

Til  
**Miljøstyrelsen**

Dokumenttype  
**Rapport**

Dato  
**Februar 2022**

# AFVÆRGEPROGRAM MINKGRAVE



## **AFVÆRGEPROGRAM MINKGRAVE**

Projekt navn **Afværgeprogram - minkgrave**  
Projektnr. **1100033606-017**  
Modtager **Miljøstyrelsen**  
Dokumenttype **Rapport**  
Version **4**  
Dato **25-02-2022**  
Udarbejdet af **Jes Holm, Jesper Albinus, Jan B. Madsen, Bianca Pedersen, Dorte Harrekilde**  
Gennemgået af **Lars Bennedsen, Anders Refsgaard**  
Godkendt af **Dorte Harrekilde**  
Beskrivelse **Afværgeprogram for restforurening efter fjernelse af mink**

Rambøll  
Englandsgade 25  
DK-5100 Odense C

T +45 5161 1000  
F +45 5161 1001  
<https://dk.ramboll.com>

## INDHOLD

<b>1.</b>	<b>Indledning</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Konceptuel model og opgravning</b>	<b>4</b>
2.1	Konceptuel model	4
2.2	Opgravning og restforurening	5
<b>3.</b>	<b>Monitering og risikovurdering</b>	<b>5</b>
3.1	Monitering	5
3.2	Risikovurdering Kølvrå	6
3.3	Risikovurdering Nr. Felding	7
<b>4.</b>	<b>Målsætning for afværgeforanstaltninger</b>	<b>9</b>
<b>5.</b>	<b>Screening og valg af egnet afværgestrategi</b>	<b>10</b>
5.1	Screening	10
5.2	Naturlig nedbrydning	10
5.3	Myndighedsgodkendelser	12
5.4	Beskrivelse af supplerende undersøgelser og projekteringsparametre	12
5.5	Bæredygtighedsvurdering	13
<b>6.</b>	<b>Sammenfatning og anbefaling af afværgeteknik</b>	<b>14</b>
<b>7.</b>	<b>Referencer</b>	<b>16</b>

## BILAG

### Bilag 1

Fravalgte afværgeteknikker

### Bilag 2

Pump & Treat

### Bilag 3

Bæredygtighedsvurdering

## 1. INDLEDNING

Miljøstyrelsen har anmodet COWI/GEO og Rambøll om at revurdere et tidligere udarbejdet afværgeprogram for forurening fra minkgravene i Kølvrå ved Karup og i Nr. Felding ved Holstebro, /1/. Revurderingen sker på baggrund af rapporter om opgravningen og den efterfølgende grundvandsmonitoring, som er udarbejdet af firmaet DMR.

Minkene blev opgravet og bortskaffet til forbrænding i perioden medio maj til medio september 2021 i Kølvrå og maj-september i Nr. Felding. Det revurderede afværgeprogram fokuserer derfor på den forurening, der af praktiske årsager er efterladt i jorden og det øvre grundvand.

Formålet med afværgeprogrammet er at beskrive og foreslå egnede afværgeløsninger, som kan overvejes iværksat, såfremt der vurderes at være risiko for en uacceptabel påvirkning af grundvandsressource og overfladevand fra den efterladte forurening.

Undersøgelser af grundvandsforurening fra minkgravene inden opgravning blev udført i december 2020 til maj 2021 samt efter opgravning i november 2021.

I rapportens kapitel 2 resumeres den konceptuelle model og opgravningen af minkgravene.

I kapitel 3 beskrives monitoring og risikovurdering for områderne.

I kapitel 4 beskrives målsætningen for en afværgeindsats i områderne.

I kapitel 5 beskrives screeningen af afværgeteknikker, fravalg af uegnede afværgeteknikker og anbefalet strategi for afværgen inklusiv beskrivelse af egnethed af afværgeløsning. I kapitel 6 er der givet anbefaling til valg af afværgeteknik.

## 2. KONCEPTUEL MODEL OG OPGRAVNING

### 2.1 Konceptuel model

For en beskrivelse af de konceptuelle modeller i Karup og Holstebro henvises der til rapporterne for de to lokaliteter, /2,3/.

Her skal det kun resumeres, at gravene i Karup lå i et område med sand til stor dybde, og at forurening blev konstateret i grundvandet i flere borer, både før og efter opgravning. Grundvandet ligger ca. 6 m u.t. og strømningshastigheden er ca. 100 m/år i nordnordøstlig retning.

Gravene i Holstebro lå i et område med sand med lokale indslag af ler, og der blev inden opgravning kun konstateret grundvandsforurening i 3 borer (4 filtre) og efter opgravning i tre andre borer. Grundvandet ligger ca. 3-12 m u.t. og strømningshastigheden er ca. 170-200 m/år i nordøstlig/østlig retning mod Gryde Å og 20-30 m/år i nordlig retning mod Boutrup sø.

## 2.2 Opgravning og restforurening

Opgravningen af minkgravene er udført i perioden maj-september 2021 ved at den rene topjord først er lagt til side, hvorefter der er afgravet et ca. 1 meter tykt lag af mink og ca. 0,5 m jord under minkene. Ud fra kontrolanalyser af jorden i bund og sider af udgravning, samt jordanalyser fra korte borer langs siderne, er der derefter i **Kølvrå** afgravet ned til grundvandet 5,5-6 m u.t. I **Nr. Felding** er der afgravet til 5-7 m u.t., flere steder uden at grundvandet er nået. Der er herudover udført kontrolanalyser på jorden i bund af udgravningerne samt i den øverste halve meter af den umættede eller mættede zone under udgravningen. Der er ikke afgravet yderligere ned i den mættede zone uanset analyseresultaterne.

