren og ozonreduktionsfilteret. Disse komponenter skal have en levetid svarende til andet udstyr i systemet (dvs. i størrelsesordenen 10-20 år).  AOP - systemet bruger flere indsprøjtningpunkter for ozon i rørreaktoren. Ozonstrømmen til hvert indsprøjtningpunkt styres med en manifold af ventiler. I lignende applikationer har operatører bemærket, at det har været nødvendig med hyppig udskiftning af disse ventiler.
Overskydende materiale som skal bortskaffes	AOP-anlæg: Der er ikke nogen restprodukter der skal bortskaffes
Metodens tekniske begrænsninger	AOP-systemet: Metoden er følsom over for stoffer, der giver en "scavenger" effekt. En scavenger i AOP processer er et stof, der absorberer hydroxylradikaler. Bicarbonat er kendt som en af de mest

LØSNING B	SANDFILTER + OZON + H2O2 + GAC
	almindelige scavengers. Metoden er også følsom over for forholdet mellem ozon og brintperoxid, som derfor skal kontrolleres præcist. Hvis bromatkontrol er påkrævet, kan dette i sidste ende begrænse mængden af ozon, der kan anvendes og begrænse behandlingseffektiviteten.
Behov for supplerende oplysninger/tests	Der skal laves laboratorietest til at vurdere renseseffektiviteten samt vurdere kemikaliebehov
Fordele	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Det forventes, at metoden kan nedbryde alle organiske stoffer i grundvandet fra forureningsfanen i Grindsted</li> <li>&gt; I AOP-processen nedbrydes de organiske urenheder til vand og kuldioxid dannes der ingen affaldsprodukter.</li> </ul>
Ulemper	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; AOP-systemet er mere kompliceret at drive end løsning A – hvor der kun anvendes ozon</li> <li>&gt; Der skal tages forholdsregler, så der ikke afgives for store mængder ozon til luften i det lokale, hvor anlægget er placeret. Derfor skal der være en ozonmåler i rummet, så anlægget automatisk stopper i tilfælde af for høj ozonkoncentration. Brintperoxid kræver særlig omhu ved installeringen, da det sønderdeles naturligt og kan opbygge stort tryk, hvis stoffet kan reagere med organisk stof i rør eller beholdere.</li> <li>&gt; Dannelse af det giftige bromat er en mulighed hvis der findes bromid i grundvandet</li> </ul>
Referencer	<p>USA: APTwater LLC 1921Arena Blvd Sacramento, CA 95834 USA T: +1 916-779-7651 <a href="http://www.aptwater.com">www.aptwater.com</a></p> <p>Europa: APT Installation in MuttENZ, Switzerland <b>Peter Hartmann</b> Head of Water Treatment Switzerland</p> <p><b>address:</b> WABAG Water Technology Ltd, Bürglistrasse 31, P.O. Box, CH-8401 Winterthur <b>office:</b> +41 52 218 14 20 <b>mobile:</b> +41 79 349 61 62 <b>skype:</b> hartmann.wabag <b>web:</b> <a href="http://www.wabag.net">www.wabag.net</a></p>

LØSNING C	SANDFILTER + H2O2/UV + GAC
Kort metodebeskrivelse	Denne løsning omfatter følgende procestrin: 1 <u>Oppumpning</u> af forurenede grundvand og drænvand. Vand ledes

LØSNING C	SANDFILTER + H2O2/UV + GAC
	<p>gennem rørføring til vandbehandlingsanlæg.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2 <u>Forrensning</u> gennem sandfilter for jern og mangan. Der anvendes Greensand filter.</li> <li>3 <u>AOP behandling med H2O2 + UV</u> til nedbrydning af organiske miljøfremmede stoffer. Processen finder sted i en reaktor, hvor tilsættes en passende mængde brintperoxid og belyses derefter med UV-lys. Herved katalyseres dannelsen af hydroxylradikaler, som kan nedbryde den organiske forurening.</li> <li>4 <u>Efterfiltrering</u> gennem kulfilter til fjernelse af evt. rester af brintperoxid og hydroxylradikaler samt ikke nedbrudte miljøfremmede stoffer.</li> <li>5 <u>Bortskaffelse af rensset vand</u> enten til recipient, grundvandszonen eller spildevandssystem</li> </ol> <p>Proces 1, 2, 4 og 5 er beskrevet udførligt i bilag G, H, I og J – og beskrives kun overordnet i dette bilag - idet disse processer stort set er det samme for alle for de fire afværgeløsninger. Dette notat giver en mere detaljeret beskrivelse af selve AOP-processen.</p> <p>Principdiagram fremgår af nedenstående figur.</p>  <p><u>Beskrivelse af AOP-anlæg:</u></p> <p>AOPsystemer med UV/brintperoxid anvender UV til fremstilling af hydroxylradikaler fra brintperoxid. Ligningen for denne reaktion er:</p> $UV \text{ lys} + H_2O_2 \rightarrow OH^* + 3O_2$ <p>Dette opnås ved tilsætning af brintperoxid til vandet, efterfulgt af bestråling af vandet via UV-lamper i en AOP reaktor, som er designet til at give den korrekte kontakttid og opblanding til vandbehandlingen. UV- og brintperoxid-doserne skal optimeres for den specifikke vandkvalitet, der skal behandles.</p> <p>Energieffektiviteten af et UV/peroxid anlæg måles som el-forbruget ved en 10-faktor reduktion af forureningen. Den relative dosis af brintperoxid og UV kan optimeres og reducere de totale omkostninger."</p> <p>Det betyder, at det kan være mere økonomisk at nøjes med en lavere rensegrad ved UV-peroxid og i stedet fjerne en lidt større rest af organisk forurening i kulfilteret.</p> <p>Denne proces resulterer evt. i overskud af brintperoxid, som kan nedbrydes i den efterfølgende filtrering i kulfilteret.</p>

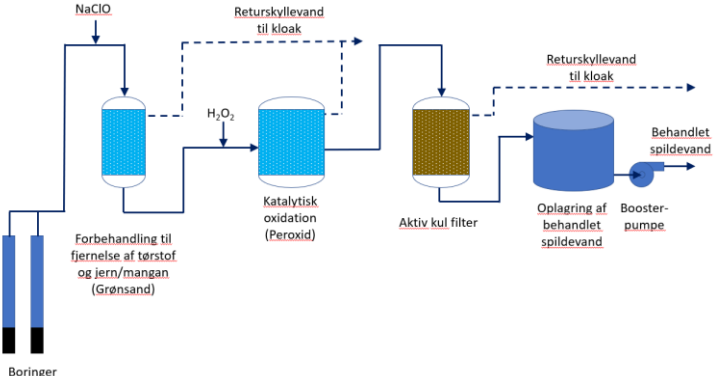
<p>LØSNING C</p>	<p>SANDFILTER + H2O2/UV + GAC</p>
	<p>UV/peroxidprocesser er stærkt afhængige af UV-transmitteringen (UVT) af det vand, der behandles. Hvis UVT er lavt, trænger der for lidt UV lys til vandet og metoden vil ikke være så effektiv. UVT påvirkes negativt af uklarhed i vandet og ved tilstedeværelsen af organiske forbindelser og nogle metaller. Det vurderes dog at klarhed af det oppumpede grundvand vil være stor og det organiske indhold vil være lille.</p> <p>UV-lamper skal rengøres regelmæssigt for at forhindre belægninger, hvilket reducerer UV-intensiteten. Rengøring kan foregå automatisk eller manuelt efter ønske.</p> <p>UV/Peroxid bruger lavtryks kviksølv (LP UV) eller mediumtryks kviksølv (MP UV) lamper. LP UV-systemer har tendens til at være større, men mere energieffektive end MP UV-systemer, så de bruges ofte i drikkevandsbehandlingsapplikationer med høje strømningshastigheder.</p> <p>Energiproduktionen fra MP UV-systemer er højere, men bølgelængden er over et bredere spektrum, således at dets reaktion med peroxid er mindre effektiv. MP UV-enheder udsender lys i bølgelængder, som kan deltage i sidereaktioner med andre bestanddele i vandet (fx produktion af nitrit fra nitrat).</p>
<p>Billede af UV + H2O2 reaktor</p>	 <p>Billede af det hollandske Apollo Plus anlæg.</p>