DMR har forestået tilsynet med opgravningerne, og arbejdet er afrapporteret i /7,8/ (**Kølvrå**) og /10,11,12/ (**Nr. Felding**).

Fra gravene i **Kølvrå** er der forbrændt i alt 12.261 tons minkmateriale, og der er bortkørt ca. 128.250 tons jord til Nordic Waste A/S, Randers. Der er efterladt en forurenede jordmængde med indhold af ammonium-N i mættet zone (dvs. den øverste del af grundvandet) på i alt ca. 180 kg og indhold af phenol på i alt ca. 1,79 kg samt et indhold af ammonium-N i umættet zone (dvs. over grundvandet) på i alt ca. 58 kg, /7,8/.

Fra gravene i **Nr. Felding** er der forbrændt i alt 15.164 tons minkmateriale, og der er bortkørt ca. 70.305 tons jord til Nordic Waste A/S, Randers. Der er efterladt en forurenede jordmængde med indhold af ammonium-N i umættet og mættet zone på i alt ca. 26 kg og indhold af phenoler på i alt ca. 0,8 kg, /10,11,12/.

De nævnte estimater over restforureningen i jorden er baseret på prøver for hver 20 m i rendernes længderetning og en antagelse om, at forureningen har en bredde og dybde på hhv. 0,5 og 3 m i kanten af renderne og hhv. 5 og 0,5 m i bunden af udgravningerne. Estimaterne er i sagens natur meget usikre, men kan ikke gøres meget bedre i den arbejdsproces, som opgravningen består af.

## 3. MONITERING OG RISIKOVURDERING

### 3.1 Monitoring

Efter opgravningsarbejdet er der etableret 39 monitoringsboringer i **Kølvrå** og 48 i **Nr. Felding**. Boringerne er prøvetaget i november 2021, og på baggrund heraf er grundvandsforureningen vurderet og afrapporteret i /9/ (**Kølvrå**) og /13/ (**Nr. Felding**). I **Kølvrå** anbefales en fortsat monitoring hver 4. måned, i første omgang i et år. I **Nr. Felding** anbefales en monitoring om 6 måneder, hvorefter det vurderes om monitoring kan afsluttes.

Da minkgravene nu er tømt, er forureningskilden over grundvandet fjernet, med undtagelse af de nævnte mængder restforurening. Denne efterladte forurening vil med tiden blive vasket ud af jorden og nå grundvandet. Dvs. i forhold til grundvandet kan forureningen umiddelbart under og omkring gravene opgøres til  $180+58 = 238$  kg ammonium-N og 1,8 kg phenol i **Kølvrå**, hvoraf altså ca. 1/4 hhv. vil blive vasket langsomt ud af jorden. I **Nr. Felding** er forureningen umiddelbart under og omkring gravene opgjort til 26 kg ammonium-N og 0,8 kg phenoler.

En forurening af denne type, hvor kilden findes i en relativt kort periode og derefter fjernes, kan kaldes en enkelt-puls forurening (i modsætning til en forurening, hvor kilden ikke fjernes og der derfor er en vedvarende tilførsel af forurening til grundvandet). Fordelen ved enkelt-puls

forureningen er, at den fremtidige nedsivning af nedbør i princippet vil tilføre renere og renere vand til grundvandet, efterhånden som forureningen fra jorden udvaskes og den opløste forurening flytter sig nedstrøms med grundvandet.

### 3.2 Risikovurdering Kølvrå

For **Kølvrå** har DMR lavet en JAGG-beregning med nedbrydning, hvor det konkluderes, at phenol og cresoler vil være nedbrudt inden for 1 års transporttid, /9/. Risikovurderingen anvender  $2E-4$  m/s som k-værdi og en porevandshastighed på 68 m/år. Det er inden for de intervaller COWI/Geo beregnede i den indledende undersøgelse, men i den lave ende. Et års transporttid kan formentlig være et sted mellem 60 og 120 m, hvilket ikke er af væsentlig betydning, hvis blot nedbrydningen finder sted.

De øvrige forureningsindikatorer, kvælstof (ammonium-N), NVOC, COD og fosfor vurderes af DMR at blive reduceret som følge af fortynding og biologiske processer. Chlorid vurderes ikke nødvendigvis at være en konsekvens af minkdepotet og ses ikke i problematiske koncentrationer. COWI/Geo er enig i denne konklusion ud fra de præsenterede data.

I grundvandet under gravene (B101-B127) er medianværdien for ammonium-N 12,0 mg/l, for phenoler 96 µg/l og for NVOC 18 mg/l. Uden for gravene (B128-B139, M23 og M25) er værdierne hhv. 1,4 mg/l, 0,0 µg/l og 4,6 mg/l, hvilket svarer til baggrunds niveauet. Der er målt væsentlig højere indhold i enkelte boringer (navnlig B133), men medianværdien vurderes at være et rimeligt grundlag for en risikovurdering for området som helhed.

DMR konkluderer, at der ikke er en risiko for påvirkning af de nedstrøms beliggende vandløb, Hessellund Bæk og Karup Å. COWI/Geo er enig i denne konklusion ud fra de præsenterede data.

DMR konkluderer desuden, at forureningen i det terrænnære grundvand ikke er spredt ud af minkområdet, og at der ikke kræves en akut afværgeindsats eller en generel afværgeløsning. COWI/Geo er enig i en afværgeindsats ikke synes påkrævet, men fortsat monitoring samt supplerende boringer skal udføres for at bekræfte det, som nævnt i /9/.

I forhold til Miljøstyrelsens grundvandskortlægning skal det nævnes, at de store sandforekomster i området ifølge vandområdeplanerne omfatter to regionale grundvandsforekomster (Miljøministeriet, 2019), /14/.