<p>LØSNING C</p>	<p>SANDFILTER + H2O2/UV + GAC</p>
	<div data-bbox="643 315 1246 920" data-label="Image"> <p>A photograph of a Trojan UVSwift Medium Pressure UV System. It features a large, vertical, cylindrical stainless steel reactor vessel mounted on a metal frame. A black circular access panel on the front is labeled 'TROJAN UV SWIFT'. To the right, a large yellow storage tank is visible in the background.</p> </div> <div data-bbox="643 947 1278 978" data-label="Caption"> <p>Foto of Trojan UVSwift Medium Pressure UV System</p> </div> <div data-bbox="742 1003 1366 1653" data-label="Image"> <p>A photograph of a Trojan UV Phox Low-Pressure UV System. It consists of two large, black, cylindrical UV reactors mounted on a metal frame. Each reactor has a circular access panel with the 'TROJAN PHOX' logo. Numerous clear plastic tubes are connected to the reactors, likely for hydrogen peroxide injection.</p> </div> <div data-bbox="643 1655 1171 1686" data-label="Caption"> <p>Foto af Trojan UV Phox Low-Pressure UV System</p> </div>
<p>Udviklingsstadium</p>	<p>Metoden, der også kaldes fotokemisk oxidation, har været anvendt i mange år til rensning af grundvand med miljøfremmede organiske stoffer. Det første anlæg i Danmark blev etableret i 1992 til rensning af grundvand forurenet med trichlorethylen (TCE). I Holland har man godkendt 4 forskellige anlæg af denne type til rensning af drænvand fra gartnerier for pesticider, se under referencer. Disse anlæg forventes også at kunne anvendes til den særlige Grindsted forurening.</p>
<p>Kommercielt tilgængelig</p>	<p>Kan leveres som færdig pakkedløsning til gartnerier fra fire forskellige hollandske firmaer, se under referencer. Kan leveres fra danske firmaer, der sælger kommercielle UV-anlæg og tilpasser dem til opga-</p>

LØSNING C	SANDFILTER + H2O2/UV + GAC
	<p>ven med et forfilter, brintperoxiddosering samt kulfilter til efterfiltrering.</p> <p>I USA leveres færdige anlæg fx. af Trojan UVSwift, se under referencer.</p>
Renseeffekt	<p>Renseeffekten afhænger af, hvor hurtigt man pumper vandet igennem anlægget. Jo større opholdstid vandet har med UV-belysning, jo mere organisk stof vil der blive nedbrudt.</p> <p>Renseeffekten er ikke tidligere testet på grundvand fra forureningsfanen fra Grindsted, så renseseffekten kendes ikke. Det forventes dog at renseseffekten vil være stor, idet der dannes de samme kraftige oxiderende hydroxylradikaler som for løsning B (H2O2 + ozon).</p> <p>Uorganiske stoffer fjernes ikke.</p>
Kapacitet (m <sup>3</sup> /h)	Denne type anlæg kan leveres i mange forskellige størrelser – og vil kunne behandle den forventede mængde på mellem 5 og 10 m <sup>3</sup> /h.
Energiforbrug	Energiforbruget vil afhænge af vandtype og forureningsgraden. Der er i det økonomiske overslag regnet med et forbrug på 5 kWh/m <sup>3</sup> , forudsat 10 m <sup>3</sup> /time. Det store energiforbrug ved H2O2-UV skyldes bl.a. at man bruger mediumstryk lamper, hvor kun en del af UV-lyset bruges til dannelsen af hydroxylradikaler. Forbrug kan både være større eller mindre. Lab-forsøgene kan give et bedre estimat af elforbruget.
Kemikalieforbrug	<p>Dosering af brintperoxid og UV skal baseres på laboratorieforsøg samt erfaring fra leverandør. Ud fra den forventede forurenings-sammensætning antager vi følgende indledende koncentrationer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Koncentration i AOP reaktor: <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 100 til 200 mg/l H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></li> <li>&gt; UV – 8 mellemtryks lamper med 9.1 kw pr. lampe</li> </ul> </li> <li>&gt; Forbrug af 35% brintperoxid ved flow på 10 m<sup>3</sup>/time <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 2,5-5,0 kg/h eller 22-46 tons/år</li> </ul> </li> </ul>
Forventet holdbarhed af udstyr	Minimums levetiden for UV-lamper angives normalt af producenten. I lignende AOP-systemer har producentens anbefalinger været lampeudskiftning hver 12.000 driftstimer, hvilket betyder udskiftning af UV lamper mellem 1 og 2 år.
Overskydende materiale som skal bortskaffes	AOP anlæg: Der er ikke nogen restprodukter der skal bortskaffes
Metodens tekniske begrænsninger	<p>Variierende UV-transmittans i vandet samt vandets indhold af stoffer, der modvirker dannelsen af hydroxylradikaler (stoffer med såkaldt "scavenger" effekt) vil influere på renseseffekten.</p> <p>Belægning på UV-lamper kan begrænse UV-intensiteten og derved</p>

LØSNING C	SANDFILTER + H2O2/UV + GAC
	renseeffektiviteten
Behov for supplerende oplysninger/tests	Der skal laves laboratorietest til at vurdere renseseffektiviteten samt vurdere behov for kemikaliedosering og UV-effekt
Fordele	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Anlægget fylder ikke ret meget, og det er relativt simpelt i opbygning. Tidsforbrug til pasning og vedligeholdelse er mindre end ved anvendelse af ozon.</li> <li>&gt; Det er simplere og mere sikkert at håndtere brintperoxid end f.eks. ozon.</li> <li>&gt; Da urenheder nedbrydes til vand og kuldioxid, dannes der ingen faste affaldsprodukter.</li> </ul>
Ulemper	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Der er en risiko for, at der ved nedbrydning af de organiske stoffer kan dannes toksiske nedbrydningsprodukter, som ikke fjernes ved rensesproessen.</li> <li>&gt; Vandet skal være transparent, så UV-lyset ikke svækkes for meget ved gennemlysning.</li> <li>&gt; Der kan dannes belægninger på lampeglasset, som svækker lysgennemgangen. Derfor bør anlægget være forsynet med et afrensningssystem for lampeglassene. Afrensningen kan foretages automatisk eller manuelt efter ønske. Ved afrensningen kan anvendes mekaniske skrabere eller en syreskylning.</li> <li>&gt; Lampernes lysstyrke reduceres med alderen. Derfor bør anlægget være forsynet med en UV-lysstyrkemåler, så der automatisk kan kompenseres for faldende intensitet ved at øge tilsvarende for lamperne lysstyrke, så lysintensiteten holdes konstant.</li> </ul>
Referencer	<p>4 hollandske leverandører, der sælger anlæg som i Holland er godkendt til nedbrydning af pesticider i drænvand fra gartnerier:</p> <p>Enthoven Techniek BV, <a href="http://www.enthoventechniek.nl/">http://www.enthoventechniek.nl/</a>  e-mail: <a href="mailto:info@patronagrisystems.nl">info@patronagrisystems.nl</a></p> <p>HortiMax BV, <a href="http://www.hortimax.com">www.hortimax.com</a> , e-mail: <a href="mailto:sales@hortimax.com">sales@hortimax.com</a></p> <p>WaterQ BV, <a href="http://www.waterq.com">www.waterq.com</a> , e-mail: <a href="mailto:info@waterq.com">info@waterq.com</a></p> <p>Priva BV, <a href="http://www.priva.com">www.priva.com</a> e-mail: <a href="mailto:contact.priva@priva.nl">contact.priva@priva.nl</a></p> <p>I USA leveres samlede anlæg fx. af Trojan UVSwift (Medium Pressure) <a href="https://www.trojanuv.com/products/drinkingwater/trojanuvswift">https://www.trojanuv.com/products/drinkingwater/trojanuvswift</a>;  Kontakt: Keep, Terry &lt;<a href="mailto:tkeep@trojanuv.com">tkeep@trojanuv.com</a>&gt;</p> <p>Calgon RayOx (Medium Pressure)  <a href="https://www.calgoncarbon.com/products/rayox/">https://www.calgoncarbon.com/products/rayox/</a></p>

LØSNING D	SANDFILTER + H2O2/katalysator + GAC
<p>Kort metodebeskrivelse</p>	<p>Denne løsning omfatter følgende procestrin:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 <u>Oppumpning</u> af forurenede grundvand og drænvand. Vand ledes gennem rørføring til vandbehandlingsanlæg.</li> <li>2 <u>Forrensning</u> gennem sandfilter for jern og mangan. Der anvendes Greensand filter.</li> <li>3 <u>AOP behandling med H2O2 + katalysator</u> til nedbrydning af organiske miljøfremmede stoffer. Processen finder sted i en reaktor, der er udformet som et filter, hvor filtermaterialet er coated med en katalysator. Når brintperoxid kommer i kontakt med katalysatoren dannes hydroxylradikaler.</li> <li>4 <u>Efterfiltrering</u> gennem kulfilter til fjernelse af evt. rester af brintperoxid samt ikke nedbrudte miljøfremmede stoffer.</li> <li>5 <u>Bortskaffelse af rensede vand</u> enten til recipient, grundvandszonen eller spildevandssystem</li> </ol> <p>Proces 1, 2, 4 og 5 er beskrevet udførligt i bilag G, H, I og J – og beskrives kun overordnet i dette bilag - idet disse processer stort set er det samme for alle for de fire afværgeløsninger. Dette notat giver en mere detaljeret beskrivelse af selve AOP processen.</p> <p>Principdiagram fremgår af nedenstående figur.</p>  <p><b>Beskrivelse af AOP system "Opticlear Diamond" fra Water IQ:</b></p> <p>Som reaktorer anvendes to filtre i serie. Det første filter er et keramisk filter, der er coated med et negativ belægning. I dette filter fjernes små positive partikler, som ikke kan holdes tilbage i forfiltret. Vandet fra dette filter går ind i en andet keramisk filter, hvor filtermaterialet er coated med en katalysator, der er i stand til at aktivere brintperoxid. Før filteret doseres brintperoxid til vandet, og ved kontakt med katalysatoren aktiveres brintperoxid under dannelsen af hydroxylradikaler. Hydroxylradikaler sørger for en hurtig nedbrydning af den organiske forurening. Alt i alt giver denne kombination af filtre ifølge de hollandske leverandører en meget effektiv fjernelse af alle mulige organiske stoffer.</p> <p>Det første adsorptionsfilter vil langsomt stoppes til, og det skal derfor returskylles med passende mellemrum – forventet ca. 1 gang dagligt. Til hver returskylning anvendes 3 m<sup>3</sup> vand. Der vil også være behov for en CIP-rensning af det katalytiske filter med kemikalier 1-4 gange pr. måned afhængig af vandets beskaffenhed. Muligheder for bortskaffelse af det overskydende vand fra returskylning skal belyses nærmere i detailprojekt. Vandkemi i returskyllevandet skal ligeledes undersøges nærmere, fx. ved laboratorietest af metoden.</p> <p>Katalysatoren forbruges/inaktiveres langsomt, og derfor skal den</p>