**Tabel 3-1 Grundvandsforekomster under de tidligere minkgrave**

Forekomst ID	Type	Areal	Kvantitativ tilstand	Kemisk Tilstand
DK102_dkmj_1104_ks	Regional	1266 km <sup>2</sup>	God	Ringe
DK102_dkmj_4_ks	Regional	576 km <sup>2</sup>	God	Ringe

I Miljøstyrelsens seneste tilstandsvurdering fra juli 2021, /14/, har begge forekomster god kvantitativ tilstand og begge har nu ringe kemisk tilstand, hvor de tidligere har haft god kemisk tilstand. Den ringe kemiske tilstand skyldes "Pesticider" (for den øverste forekomst, dkmj\_1104\_ks) og drikkevandskriteriet "Påvirkning af drikkevand" (for begge forekomster).

Målet for de nævnte grundvandsforekomster er "God kemisk tilstand", og det kan konkluderes, at de konstaterede forureningskomponenter i tilknytning til de tidligere minkgrave ikke udgør en hindring for målopfyldelsen, ligesom forureningen fra disse ikke vil medføre en forværring af tilstanden for grundvandsforekomsterne. Der er ca. 1200 m fra minkgraven til Kølvrå Vandværk mod nord, og gravområdet ligger uden for oplandet til vandværkets boringer, /3/.

### 3.3 Risikovurdering Nr. Felding

For **Nr. Felding** har DMR lavet en JAGG-beregning med nedbrydning, hvor det konkluderes, at phenoler vil være nedbrudt inden for 1 års transporttid, /13/. Risikovurderingen anvender 2E-4 m/s som k-værdi og en porevandshastighed på 20-200 m/år. Et års transporttid kan formentlig være et sted mellem 20 og 200 m lokalt omkring gravene og 200-300 m/år nedstrøms gravene i område 2 og 3 mod Gryde Å. Mod Boutrup sø er der for område 1 bestemt en strømningshastighed på 19 m/år, /13/.

Der er ligeledes udført en beregning overfor den mængde phenoler, der kan være efterladt i jorden under minkgravene, svarende til afgravningskriteriet. DMR konkluderer, at en evt. efterladt mængde phenoler vil være begrænset, og at der ikke er tegn på, at der kan ske en væsentlig regnvandsbetinget udvaskning af disse stoffer til det terrænnære grundvand.

Phenolerne vil således være nedbrudt inden grundvandet udsiver i Gryde Å og inden grundvandet evt. siver ind i Boutrup sø.

For de øvrige forureningsindikatorer konkluderes følgende;

- kvælstof (ammonium-N), fosfor og chlorid i det terrænnære grundvand vurderes at svare til baggrunds niveauerne i området
- NVOC (180-220 mg/l) og COD (310-400 mg/l) er påvist i forhøjede koncentrationer i 3 borer (B125, B130 og B135) i/ved minkgravene, og forhøjede værdier ses ikke i nedstrøms monitoringsboringer. Koncentrationerne vurderes af DMR at blive reduceret som følge af fortynding og biologiske processer.

DMR konkluderer, at der ikke er en risiko for påvirkning af Gryde Å eller af Boutrup sø.

Rambøll er enig i disse konklusioner ud fra de præsenterede data. Derudover er der fortsat ingen risiko for eksisterende eller fremtidig vandindvinding i området, /2/.

DMR konkluderer desuden, at den udførte forureningsundersøgelse ikke viser tegn på, at der forekommer en væsentlig forurening i det terrænnære grundvand, som kræver en afværgeindsats som f.eks. pump&treat. Rambøll er enig i, at en afværge som pump&treat ikke er påkrævet, da restforureningen vil blive nedbrudt inden for kort afstand fra gravene inden den når at true Gryde Å. Rambøll er også enig i, at en monitoringsrunde om ca. et halvt år kan udføres for at bekræfte dette som nævnt i /13/.

I forhold til Miljøstyrelsens grundvandskortlægning er der ifølge vandområdeplanerne én regional og tre dybe grundvandsforekomster (Miljøministeriet, 2019), /14/.

**Tabel 3-2 Grundvandsforekomster under de tidligere minkgrave**

Forekomst ID	Type	Areal	Kvantitativ tilstand	Kemisk Tilstand
DK104_dkmj_999_ks	Regional	1419 km <sup>2</sup>	God	Ringe (pesticider)
DK104_dkmj_1023_ps	Dyb	665	God	God
DK104_dkmj_1025_ps	Dyb	174	God	God
DK104_dkmj_824_ps	Dyb	90	God	God

I Miljøstyrelsens seneste tilstandsvurdering fra juli 2021, /14/, har alle forekomster god kvantitativ tilstand og de dybe har god kemisk tilstand. Den regionale forekomst har ringe kemisk tilstand pga. "Pesticider" og drikkevandskriteriet "Påvirkning af drikkevand".

Målet for de nævnte grundvandsforekomster er "God kemisk tilstand", og det kan konkluderes, at de konstaterede forureningskomponenter i tilknytning til de tidligere minkgrave ikke udgør en hindring for målopfyldelsen, ligesom forureningen fra disse ikke vil medføre en forværring af tilstanden for grundvandsforekomsterne. Det bemærkes, at grundvandet under området ikke anvendes til drikkevand.



## 4. MÅLSÆTNING FOR AFVÆRGEFORANSTALTNINGER

Hvis monitoringen i løbet af 2022 skulle vise, at der mod forventning er en risiko for væsentlig påvirkning af grundvandet, kan det blive aktuelt at iværksætte en afværgeindsats. I den sammenhæng skal det nævnes, at dokumentation af naturlig nedbrydning (MNA, Monitored Natural Attenuation) er den mest oplagte afværgemetode. Reelt består den i, at man løbende holder øje med at forudsætningerne for naturlig nedbrydning/omsætning/tilbageholdelse i jorden er opfyldt. Den foreslåede monitorering i /9/ og /13/ udgør starten på en sådan indsats og kan suppleres, hvis det viser sig at effekten falder.