<p>LØSNING D</p>	<p>SANDFILTER + H2O2/katalysator + GAC</p>
	<p>katalytiske coating i begge filtre fornyes ca. hvert halve år. Man kan eventuelt også tilsætte nogle kemikalier til vandet, så den oxiderende effekt bliver endnu kraftigere, men ofte er renseeffekten tilfredsstillende uden tilsætning af flydende katalysator.</p>
<p>Billede af anlæg med katalytisk filter</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <p>To billeder af et rammemonteret anlæg "Opticlear Diamond" fra Water IQ i Holland. Model M1, som vil kunne rense 10 m<sup>3</sup>/h.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Mobilt anlæg af typen "Opticlear Diamond". Anlægget i traileren har</p>

LØSNING D	SANDFILTER + H2O2/katalysator + GAC
	en kapacitet på 10 m <sup>3</sup> /h
Udviklingsstadium	Metoden er forholdsvis ny, og der er ingen anlæg af denne type i drift i Danmark så vidt vides. Metoden minder om løsning B og C, da disse tre metoder alle danner hydroxylradikaler ud fra brintperoxid. I Holland har firmaet Water IQ fået godkendt denne anlægstype til rensning af pesticidholdigt drænvand fra gartnerier.
Kommercielt tilgængelig	Kan leveres som en rammemonteret udgave eller som et mobilt anlæg installeret i en container/truck. De to modeller er vist på ovenstående billeder. Begge løsninger vil indeholde et lille forfilter samt diverse hjælpeudstyr og PLC-styring. Det betyder, at det meget let kan kobles til sandfilter og kulfilter på stedet. Containeren vil kunne købes, lejes eller leases efter nærmere aftale med Water IQ. Så vidt vides findes ingen danske leverandører af denne type renseudstyr.
Renseeffekt	Renseeffekten afhænger af, hvor hurtigt man pumper vandet igennem anlægget. Jo større opholdstid vandet har i det katalytiske filter, jo mere organisk stof vil der blive nedbrudt.  Renseeffekten er ikke tidligere testet på grundvand fra forureningsfanen fra Grindsted, så rensningseffekten kendes ikke. Det forventes dog at rensningseffekten vil være stor, idet der dannes de samme kraftige oxiderende hydroxylradikaler som for løsning B (H2O2/ozon) og løsning C (H2O2/UV).  Uorganiske stoffer fjernes ikke.
Kapacitet (m <sup>3</sup> /h)	De hollandske anlæg kan leveres i mange forskellige størrelser – typisk fra 0,48 m <sup>3</sup> /h til 60 m <sup>3</sup> /h.
Energiforbrug	Ca. 0,40 kWh/m <sup>3</sup>
Kemikalieforbrug	Forventet dosering af H2O2 = ca. 28 mg/l. Det svarer til et forbrug af 35% brintperoxid på ca. 0,7 kg/h eller 6250 kg/år
Forventet holdbarhed af udstyr	Anlægget vil jf. drøftelse med producenten kunne holde i mindst 10 år. Det gælder både de keramiske filtre og filterkolonnerne, der er lavet i rustfri stål.
Overskydende materiale som skal bortskaffes	Ved processen dannes der vand fra returskylling og CIP-rensning (ca. 3 m <sup>3</sup> pr. gang svarende til ca. 1000 m <sup>3</sup> /år). Det forventes, at vandet kan ledes til offentligt rensningsanlæg efter neutralisering.  Endvidere dannes lidt spildevand i forbindelse med fornyet coating af filteret. Det drejer sig om 2,4 m <sup>3</sup> spildevand med rester af reaktionskemikalier. Vi kender ikke disse kemikalier, men vi har fået oplyst, at man i Holland kan udlede dette vand til offentligt spildevandsanlæg.
Metodens tekniske begrænsninger	Det er vigtigt, at spildevandet er filtreret effektivt før reaktoren, men ellers er der ingen umiddelbare begrænsninger for metoden. Dog er

<b>LØSNING D</b>	<b>SANDFILTER + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/katalysator + GAC</b>
	metoden ikke særlig anvendelig til rensning af industrispildevand med stort indhold af organisk stof. Renseeffektiviteten på Grindstedvand kendes ikke.
Behov for supplerende oplysninger/tests	Der skal laves laboratorietest til at vurdere rensningseffektiviteten samt vurdere kemikaliebehov
Fordele	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Det er simplere og mere sikkert at håndtere brintperoxid end f.eks. ozon.</li> <li>&gt; Da urenheder nedbrydes til vand og kuldioxid dannes der ingen væsentlige rest affaldsprodukter.</li> <li>&gt; Den katalytiske proces kræver ikke løbende kemikalietilsætning ud over brintperoxid, og den forbruger ingen strøm. Elforbruget skyldes, at vandet skal pumpes gennem filtrene.</li> <li>&gt; Metoden virker uanset om vandet er transparent eller ej.</li> <li>&gt; Metoden er relativt billig ift. de øvrige AOP metoder</li> </ul>
Ulemper	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Der er en risiko for, at der ved nedbrydning af de organiske stoffer kan dannes toksiske nedbrydningsprodukter, som ikke fjernes ved rensningsprocessen.</li> <li>&gt; Katalysatoren forbruges og skal fornyes ca. én gang halvårligt.</li> <li>&gt; Der dannes små mængder spildevand ved CIP-rensning og der skal ske reaktivering af filtrene.</li> </ul>
Referencer	<p>2 hollandske leverandører af udstyr, der er godkendt til behandling af pesticidholdigt drænvand fra gartnerier. Alt udstyr fremstilles dog hos Water IQ, mens Waterson foretager rensning på kontraktbasis med mobile anlæg. Anlægget kan evt. leases i en given periode som en "Containerløsning".</p> <p>Fast installation: Water IQ International BV, <a href="https://www.wateriq.nl/">https://www.wateriq.nl/</a> E-mail: <a href="mailto:mail@wateriq.nl">mail@wateriq.nl</a></p> <p>Mobilt anlæg: Waterson B.V., <a href="http://www.waterson.nl">www.waterson.nl</a> E-mail: <a href="mailto:info@waterson.nl">info@waterson.nl</a></p>





## Bilag G Beskrivelse af oppumpning af grundvand/drænvand til vandrensning



# 1 Anlæg til oppumpning og evt. reinfiltration

## 1.1.1 Beregning af påvirkning

Det antages, at der kan oppumpes/opsamles ca. 4,5 m<sup>3</sup>/t fra drænene på Ren-seanlæg Vest-grunden, svarende til et gennemsnit af estimerede vandføringer i drænene, og at der derfor skal oppumpes ca. 5,5 m<sup>3</sup>/t for at nå den samlede målsatte mængde på 10 m<sup>3</sup>/t.

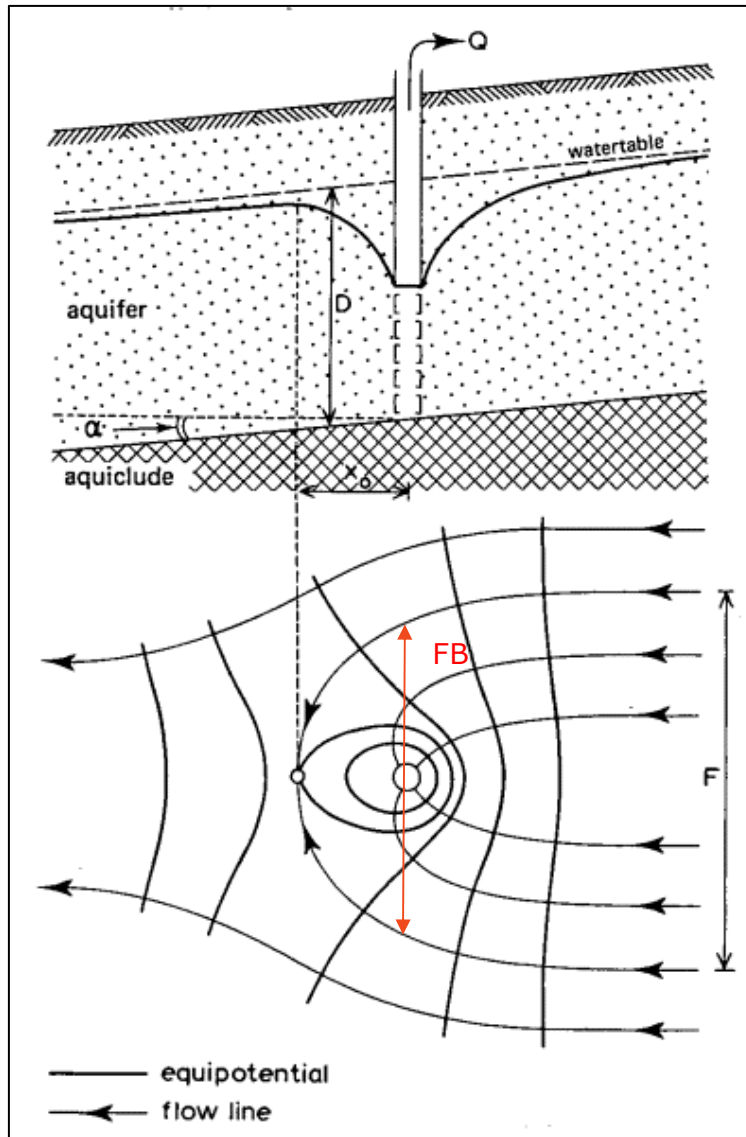
Effekten af oppumpningen kan fastlægges ved beregning af oppumpningens oplandsbredde. En analytisk model til beregning af dette er beskrevet af Kruuseman og de Ridder, /5/ (se Figur G-1), ligesom den indgår i GEUS' rapport for beregning af indvindingsoplande, /6/. Følgende formler gælder:

$$\text{Stagnationspunkt; } x_0 = Q/(2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot K \cdot D)$$

$$\text{Oplandsbredde; } F = Q/(\alpha \cdot K \cdot D)$$

$$\text{Oplandsbredde ved boring; } FB = Q/(2 \cdot \alpha \cdot K \cdot D)$$

Hvor  $\alpha$  er gradienten på vandspejlet, K er den hydrauliske ledningsevne, Q er pumpeydelsen og D er magasinets mægtighed.



Figur G-1 Analytisk model til beregning af påvirkningsradius/oplandsbredde. Modificering af figur fra /5/. FB: Oplandsbredde ved boring.

En analyse af forureningens beliggenhed viser, at denne overvejende er koncentreret i niveauet mellem ca. 10 og 30 meter under terræn, jf. afsnit 2 og Bilag J. Oppumpningen antages derfor indledningsvist at skulle ske i omtrent dette niveau. Boreprofilerne viser, jf. afsnit 4.2, at der findes sand til stor dybde, men at der også er observeret mere lerede lag, som jf. grundvandspotentialerne, virker begrænsende på den vertikale strømning. Det vurderes derfor, at borerens effektive påvirkningsdybde vil være filterlængden plus 5 meter, svarende til 2,5 meter hhv. over og under filtersætningen.

Der er regnet på to situationer, hvor boringen er filtersat med 10 m filter i hhv. det kvartære sand og i det tertiære sand. For en oppumpning på  $5,5 \text{ m}^3/\text{t}$  findes resultaterne angivet i Tabel 1-1. Såfremt der oppumpes fra et langt filter dækkende både kvartært og tertiært sand reduceres værdierne for  $x_0$ ,  $F$  og  $FB$  til omkring halvdelen, forudsat at  $k$ -værdien er konstant ned gennem sandlagene.

Tabel 1-1 Analytisk beregning af påvirkning ved pumpning fra hhv. kvartært og tertiært sand.

PARAMETER	VÆRDI, KVARTÆRT	VÆRDI, TERTIÆRT	ENHED	ARGUMENTER
D	15	15	M	Filterlængde på 10 m plus 5 meter ekstra påvirkningsdybde
Q	5,5	5,5	m <sup>3</sup> /t	
α	6,5	6,5	‰	Gradient er baseret på Orbicons potentialekort /ref/
K	2,0*10 <sup>-4</sup>	1,4*10 <sup>-4</sup>	m/s	K er baseret på grundvandsmodellen for Grindsted /ref/
x0	12	18	m	Stagnationspunkt i retning mod åen
F	78	112	m	Beregnet maksimal oplandsbredde opstrøms boringen
FB	39	56	m	Oplandsbredde ved boring

Den analytiske beregning viser, at påvirkningsbredden ligger mellem 78 og 112 m, hvilket ca. svarer til bredden af grunden ved rensningsanlægget. Skal der opfanges forurening fra en større bredde, skal pumpemængden øges.



## Bilag H    Beskrivelse af forfiltrering med sandfilter





Greensand Filtration – grønsandsfiltrering - er i Nordamerika en udbredt teknologi til fjernelse af jern og mangan fra grundvand. Størst udbredelse af denne teknologi finder sted i behandling af drikkevand, hvor jern og mangan fjernes for at overholde miljømyndighedernes (USEPA) sekundære æstetiske drikkevandskvalitetskrav. Grønsandsfiltreringsprocessen fungerer i store træk som tryksat filtrering gennem et multimedie, hvor vand presses gennem et lag af filtermediegranulat i en lukket beholder under tryk. I lighed med andre typer af tryksat multimediefiltrering, bliver filtermaterialet rensed ved tilbageskylning, hvor de akkumulerede materialer på mediet skylles bort, og der sikres et lavt trykfald hen over filteret.

I modsætning til andre typer af tryksat multimediefiltrering, er mediet i et grønsandsfilter bestående af glaukonikgranulat belagt med et lag af manganoxid. Laget af manganoxid på oversiden af grønsandet oxiderer indholdet af jern og mangan i det vand der strømmer gennem filtermaterialet. De dannede jern- og manganoxider tilbageholdes inde i filtermaterialet, og bliver fjernet ved tilbageskylningsprocessen som før beskrevet. Under oxidationsprocessen bliver belægningen af manganoxid delvist reduceret, og såfremt der ikke tilføres en regenerende oxidant gennem en længere periode, bliver belægningen nedbrudt, hvilket nødvendiggør udskiftning af grønsandsmediet. Regenerering af manganoxidbelægningen gennemføres ved en af følgende metoder, eller ved kombination deraf:

- > Løbende regenerering ved tilsætning af hypoklorit (klor), kaliumpermanganat, eller begge, til indløbsvandet til grønsandsfilteret (typisk benyttet når der ønskes jernfjernelse), og
- > Periodisk regenerering ved at tage trykbeholderen ud af drift, og lade en kaliumpermanganatopløsning gennemvæde filtermaterialet (typisk benyttet når der alene ønskes manganfjernelse).

I anvendelser hvor klor benyttes til regenerering, tilsættes det i lave koncentrationer (5-7 mg/l, typisk for drikkevand i USA), og udløbet fra grønsandsfilteret indeholder residual klor. Hvis udledningen fra grønsandsfilteret kræver yderligere behandling, kan den tilbageværende klor blive fjernet ved hjælp af omvendt osmose, avancerede oxidationsprocesser der benytter brintperoxid, natriumbisulfit, eller gennem aktivt kul. Hvis udløbsvandet skal indgå som drikkevandsforsyning, skal der i USA evt. tilsættes klor for at opnå den rette koncentration af residual klor i distributionssystemet.

Grønsandsfiltreringsudstyr er kommercielt tilgængeligt via forskellige leverandører. Nedenstående link viser et datablad for udstyr leveret af Nalco (Ecolab).