Indsatsområdet for afværge er den mættede zone under og evt. nedstrøms minkgravene dvs. det forurenede terrænnære grundvandsmagasin.

Afværgeforanstaltningernes primære formål er at beskytte grundvandet og overfladevandet i det tilfælde, at restforureningen er større end estimeret.

Afværgeforanstaltningerne er delt i følgende indsatsområder;

- Oprensning af den kildenære del af grundvandsmagasinet under minkgravene
- Oprensning af den nedstrøms forureningsfane

Formålet med indsatsen er ideelt set, at der oprenses indtil baseline-koncentrationer (dokumenteret i fase 1A) i grundvandet er nået, alternativt til Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier (eller drikkevandskvalitetskriterier) er overholdt i grundvandsmagasinet og miljøkvalitetskravene i overfladevand. Disse målsætninger kan erfaringsmæssigt være vanskelige at opfylde. Alternativt kan målsætningen være at sikre, at der ikke sker en uacceptabel påvirkning af grundvandsressourcen samt forurening af nærmeste almene vandforsyninger og beskyttede overfladevande (dvs. en risikobaseret tilgang). Dette kan dokumenteres ved den ovennævnte metode, MNA.

Målsætningerne med stigende krav til indsatsen er:

1. Acceptkriterier, der sikrer at overfladevand og eksisterende og kommende vandindvinding ikke forurenes i uacceptabel grad, skal være opfyldt i grundvandsmagasinet under og/eller umiddelbart nedstrøms minkgravene
2. Grundvands-/drikkevandskvalitetskriterierne skal være opfyldt i grundvandsmagasinet umiddelbart nedstrøms minkgravene
3. Grundvands-/drikkevandskvalitetskriterierne skal være opfyldt i grundvandsmagasinet under og ved minkgravene
4. Baseline-koncentrationer i grundvandsmagasinet skal være opfyldt under og ved minkgravene

Opfyldelse af målsætning 4 kan/vil kræve en meget omfattende og langvarig afværgeindsats med betydelige omkostninger, som vurderes hverken teknisk eller økonomisk realistisk at gennemføre. Tilsvarende gælder for målsætning 3.

Det anbefales derfor, at målsætningen for afværgeforanstaltninger følger ovenstående punkt 1-2.

## 5. SCREENING OG VALG AF EGNET AFVÆRGESTRATEGI

### 5.1 Screening

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer har udgivet et afværge- og projekteringskatalog, som her er brugt til en screening for relevante afværgeteknikker, /4/. Screeningen er en grov indledende gennemgang, som medtager afværgeteknikker over for grundvandsressourcen i både den umættede og mættede zone. Som nævnt i det foregående, er det dog kun den mættede zone, der vurderes relevant at fokusere på.

De mulige afværgeløsninger, der er beskrevet i tidligere afværgeprogram /1/, er nævnt nedenfor og kort beskrevet i Bilag 1.

- Airsparging.
- Termiske metoder.
- Flerfase ekstraktion / Bioslurping.
- In-well areator.
- Indeslutning.
- **Moniteret naturlig nedbrydning.**
- Opgravning/opboring.
- *Oppumpning (Pump & Treat – hydraulisk kontrol).*
- Flushing (P&T – recirkulation).
- Phytooprensning.
- Reaktiv væg.
- Stimuleret biologisk nedbrydning uden tilsætning af bakterier eller svampe.
- Stimuleret biologisk nedbrydning ved tilsætning af bakterier eller svampe (bioaugmentering).
- Vakuumentilation.
- Kemisk oxidation.

Af ovenstående metoder er moniteret naturlig nedbrydning (MNA) vurderet som den mest egnede afværgemetode, da nedbrydningsforholdene er gavnlige for den naturlige nedbrydning jf. de foreliggende resultater af grundvandsmonitoring efter minkene og forurenede jord er fjernet. MNA er derfor detaljeret beskrevet i det følgende.

Viser det sig i løbet af monitoring af den naturlige nedbrydning, at effektiviteten af den naturlige nedbrydning mod forventning falder til et uacceptabelt niveau, bør årsagerne undersøges. Det kan herefter vise sig nødvendigt enten at stimulere den naturlige nedbrydning ved tilsætning af næringsstoffer og/eller ilt (se bilag 1) eller at igangsætte en afværgeindsats i form af Pump&Treat (se bilag 2). Da der i de terrænnære dele af grundvandsmagasinet generelt er oxiderede forhold, forventes en tilsætning af næringsstoffer/ilt umiddelbart ikke at være nødvendig. Pump&Treat er detaljeret beskrevet i bilag 2 inklusiv en beskrivelse af fordele og ulemper samt økonomi.

### 5.2 Naturlig nedbrydning

Naturlig nedbrydning er en afværgestrategi, der baserer sig på de naturlige processer, der reducerer toksiciteten, mobiliteten, koncentrationen eller massen af forureningsstoffer i jord og grundvand. Der foretages således ingen egentlige indgreb. Processerne omfatter nedbrydning, fordampning, sorption og fortynding. Nedbrydning er dog den væsentligste, da den som den eneste proces omdanner eller destruerer stofferne. Nedbrydning er ofte redoxafhængig – for

nogle stoffer kræves aerobe forhold, mens der for andre kræves anaerobe forhold. Nedbrydning kan desuden kræve tilstedeværelsen af specifikke bakterier.