<https://www.reskem.com/wp-uploads/2015/04/reskem-unitech-greensandfilter.pdf>



# Bilag I      Beskrivelse af efterfiltrering med kulfilter



<b>Metode</b>	<b>Aktivt kul</b>
Kort metodebeskrivelse	<p>Efter rensning i AOP reaktor sker der filtrering gennem kulfilter inden slutførelse af det rensede grundvand.</p> <p>I kullene bindes evt. rester af organisk forureningen, brintperoxid og ozon.</p> <p>I et kulfilter anvendes normalt kulgranulat med en kornstørrelse på 0,5-1,0 mm og en rumvægt på ca. 0,5 kg/liter. Kullene kan typisk optage en organisk stofmængde på 20-30 % af egen vægt. Jo mere kulkolonne mættes med organisk stof, desto dårligere bliver renseseffektiviteten. Hvis et kulfilter overbelastes, kan man risikere at nogle stoffer med dårligere affinitet til kullene afgives igen fra kulfilteret, fordi de bliver udstødt af stoffer med stor affinitet til kullene. Afhængig af, hvilke stoffer der skal fjernes, vil man typisk skulle have en opholdstid i kulfilteret på 10-15 minutter for at opnå en god rensning.</p> <p>Vi foreslår at anlægget vil blive udført med to kulfiltre i serie. På den måde kan man få optaget maksimal mængde organisk stof, uden at det går ud over renseseffektiviteten, fordi vandet til sidst løber igennem en næsten rent kulfilter. Når det første filter er helt mættet, skal det udskiftes, hvorefter man bytter om på rækkefølgen, så det helt nye filter bliver placeret til sidst.</p> <p>Et kulfilter kan laves som en fast installation, hvor beholderen tømmes og fyldes med kul på stedet. Det kan også være en fleksibel installation, hvor hele beholderen udskiftes og erstattes med en ny.</p> <p>Procesforløb: Forfiltrering – AOP reaktor – efterfiltrering ed aktivt kul-filter</p>
Skitse/billede	 <p>Billede af to 1-gangs kulfiltre fra Chemviron. Den lille beholder indeholder 75 kg kul og kan typisk køre med et max. flow på 2 m<sup>3</sup>/h. Den store beholder rummer 450 kg kul og kan køre med et max- flow på 6 m<sup>3</sup>/h.</p>

Metode	Aktivt kul
	 <p data-bbox="497 801 1141 828">To små 1-gangs filtre (75 kg) installeret i et container renseanlæg.</p>
Udviklingsstadium	<p data-bbox="497 855 1372 945">Metoden har været kendt længe og er veldokumenteret, og den anvendes i hele verden til fjernelse af organisk stof i vand. Aktivt kul har i mange år været anvendt herhjemme til rensning af forurenede grundvand med organisk stof.</p>
Kommercielt tilgængelig	<p data-bbox="497 990 1372 1108">Filtre med aktivt kul kan leveres fra mange danske firmaer enten som fast installation eller som mobile beholdere, hvor hele beholderen udskiftes, når kullene er mættede. Beholderen kan enten sendes til regenerering, eller hele beholderen med indhold kan sendes til destruktion på forbrændingsanlæg.</p>
Renseeffekt	<p data-bbox="497 1153 1372 1272">Det afgørende for om et stof kan adsorberes er stoffets kemiske sammensætning. Nogle stoffer har en meget stor affinitet til aktivt kul, mens andre stoffer har dårligere affinitet eller meget lille affinitet. Generelt kan det siges, at upolære stoffer adsorberes godt, mens polære stoffer adsorberes dårligt.</p> <p data-bbox="497 1288 1372 1550">Erfaringsvist er der god rensningseffekt for klorerede opløsningsmidler (PCE og TCE) og for kulbrinter, herunder benzen. Aktivt kul kan også adsorbere nedbrydningsprodukter af klorerede opløsningsmidler (VC og cDCE), men det kræver et stort kulforbrug og regnes ikke for at være en cost-effektiv metode til rensning herfor. Der foreligger ingen tal for rensningseffekt ved rensning af grundvand med pharmastoffer. Aktivt kul forventes at have en vis effekt for flere af pharmastofferne. Såfremt der efter AOP behandling er rester af pharmastoffer og nedbrydningsprodukter af klorerede opløsningsmidler vil efterfiltrering gennem kulfilter medføre en vis tilbageholdelse af disse stoffer.</p> <p data-bbox="497 1568 1372 1653">Renseeffekten afhænger af, hvor hurtigt man pumper vandet igennem anlægget. Jo større opholdstid vandet har i kontakt med aktivt kul, jo bedre vil rensningseffekten blive.</p>
Kapacitet (m <sup>3</sup> /h)	<p data-bbox="497 1697 1372 1758">Filtre med aktivt kul kan leveres i næsten alle størrelser. Kontakttiden skal typisk være 10-15 minutter for at opnå optimal tilbageholdelse af pesticider.</p>
Indkøb af kulfiltre	<p data-bbox="497 1803 1372 1863">Det forventes 2 kulfiltre i serie med hver ca. 1.000 kg kul. Opholdstiden i dette anlæg vil være ca. 12 minutter ved max. flow (10 m<sup>3</sup>/h).</p>
Kulforbrug	<p data-bbox="497 1908 1372 2049">Kulforbruget er vanskeligt præcist at forudsige. Det hænger bl.a. sammen med, hvor meget organisk stof, der nedbrydes ved AOP samt ved destruktion af ozon og H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Som udgangspunkt forventes et forbrug i størrelsesorden 4500 kg/år. Vi skal regne med, at det koster ca. 35 kr/kg at skifte kul (købe nye kul og destruere gamle kul). Hvis kulforbruget er 4500 kg/år svarer det til ca. 160.000</p>

Metode	Aktivt kul
	<p>kr/år. Et kulforbrug på 4500 kg/år er dog nok i overkanten. 4500 kg kul kan optage ca. 900 kg organisk stof, men da der også bruges kul til destruktion af brintperoxid og/eller ozon er det forkert at kalkulere alene ud fra den mængde organiske stof, der skal fjernes.</p> <p>Man kan også leje et kulfilter hos Chemviron Carbon. Når filteret er mættet, udskiftes hele filteret. Investeringen er meget mindre, men driftsudgiften er til gengæld noget større. Det er dog bekvemt med udskiftning af hele filteret, men det skal ses i forhold til, hvor mange gange der skal skiftes kul pr. år.</p>
Fordele	<ul style="list-style-type: none"><li>&gt; Kan både fjerne rester af organisk forurening samt rester af ozon og brintperoxid</li><li>&gt; Anlægget fylder ikke ret meget, og det er simpelt i opbygning. Tidsforbrug til pasning og vedligeholdelse er minimal.</li><li>&gt; Der anvendes ingen kemikalier.</li><li>&gt; Metoden virker uanset om vandet er transparent eller ej.</li></ul>
Ulemper	<ul style="list-style-type: none"><li>&gt; Aktivt kul kan ikke fjerne alle de organiske stoffer.</li><li>&gt; Når kullene er mættede skal de udskiftes og sendes til regenerering eller destruktion.</li><li>&gt; Vandet skal være fri for partikler, som vil tilbageholdes i kulefilteret, som efterhånden stopper til.</li></ul>
Referencer	<p>Udvalgte danske leverandører af kulfiltre:</p> <p>Chemviron Carbon: <a href="http://www.chemviron.eu/">http://www.chemviron.eu/</a> e-mail: <a href="mailto:sqroenbjerg@calgoncarbon.com">sqroenbjerg@calgoncarbon.com</a></p> <p>Aage Christensen A/S, <a href="https://www.aagechristensen.dk/aktivt-kulfilter.aspx">https://www.aagechristensen.dk/aktivt-kulfilter.aspx</a> , E-mail: <a href="mailto:info@aagechristensen.dk">info@aagechristensen.dk</a></p> <p>Kemic Vandrens A/S, <a href="http://www.kemic.dk/">http://www.kemic.dk/</a> E-mail: <a href="mailto:kemic@kemic.dk">kemic@kemic.dk</a></p> <p>Silhorko A/S, <a href="https://www.silhorko.dk/">https://www.silhorko.dk/</a> E-mail: <a href="mailto:info.dk@silhorko.dk">info.dk@silhorko.dk</a></p> <p>BWT Water, <a href="http://www.bwt.dk/da/Sider/default.aspx">http://www.bwt.dk/da/Sider/default.aspx</a> Email: <a href="mailto:bwt@bwt.dk">bwt@bwt.dk</a></p>





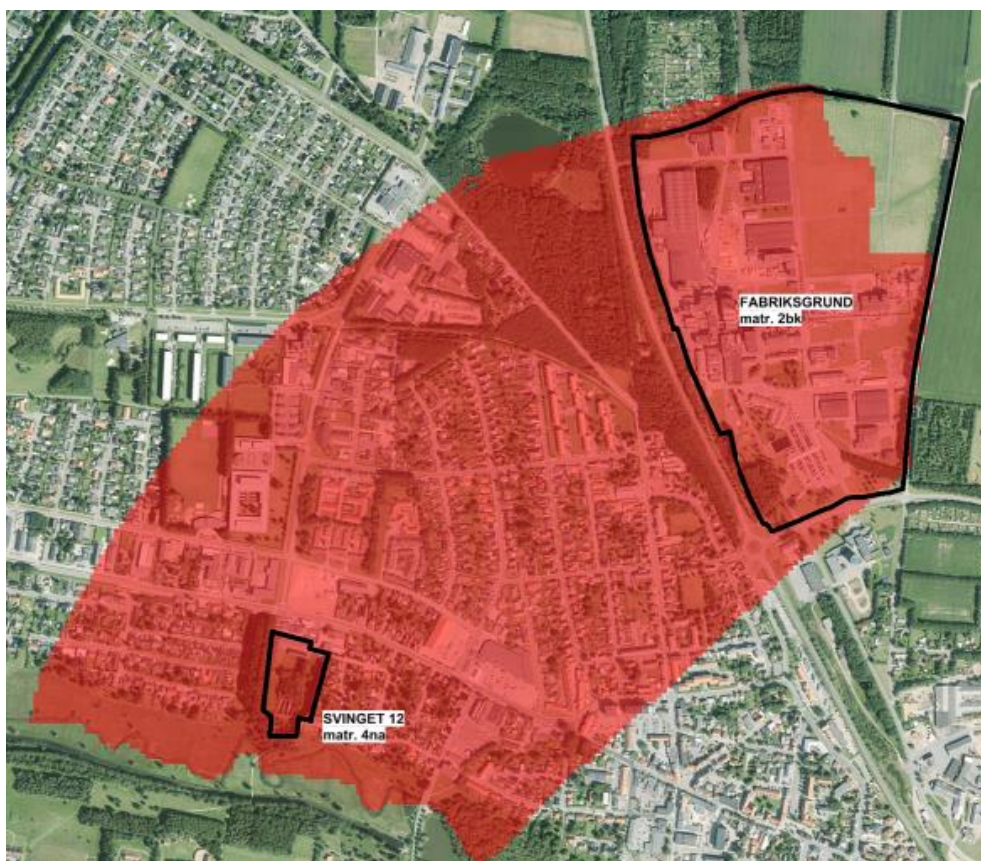
Bilag J      Beskrivelse af  
forureningssituationen ved tidl.  
Renseanlæg Vest