Naturlig nedbrydning som afværgestrategi kræver en detaljeret viden om forureningssituationen og de involverede processer. Desuden skal det dokumenteres at nedbrydning finder sted i tilstrækkeligt omfang. Dette er til dels allerede gjort ved måling af bl.a. redoxforhold i borerne, og ved JAGG beregninger i rapporterne /9/ og /13/. Andre parametre, der kan være væsentlige for nedbrydningen, er indholdet af organisk stof i jorden og indhold/sammensætning af næringsstoffer i grundvandet. Disse parametre kan undersøges nærmere i forbindelse med etablering af supplerende monitoringsboringer og ved vandprøvetagning og analyse.

Naturlig nedbrydning kan være ret langsom, men kan alligevel være attraktiv at vælge som strategi, da der kun kræves en forholdsvis begrænset indsats i form af monitoring og beregninger. I den forbindelse er det væsentligt at nævne, at forureningen i grundvandet er af begrænset omfang, dvs. ved naturlig nedsivning af nedbør vil der i løbet af nogle år ske en udvaskning, som medfører, at den tilbageværende restforurening reduceres og at forureningen i grundvandet fortyndes ved strømmingen med grundvandet.

Det vurderes aktuelt at tilvælge naturlig nedbrydning, da det efter opgravning af minkene og på baggrund af grundvandsmonitoringen har vist sig, at grundvandet under minkgravene ikke er mere påvirket end at forureningskomponenterne nedbrydes naturligt inden grundvandet når vandløbene eller nedstrøms vandindvindinger, eksisterende eller fremtidige.

#### Monitoring

Naturlig nedbrydning skal løbende monitoreres for at bevise, at nedbrydningsprocesserne er effektive under hele afværgeperioden. Dette gøres ved at udtage vandprøver til analyse fra en række monitoringsboringer i den nedstrøms del af forureningsfanen. Der findes allerede monitoringsboringer i såvel Kølvrå som Nr. Felding, som er egnede hertil.

Det er desuden anbefalet at etablere 7 supplerende boringer i **Kølvrå** og 6 supplerende boringer i **Nr. Felding**, jf. hhv. /9/ og /13/.

Samlet set vil der derefter være hhv. 48 og 52 boringer på de to lokaliteter. Prøvefrekvensen er foreslået at være 1-3 gange årligt, i første omgang i 2022, hvorefter programmet bør revurderes. Det er forventningen ud fra de gode nedbrydningsforhold og resultaterne af grundvandsmonitoringen, at forureningerne herefter fortsat nedbrydes uden at en yderligere monitoring er påkrævet, men dette skal vurderes, når det første års monitoringsresultater foreligger.

Analyseprogrammet bør omfatte ammonium-N, total-N, total-P, chlorid, NVOC og COD, phenoler/cresoler samt feltmålinger af redoxforhold, pH, ilt, temperatur og ledningsevne.

#### Økonomi

På basis af det anbefalede monitoringsprogram i /9,13/ er der nedenfor angivet et skøn på udgifterne forbundet med monitoreret naturlig nedbrydning. Udgifterne omfatter udgifter til etablering af nye boringer (heraf nogle med to filtre), prøvetagning og analyse af vandprøver fra udvalgte eksisterende monitoringsboringer og de nye boringer (1 gang i Holstebro og 3 gange i Karup) foruden et monitoringsnotat med vurdering af monitoringsdata, risikovurdering og anbefalinger.

**Tabel 5-1 Nr. Felding. Økonomisk overslag for etablering af monitoreret naturlig nedbrydning, alle kr. excl. moms**

<b>Etablering og første års drift</b>	<b>Rådgiver honorar</b>	<b>Rådgiver udlæg</b>	<b>3. part</b>
Etablering af 6 nye monitoringsboringer (75 m)	22.000	2.000	75.000
Pejlerunde, prøvetagning og analyse (42 prøver), 1 runde	55.000	30.000	84.000
Databehandling	15.000		
Moniteringsnotat	20.000		
<b>Sum</b>	<b>112.000</b>	<b>32.000</b>	<b>159.000</b>
			<b>303.000</b>

**Tabel 5-2 Kølvrå. Økonomisk overslag for etablering af monitoreret naturlig nedbrydning, alle kr. excl. moms**

<b>Etablering og første års drift</b>	<b>Rådgiver honorar</b>	<b>Rådgiver udlæg</b>	<b>3. part</b>
Etablering af 7 nye monitoringsboringer (58 m)	25.000	2.000	90.200
Pejlerunde, prøvetagning og analyse (54 prøver), 3 runder	65.000	40.000	108.000
Databehandling	20.000		
Moniteringsnotat	30.000		
<b>Sum</b>	<b>140.000</b>	<b>42.000</b>	<b>198.200</b>
			<b>380.200</b>

Det kan vise sig efter det første års monitorering, at det er nødvendigt at monitorere yderligere f.eks. hvis der forekommer stigende forureningskoncentrationer. I givet fald vil ovennævnte økonomiske overslag være gældende for en fremtidig årlig monitorering minus udgifterne til etablering af nye monitoringsboringer. Forudsætningen er, at monitoringshyppigheden er en gang årligt i Nr. Felding og 3 gange årligt i Kølvrå.

Viser det sig nødvendigt, mod forventning, at supplere med Pump&Treat, kan dette f.eks. iværksættes som beskrevet i bilag 2, hvor der også er givet et økonomisk overslag for denne løsning.

### **5.3 Myndighedsgodkendelser**

I forbindelse med afværgetiltagene skal der indhentes myndighedsgodkendelse til etablering af nye monitoringsboringer.

Da begge lokaliteter er ejet af Forsvaret, kan der være lokale godkendelser, der skal indhentes.