## Bilag J Forureningssituationen ved tidl. Renseanlæg Vest

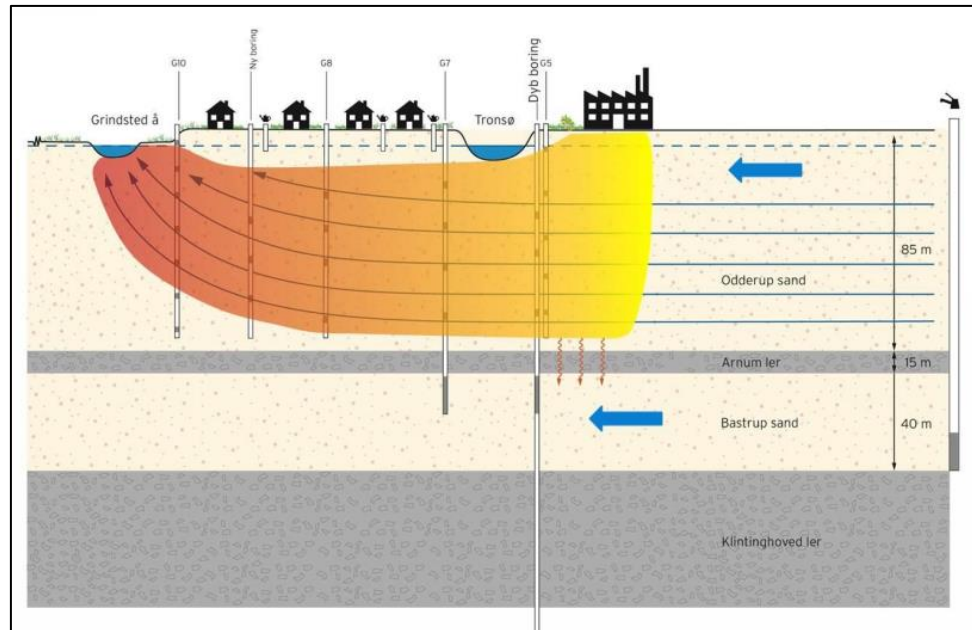
Ejendommen Svinget 12 har tidligere har været anvendt som kommunalt renselanlæg og anvendes i dag delvist som materielgård og pumpestation med opholdsbassiner for Billund Vand & Energi. Undersøgelser har vist, at den kraftigste forureningsfane fra fabriksgrunden er at finde under og omkring denne ejendom. Placeringen af ejendommen i forhold til fabriksgrunden kan ses på Figur J-1.

Den konceptuelle model for spredning af forureningen fra fabriksgrunden mod Grindsted Å kan ses på Figur J-2, mens den modellerede udbredelse af forureningsfanen i det øverste grundvand fra fabriksgrunden mod Grindsted Å er vist på Figur J-1.



Figur J-1 Modelleret udbredelse af forureningsfanen i det øverste grundvand fra fabriksgrunden mod Grindsted Å. Kortet er vedlagt i stort format i Bilag A1.

Forureningsfanen indeholder høje koncentrationer af klorerede opløsningsmidler samt nedbrydningsprodukter heraf, herunder særligt vinylklorid og *cis*-1,2-diklorethen (*cis*-1,2-DCE). Forureningsfanen indeholder også høje koncentrationer af de såkaldte Grindstedstoffer, herunder ethylcarbamat (anvendes bl.a. ved fremstilling af lægemidler), sulfonamider (antibiotika) og barbiturater (sovemidler). Endelig ses også væsentlige indhold af olie- og benzinstoffer.



Figur J-2 Konceptuel model af forureningens spredning i grundvandet fra fabriksgrunden til Grindsted Å, fra /1/.

En væsentlig del af forureningen fra fabriksgrunden strømmer som nævnt ud i Grindsted Å nedstrøms tidl. Renseanlæg Vest, Svinget 12, Grindsted. Forureningen på Renseanlæg Vest-grunden er undersøgt i 2016-2017. Resultaterne er beskrevet i /7 / og udvalgte resultater er opstillet i Tabel J-1.

De målte indhold af Grindstedstoffer (sum), vinylklorid og benzen i grundvandet på og omkring tidl. Renseanlæg Vest er desuden vist på Bilag A.2, mens de maksimalt påviste indhold af udvalgte Grindstedstoffer (udvalgt på baggrund af høj koncentration og/eller risikoscore >70), *cis*-1,2-DCE, vinylklorid og benzen er opstillet i Tabel J-1.

#### Grindstedstoffer

De højeste koncentrationer af Grindstedstoffer på tidl. Renseanlæg Vest, Svinget 12 ses fra ca. 8 meter under terræn (m u.t.). Indholdet udgøres særligt af ethylcarbamat, meproamat, barbiturater og sulfonamider og er ikke afgrænset i dybden.

Den højeste koncentration af Grindstedstoffer er målt i boring 114.2567, som er udført ca. 100 m nord for åen på den sydøstlige del af grunden. Her er der i 13-15 m u.t. påvist et indhold af sum Grindstedstoffer (pakke A-D) på 14.926 µg/l. Størstedelen af indholdet (14.000 µg/l) udgøres af ethylcarbamat. Desuden ses væsentlige indhold af bl.a. bl.a. barbiturater, sulfonamider og meproamat. Indholdet af ethylcarbamat er ikke afgrænset i dybden, mens der mod terræn ikke er påvist indhold af ethylcarbamat i 3-5 m u.t.

Tabel J-1      Maksimalt påvist indhold af udvalgte forureningskomponenter i grundvandet ved Svinget 12, Grindsted.

	Boring med max. indhold	Koncentration (µg/l)	Filterniveau (m u.t.)	Risikoscore for overfladevand, jf. afsnit 3.
<b>Kloreerede opløsningsmidler</b>				
cis-1,2-DCE	114.2568	0,25 1.200 1.900 1.500	4-6 12-14 18-20 23-25	80
Vinylklorid (VC)	F1 (Geoprobe)	2,9 890 6.800 3.100	4-5 11-12 19-20 24-25	87
<b>Oliestoffer</b>				
Benzen	F1 (Geoprobe)	9 1.300 570 690	4-5 11-12 19-20 24-25	93
<b>Grindstedstoffer</b>				
Allobarbital	114.2568	0,19 270 110 52	4-6 12-14 18-20 23-25	81
Butobarbital	F1 (Geoprobe)	0,13 140 10 12	4-5 11-12 19-20 24-25	95
Ethylcarbammat	114.2567	<0,1 5.700 14.000	3-5 8-10 13-15	65
Meprobammat	114.2567	14 720 200	3-5 8-10 13-15	90
Pentobarbital	114.2567	5,5 160 35	3-5 8-10 13-15	91
Sulfaguandine	114.2568	0,052 300 380 250	4-6 12-14 18-20 23-25	95
Sulfadimidin	F1 (Geoprobe)	0,32 2,5 460 350	4-5 11-12 19-20 24-25	75
Sulfanilamid	114.2568	0,33 750 320 250	4-6 12-14 18-20 23-25	95
Sum Grindstedstoffer (pakke A-D)	114.2567	298 7.196 14.926	3-5 8-10 13-15	-

I boring 114.1448 ca. 25 m nord for åen ses det højeste indhold af sum af Grindstedstoffer i 21-22 m u.t., hvor der er påvist et indhold på 2.200 µg/l. En større andel af indholdet (1.600 µg/l) udgøres igen af ethylcarbammat. Desuden ses væsentlige indhold af bl.a. barbiturater, sulfonamider og meprobumat. Indholdet er her væsentligt reduceret i 33-34 m u.t., hvor der ses indhold af sum af Grindstedstoffer på 29,6 µg/l, mens der ikke er påvist indhold over analysemetodens detektionsgrænse i hhv. 50-51 og 58-59 m u.t. I 63-65 m u.t. ses et indhold på 2,4 µg/l.