### **5.4 Beskrivelse af supplerende undersøgelser og projekteringsparametre**

Denne metodik kræver ikke egentlige supplerende undersøgelser, udover et mindre antal supplerende monitoringsboringer jf. beskrivelsen ovenfor. Det er dog vigtigt at der løbende udføres feltmålinger i forbindelse med prøvetagning, så forudsætningerne for naturlig nedbrydning dokumenteres løbende. Det kan også anbefales at afklare, om yderligere analyser af f.eks. organisk stof i boreprøver eller indhold og sammensætning af næringsstoffer i grundvandet har betydning for nedbrydningsforholdene på de to lokaliteter.

## **5.5 Bæredygtighedsvurdering**

Der er i bilag 3 foretaget en vurdering af bæredygtigheden ved en løsning omfattende monitoreret naturlig nedbrydning. For at vurderingen har værdi er der sammenlignet med bæredygtigheden ved en pump & treat løsning ud fra en række bæredygtighedsindikatorer for miljø, samfund og økonomi. Det vurderes, at monitoreret naturlig nedbrydning som ovenfor beskrevet er en væsentlig mere bæredygtig løsning end pump & treat på de to lokaliteter.

## 6. SAMMENFATNING OG ANBEFALING AF AFVÆRGETEKNIK

COWI/Geo og Rambøll har i marts 2021 for Miljøstyrelsen udarbejdet et afværgeprogram for oprensning af forurening fra de nedgravede mink i Kølvrå og Nr. Felding. Det tidligere afværgeprogram blev udarbejdet inden minkene blev opgravet og fjernet og inden det var klart, hvor meget af den underliggende jordforurening, der kunne fjernes samtidigt.

Afværgeprogrammet fra 2021 anbefalede, at forurenede jord blev opgravet efter minkene var fjernet og/eller at forurenede grundvand blev oppumpet og renset. Det blev desuden anbefalet at monitorere udviklingen i grundvandsforureningen inden minkene blev opgravet.

I dag er minkene og langt hovedparten af den underliggende forurenede jord opgravet og fjernet. DMR vurderer, at der er efterladt en mindre restforurening på ca. 240 kg ammonium og 1,8 kg phenol i Kølvrå og ca. 26 kg ammonium og 0,8 kg phenoler i Nr. Felding.

På basis af grundvandsmonitoring før og efter mink og jord er fjernet er det vurderet, at ammonium og phenoler hurtigt nedbrydes i grundvandszonen. Risikovurdering af restforureningen konkluderer, at der ikke er risiko for forurening af de nærliggende vandløb (Hessellund bæk, Karup å og Gryde å) og Boutrup sø. Risikovurderingen konkluderer ligeledes, at der ikke er risiko for forurening af grundvand, der indvindes til drikkevand. Risikovurderingen forudsætter, at den naturlige nedbrydning af stofferne i det terrænnære grundvand fortsætter.

På dette grundlag har Miljøstyrelsen anmodet COWI/Geo og Rambøll om at revurdere det tidligere afværgeprogram. Det revurderede afværgeprogram skal tage højde for, at langt hovedparten af den forurenede jord under minkgravene er opgravet og fjernet.

COWI/Geo og Rambøll vurderer, at den tidligere afværgeløsning, hvor forurenede grundvand oppumpes og renses, ikke længere er relevant. Der er efterladt så lidt forurening, at en oppumpning af forurenede grundvand vil resultere i et meget fortyndet vand, fordi pumpen også trækker vand fra et uforurenede område. Udover at det vil være vanskeligt at rense det fortyndede vand vurderes økonomien forbundet med metoden ikke proportional med den renseseffekt, der opnås.

COWI/Geo og Rambøll anbefaler på dette grundlag og på basis af dokumentationen fra DMR og resultaterne af grundvandsmonitoringen, at der vælges MNA, Moniteret Naturlig Nedbrydning, som afværgeløsning. MNA baserer sig på de naturlige processer, der foregår i jorden og det terrænnære grundvand, og som reducerer mængden af restforurening. MNA forudsætter, at der gennemføres en monitoring af grundvandskvaliteten for at sikre, at forholdene for den naturlige nedbrydning også fremover er til stede, og at der sker en tilstrækkelig nedbrydning af restforureningen.

En oversigt over fordele og ulemper ved en moniteret naturlig nedbrydning som afværgeteknik er vist i Tabel 6-1.

Viser grundvandsmonitoringen mod forventning, at den naturlige nedbrydning på et tidspunkt reduceres til et niveau, hvor forureningen kan udgøre en risiko, så anbefales der igangsat en nærmere undersøgelse af nedbrydningsforholdene. Resultatet kan være, at der skal igangsættes en oppumpning (Pump&Treat) for at afværge den resterende forurening (se bilag 2). Stimulering af nedbrydningsforholdene forventes ikke at være nødvendig, men dette bør revurderes efter det første års monitoring (metoden er beskrevet i bilag 1).

**Tabel 6-1 Nøgleparametre for MNA.**

	<b>MNA, Naturlig Nedbrydning</b>
Sikkerhed for effekt	God
Metodens egnethed	Høj
Fjernelse af forureningsmasse	God, hvis forudsætninger er opfyldt
Påvirkning af det øvre grundvand nedstrøms minkgravene	Begrænset
Påvirkning af overfladevand i området	Ingen påvirkning
Fleksibilitet for udvidelse	Ja, f.eks. flere boringer
Samlet anlægs- og driftsperiode	0,5-10 år*
Risici	Ingen
Efterfølgende begrænsninger på arealanvendelse	Ingen, dog skal boringer beskyttes
Gener	Landbrugsdrift ikke mulig
Bæredygtighed	Væsentligt mere bæredygtighed end en løsning med P&T