På den sydlige del af Renseanlæg Vest findes et overløbsbygværk, som tilledes drænvand fra to drænrør med indløb i hhv. den nordlige og i den sydlige ende af overløbsbygværket. Der er bl.a. i forbindelse med undersøgelserne i /7/ udtaget en prøve af drænvandet i det nordlige tilløb. Der blev påvist et indhold af sum af Grindstedstoffer i drænvandet på 464 µg/l. Indholdet bestod overvejende af barbiturater, sulfonamider og meprobumat, mens der ikke blev påvist indhold af ethylcarbammat.

I Grindsted Å er der påvist indhold af Grindstedstoffer på op til ca. 78 µg/l med et gennemsnitligt indhold på ca. 25 µg/l /9/. Indholdet er bestemt som summen af indhold af sulfanilsyre, sulfonamider og barbiturater.

Klorerede opløsningsmidler

De højeste koncentrationer af klorerede opløsningsmidler på tidl. Renseanlæg Vest ses fra ca. 8 m u.t. og er ikke afgrænset i dybden. Indholdet af klorerede opløsningsmidler udgøres overvejende af nedbrydningsprodukterne vinylklorid og *cis*-1,2-DCE.

Vinylklorid

Den højeste koncentration af vinylklorid er målt i Geoprobe-sonderingen F1, som er udført på den nordøstlige del af grunden ca. 200 meter nord for åen. Her er der i 19-20 m u.t. påvist et indhold på 6.800 µg/l /9/. Indholdet er ikke afgrænset i dybden, idet der 23-25 m u.t. ses indhold af vinylklorid på 3.100 µg/l. Mod terræn er indholdet kraftigt faldende i 3-5 m u.t., hvor der er påvist 2,9 µg/l.

Tættere på åen i boring 114.2508, som ligger ca. 15 meter nord for åen, ses indhold af vinylklorid på 3.600-3.900 µg/l i 5,5-6,5 m u.t.

I boring 114.2507 beliggende umiddelbart ved siden boring 114.2508 ses indhold af vinylklorid på 270 µg/l i både 16-17 og 27-28 m u.t. Der foreligger desuden et resultat fra boringen, der viser indhold af vinylklorid på 3.700 µg/l i det dybe filter.

I drænvandet med indløb i overløbsbygværket er der påvist indhold af vinylklorid på 580 µg/l /7/. Billund Vand har flere gange udtaget vandprøver fra det nordlige dræn. Der er i den forbindelse påvist indhold af vinylklorid på 300-1.917 µg/l.

I Grindsted Å er der påvist indhold af vinylklorid på op til ca. 21 µg/l med et gennemsnitligt indhold på ca. 2,2 µg/l /9/.

*cis*-1,2-DCE

Den højeste koncentration af *cis*-1,2-DCE er målt i boring 114.2508, som er udført ca. 15 m nord for åen. Her er der påvist indhold af *cis*-1,2-DCE på op til

3.600 µg/l i 5,5-6,5 m u.t. Indholdet er ikke afgrænset vertikalt i det der i boring 114.2507 beliggende umiddelbart ved siden af boring 114.2508, er påvist indhold af *cis*-1,2-DCE på 22 µg/l i 16-17 m u.t., og 21 µg/l i 27-28 m u.t. Der foreligger desuden et resultat fra boringen, der viser indhold af *cis*-1,2-DCE på 3.000 i 27-28 m u.t.

Længere mod nord, er der i boring 114.2568 ca. 250 meter fra åen, påvist et indhold af *cis*-1,2-DCE på 1.900 µg/l i 18-20 m u.t. Indholdet er ikke afgrænset i dybden, idet der 23-25 m u.t. ses indhold af *cis*-1,2-DCE på 1.500 µg/l. Indholdet er tilnærmelsesvist afgrænset mod terræn, idet der 4-6 m u.t. alene ses et indhold på 0,25 µg/l.

I boring 114.2567, som ligger ca. 100 m nord for åen på den sydøstlige del af grunden ses et indhold af *cis*-1,2-DCE på 1.200 µg/l i 8-10 m u.t. Indholdet er i denne boring tilnærmelsesvist afgrænset i dybden, da der i 13-15 m u.t. alene ses et indhold af *cis*-1,2-DCE på 0,6 µg/l.

I drænvandet med indløb i overløbsbygværket er der påvist indhold af *cis*-1,2-DCE på 340 µg/l i det nordlige dræn /7/.

I Grindsted Å er der påvist indhold af *cis*-1,2-DCE på op til ca. 43 µg/l med et gennemsnitligt indhold på ca. 4,4 µg/l /9/.

#### Olie- og benzinstoffer

De højeste indhold af olie- og benzinstoffer udgøres af benzen og ses omkring 11-12 m u.t.

Den højeste koncentration af benzen er påvist i Geoprobeboringen F1, som er udført på den nordøstlige del af grunden ca. 200 meter nord for åen. Her er der i 11-12 m u.t. målt et indhold på 1.300 µg/l. Indholdet er ikke afgrænset vertikalt i boringen, idet der 24-25 m u.t. er påvist et indhold af benzen på 690 µg/l.

I boring 114.2569 og boring 114.2570 udført ca. 25-50 m fra åen ses i 20,5-22,5 m u.t. indhold af benzen på 130-310 µg/l, og der er i 28-30 m u.t. indhold på 230-560 µg/l.

I boring 114.1448 ca. 25 m nord for åen ses et indhold af benzen på 20 µg/l i 8-9 m u.t., i 33-34 m u.t. er indholdet aftaget til 5,7 µg/l og der er ikke påvist indhold af benzen i de dybere filtre i boringen, jf. Bilag A2.

I drænvandet med indløb i overløbsbygværket er der påvist indhold af benzen på 120 µg/l i det nordlige dræn /7/.

I Grindsted Å er der påvist indhold af benzen på op til ca. 2,6 µg/l med et gennemsnitligt indhold på ca. 0,8 µg/l /9/.

#### Sammenfatning

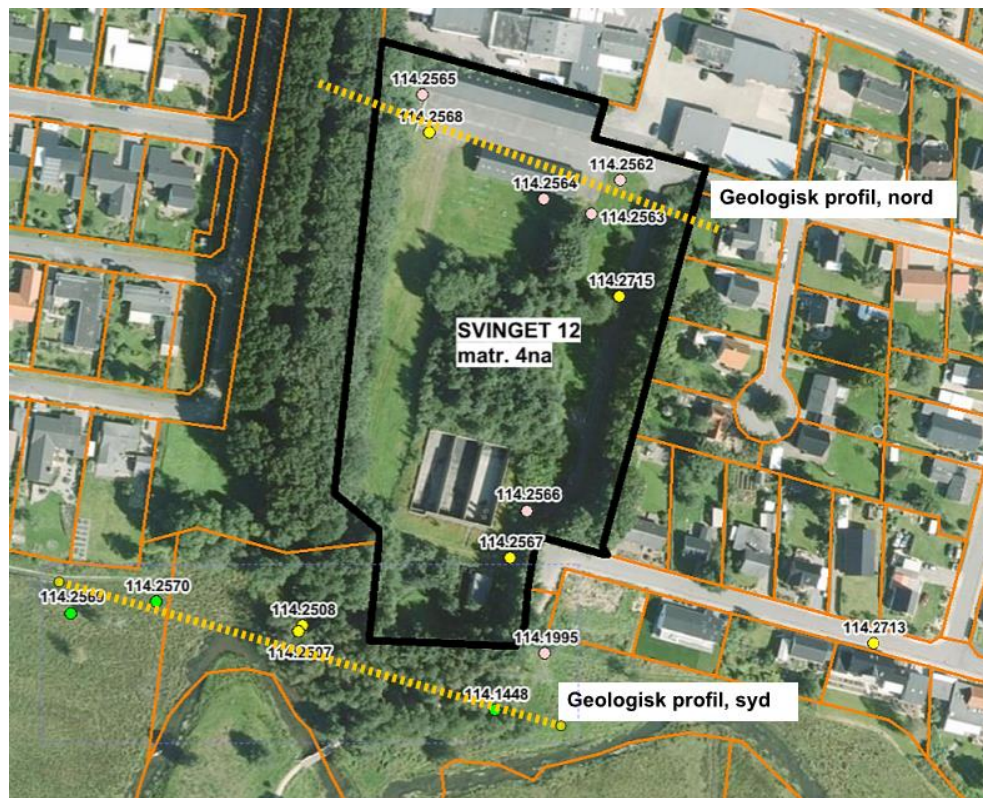
De udførte undersøgelser indikerer, at forureningsfanen generelt kommer tættere på terræn jo nærmere åen man kommer, hvilket stemmer godt overens med den konceptuelle models beskrivelse af fanen, jf. Figur J-2. Der er udarbejdet 2 profiler/tværsnit med angivelse af forureningsniveauet for

Grindstedstoffer, vinylklorid og benzen. Et profil ca. 200 meter nord for åen (Geologisk profil, nord) og et profil umiddelbart nord for åen (Geologisk profil, syd).