\*revurderes efter 1 års grundvandsmonitoring

## 7. REFERENCER

- /1/ Afværgeprogram. Minkgrave. Udført af Rambøll, COWI og Geo, marts 2021
- /2/ Undersøgelser ved minkgrave i Nr. Felding ved Holstebro. Udført af Rambøll, februar 2021.
- /3/ Undersøgelser ved minkgrave i Kølvrå ved Karup. Udført af COWI&GEO, februar 2021.
- /4/ Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcers afværge- og projekteringskatalog
- /5/ Sustainable remediation. Methodology for assessment. Environmental project draft report June 2020. Miljøstyrelsen.
- /6/ Soil quality - Sustainable remediation, ISO 18504:2017
- /7/ Dokumentationsrapport. Afværgeafgravning Kølvrå, Område 1 (vest for sti). Del af matr.nr. 1gr, Kølvrå By, Karup. DMR, 01.10.2021, rev. 18.11.2021.
- /8/ Dokumentationsrapport. Afværgeafgravning Kølvrå, Område 2 (øst for sti). Del af matr.nr. 1gq, Kølvrå By, Karup. DMR, 24.09.2021, rev. 18.11.2021.
- /9/ Grundvandsundersøgelse. Terrænnært grundvand i område 1 og 2, Kølvrå. DMR, 14.12.2021.
- /10/ Dokumentationsrapport. Afværgeafgravning Nr. Felding, Område 1. Matr.nr. 11a, Skinbjerg by, Nr. Felding. DMR, 5.10.2021, rev. 14.02.2022.
- /11/ Dokumentationsrapport. Afværgeafgravning Nr. Felding, Område 2. Matr.nr. 11a, Skinbjerg by, Nr. Felding. DMR, 17.9.2021, rev. 14.02.2022.
- /12/ Dokumentationsrapport. Afværgeafgravning Nr. Felding, Område 3. Matr.nr. 11a, Skinbjerg by, Nr. Felding. DMR, 17.9.2021, rev. 14.02.2022
- /13/ Grundvandsundersøgelse. Terrænnært grundvand i område 1-3, Nr. Felding. DMR, 2.2.2022.
- /14/ MiljøGIS for marine og grundvands tilstandsdata juli 2021.  
<https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?&profile=vandrammedirektiv3tilstand2021>



**BILAG 1**  
**FRAVALGTE AFVÆRGETEKNIKKER**

## Fravalgte tekniker

I det følgende er mulige afværgeteknikker listet fra /1/ og det er begrundet, hvorfor de er fravalgt på de aktuelle lokaliteter.

### 1. Airsparging kombineret med vakuumeekstraktion

Airsparging er en in situ afværgeteknik baseret på indblæsning af atmosfærisk luft i og under den forurenede del af den mættede zone. Ofte foretages indblæsningen 1,0- 1,5 meter under de forurenede jordlag.

Indblæsningen kan dels foretages med henblik på fjernelse af stoffer med et højt damptryk fra jordlagene, såsom BTEX'er og chlorerede opløsningsmidler (flygtige stoffer), og dels med henblik på at øge den mikrobielle omsætning af aerobt nedbrydelige stoffer, såsom let og tung gasolie, ved tilførsel af ilt med den atmosfæriske luft. Airsparging som udelukkende sigter mod forceret biologisk nedbrydning benævnes ofte "biosparging".

Ved Airsparging kan der være behov for at etablere et vakuumentilationsystem i den overliggende umættede zone til kontrolleret opsamling af de frigjorte stoffer fra grundvandszonen.

Airsparging i den mættede zone er fravalgt, da flere af forureningsstofferne ikke er flygtige.

### 2. Termiske metoder kombineret med vakuumeekstraktion

Oprensning af forureninger kan stimuleres ved opvarmning af jord og/eller grundvand, hvorved der sker en mobilisering af forureningen i kombination med vanddampdestillation eller dampstripning. Den mobiliserede forurening opsamles ved vakuumeekstraktion og efterfølgende rensning af luften.

*Termisk ledningsevne (ISTD)* udnytter at de fleste forureningskomponenter bringes på gasfase ved kraftig opvarmning til ca. 700°C. Ved denne teknik placeres varmelegemer i jorden inden for det forurenede område og jorden opvarmes. Varmelegemerne placeres typisk i borer, hvorved der i nærområdet omkring boringen kan opnås temperaturer på op til 1000 °C. Som følge af denne kraftige opvarmning vil forureningskomponenterne i nærområderne omkring borerne oxideres. Vanddamp og forureningskomponenter i øvrigt fjernes ved vakuumeekstraktion dels i borerne med varmelegemer dels i ekstra ekstraktionsboringer.

*Elektrisk opvarmning (ERH)* baserer sig på samme oprensningkoncept som termisk ledningsevne, men opvarmningen sker i dette tilfælde ved at inducere en strøm i jorden, der afsættes energi i jorden afhængig af jordens elektriske ledningsevne. I ler eller meget lerrige jordarter er der en god elektrisk ledningsevne, mens jordlag som sand og grus næsten kan betragtes som isolatorer. *Dampstripning* er en teknik, hvor damp injiceres i den forurenede zone fra kanten af forureningen ind mod midten i kombination med, at der foretages en vakuumentilering og oppumpning af grundvand inde i det forurenede område. Dampstripning ved injektion af damp er en effektiv metode til fjernelse af forurening i jordens umættede zone. Dampstripning kan anvendes både over og under grundvandsspejlet, når der sikres en effektiv afsenkning af grundvandsspejlet. Med tilførsel af damp og dermed opvarmning af jordlagene opnås desuden, at der sker en forøgelse af redoxpotentialen inden for oprensningområdet med følgende kemisk oxidation af forureningskomponenterne. Metoden forudsætter en forholdsvis høj permeabilitet i både injektionslaget og det lag hvorfra der foretages ekstraktion.