Placeringen af profilerne kan på Figur J-3 og profilsnittene på Figur J-4 og J-5.

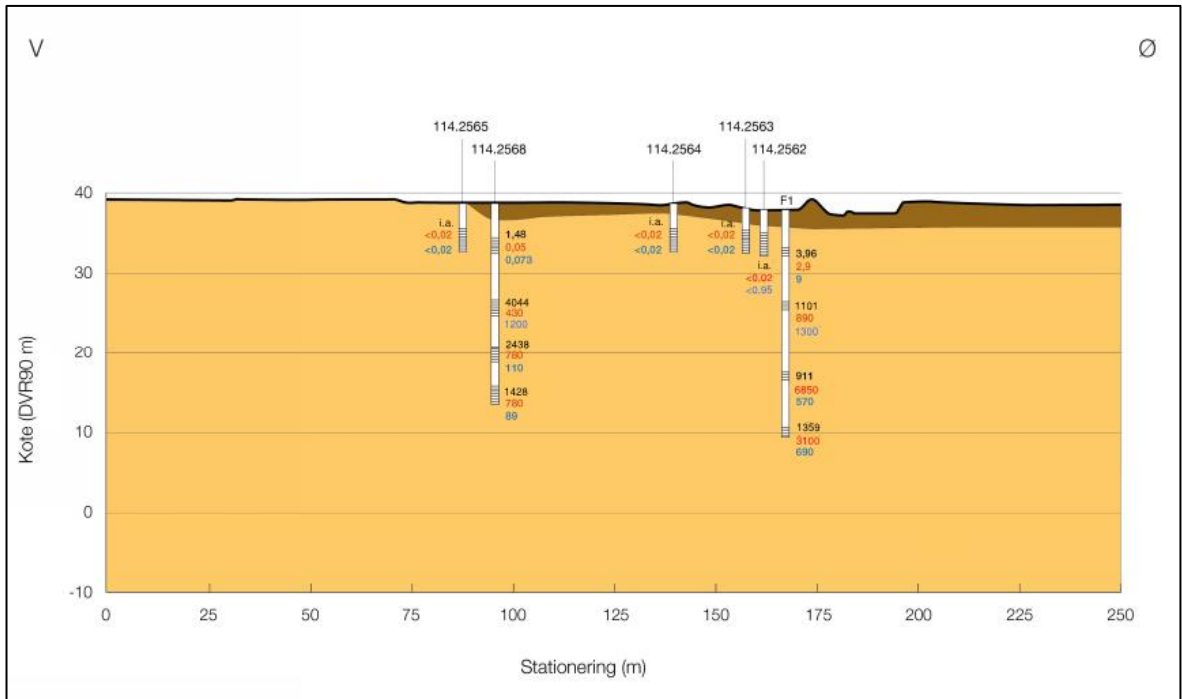
Som det fremgår af profilsnittene, træffes den kraftigste forurening ved det nordlige profilsnit fra omkring kote 25 m (ca. 12 m u.t.), mens den ved det sydlige profilsnit træffes omkring kote 30 (5 m u.t.), og dermed nærmere ved terræn. Forureningen er ikke afgrænset vertikalt. Ved det nordlige profilsnit er forureningen tilnærmelsesvist afgrænset mod terræn, mens dette ikke er tilfældet ved det sydlige profilsnit.

Det bemærkes generelt at der ikke er udført tilstrækkeligt med borer til at fa- nens udbredelse kan beskrives nærmere, og at de nævnte vertikale udbredelser derfor alene er et groft skøn.

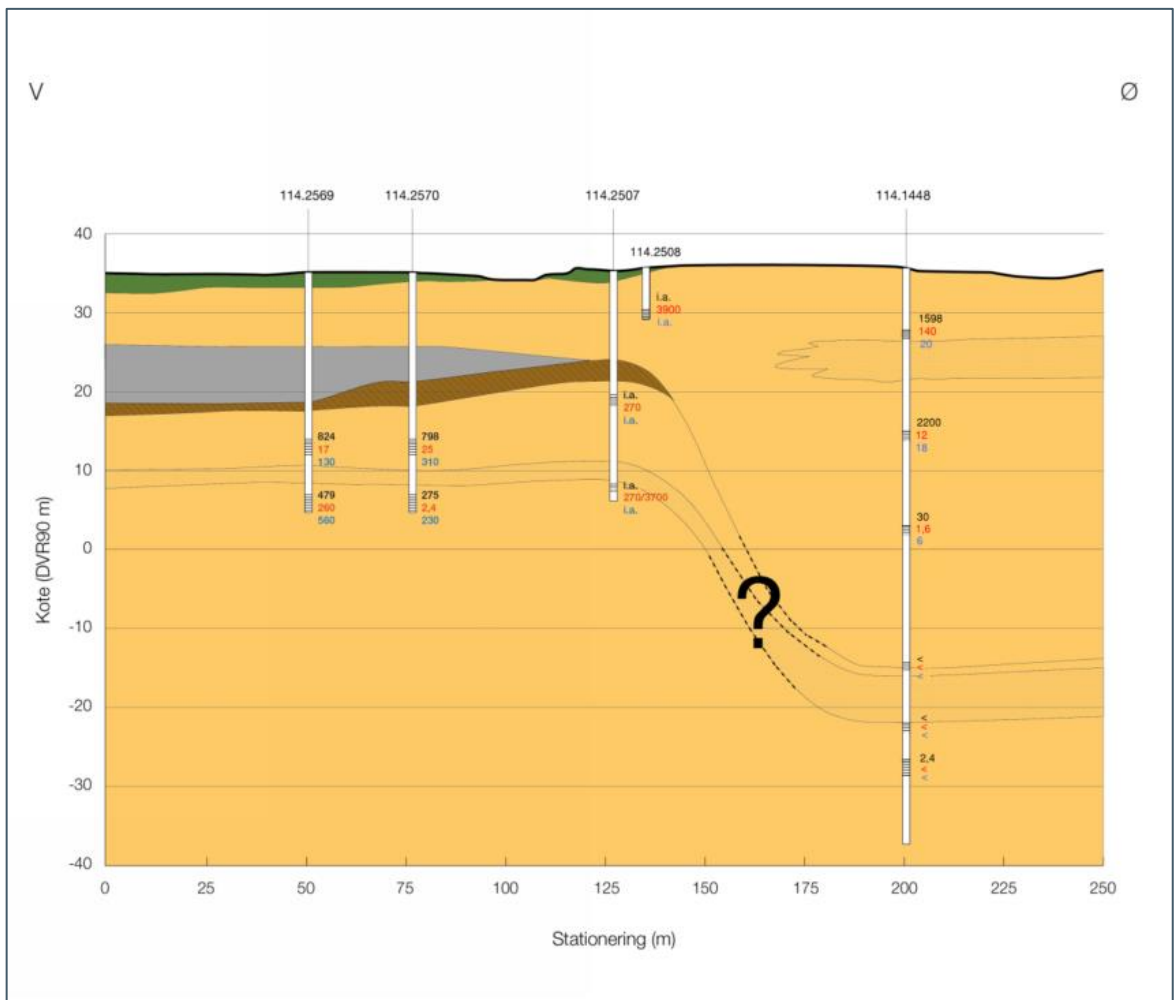


Figur J-3 Placering af geologiske profilsnit umiddelbart nord for åen (geologisk profil, syd) og samt knap 200 meter mod nord (geologisk profil, nord).





Figur J-4 Geologisk profil, nord, udsnit af Bilag A3.



Figur J-5 Geologisk profil, nord, udsnit af Bilag A3.



## Bilag K Tidsplan



## Tidsplan - forudsætter at rensemetode er valgt og at alle oplæg til supplerende undersøgelser og laboratorieforsøg er udarbejdet og kontraheret inden 7. juli 2019

Aktiviteter	August	September	Oktober	November	December
Opstartsmøde					
Statusmøde RSD - COWI					
Projektledelse					
<b>Detailprojekt og supplerende undersøgelser</b>					
Supplerende borearbejde og prøvetagning (herunder baselinetest)					
Pumpetest mv.					
Laboratorietests, rensemetoder (ca. 1 måned + 1 måneds analysetid efter afsluttet test)					
Laboratorietests, økotoxikologi (1 måneds analysetid efter afsluttet test)					
Flowmålinger i dræn					
Indhentning af miljøtilladelser					
Rapportering af supplerende undersøgelser					
Udarbejdelse af detailprojekt og udbudsmateriale					
Detailprojekt i udkast					
RSD-kommentering af detailprojekt og udbudsmateriale					
Detailprojekt og udbudsmateriale i endelig udgave					
Udbud og valg af entreprenør					
Opstartsmøde med entreprenør og regionen på lokaliteten					
Etablering og test af anlæg					





Region Syddanmark  
Jordforureningsafdelingen  
Damhaven 12  
7100 Vejle  
Tlf. 7663 1000  
[www.regionyddanmark.dk/jordforurening](http://www.regionyddanmark.dk/jordforurening)



**Region Syddanmark**  
Miljø og Råstoffer  
Damhaven 12  
7100 Vejle