De termiske metoder er fravalgt da flere af forureningsstofferne ikke er flygtige samt, at tilstrømmende koldt grundvand vil afkøle opvarmningen og dermed vil generere meget store anlægs- og driftsomkostninger.

### **3. Flerfase ekstraktion / Bioslurping**

Flerfase ekstraktion (Dual Phase Ekstraktion) er en metode med samtidig oppumpning af organisk forurening fra både poreluft og grundvand. Dette sker fra borer, hvor filteret er placeret delvis i den mættede og delvis i den umættede zone.

En fordel ved metoden er, at der ved hjælp af vakuumpumpen kan frigøres forurening, som ellers er bundet i kapillarzonen af kapillarkræfter, som er mindre end det atmosfæriske tryk. Ved metoden ledes vand og luft til videre behandling som for eksempel adskillelse af forurening i luft- og vandfase samt rensning af oppumpet vand og luft ved kulfiltrering.

Udover at vakuumpumpen fjerner flygtig forurening, som fordampes til poreluften, øger vakuumpumpen samtidig effektiviteten af grundvandsoppumpningen ved at der skabes en større trykgradient hen mod pumpeboringen. Den øgede trykgradient øger således den mulige oppumpning af vand samtidig med at flygtige forbindelser i den umættede zone mobiliseres og fjernes ved hjælp af vakuume-kstraktionen.

Metoden er fravalgt, da flere af forureningsstofferne ikke er flygtige.

### **4. In-well Aerator**

In-well Aerator er en teknik til oppumpning og rensning af forurenede grundvand. Teknologien er en in-situ teknik, hvor grundvandet renses ved indblæsning af luft i boringen gennem en belufter. In-well Aeratoren kombinerer grundvandsoppumpning ved lufthæveprincippet med forureningsfjernelse ved stripping. Der sker en stripping af forureningskomponenterne både i forbindelse med oppumpningen/lufthæveprincippet og med forskellige beluftere i boringen. Der indblæses luft ca. 1 meter fra bunden af boringen. Hermed opnås at densiteten af væskesøjlen inde i boringen reduceres, og der etableres en trykgradient fra formationen til boringen, således at der opnås en pumpeeffekt.

Når luftboblerne stiger op gennem vandsøjlen inde i boringen, vil de flygtige stoffer overføres fra vand til luftfase. Den stigende luft transporterer de flygtige stoffer op mod toppen af boringen/In-well Aeratoren. Vandet ledes videre forbi en eller flere beluftere, hvor der sker en yderligere stripping af de flygtige stoffer. Antallet af beluftere afhænger blandt andet af oprensningskravet samt koncentrationerne af de forurenende stoffer.

Metoden er fravalgt, da flere af forureningsstofferne ikke er flygtige.

### **5. Indeslutning / Indkapsling**

Indeslutning af forureningen er en passiv metode, hvorved forureningen indkapsles, således at udvaskning af forurening til grundvandet forhindres. Indeslutning fjerner ikke forureningen fra grunden, men forhindrer tilledning af forurenende stoffer til grundvandet. Der vil således stadig være et potentielt forureningsproblem på grunden.

Ved indeslutning etableres tætte afgrænsninger hele vejen rundt om forureningen. Der kan etableres tætte sider rundt om en forurening, og der kan laves en tæt afgrænsning over forureningen, eksempelvis i form af beton/asfalt eller membran. Det store problem er ofte at sikre en tæt afgrænsning under forureningen.

Etablering af en tæt bund under forureningen er teoretisk en mulighed, men er i praksis meget vanskeligt. Bedst er det således at have en geologisk opbygning hvor den afskærmende væg kan føres ned i et naturligt eksisterende tæt lerlag under forureningen. Dvs. metoden er i realiteten begrænset til lokaliteter, hvor forurening har spredt sig fra sandede lag til oversiden af et underliggende lerlag, og hvor den horisontale udbredelse samtidig er begrænset.

Indeslutning af forureningen er fravalgt pga. områdets meget store horisontale udbredelse, den forholdsvis store vertikale udbredelse og da den geologiske opbygning ikke giver mulighed for en tæt bund.

## **6. Phytooprensning**

Princippet i phytooprensning er at udnytte planter til at fjerne, tilbageholde eller uskadeliggøre uønskede kemiske stoffer. Det forurenede areal tilplantes med f.eks. poppel, pil, rajgræs eller lucerne, og herved sker følgende:

- Optagelse i planterne. Når stofferne optages i planterne, kan de nedbrydes i selve planten. Planterne kan også transportere stofferne ud i ydre plantedele, hvorfra stofferne fordamper. Endelig kan der ske en opkoncentrering af stofferne i forskellige plantedele, der derefter høstes og behandles eksternt. Hvilke af processerne, der er vigtige, er meget afhængig af hvilke stoffer, der er tale om.
- Nedbrydning i rodzone. I rodzonen under planterne vil der være en forhøjet mikrobiologisk aktivitet – i visse tilfælde kan aktiviteten yderligere stimuleres af, at der tilsættes specifikke bakterier. Desuden vil der være et højere iltindhold og et lavere vandindhold. Disse faktorer tilsammen medvirker, at der kan ske en forhøjet nedbrydning af stofferne i rodzonen.

Planternes optag af vand gør, at der vil være en mindre udvaskning af forureningsstofferne til grundvandet end ellers. Desuden kan nogle stoffer sorberes kraftigt til planterødder.

Phytooprensning er fravalgt, da grundvandsforureningen generelt ligger dybere end 6 m under terræn, det er næppe muligt at opnå en tilstrækkelig oprensning samt den forventede lange tidshorizont for den delvise oprensning.

## **7. Reaktiv væg**

De permeable reaktive vægge kan enten etableres i hele grundvandsfanens tværsnit eller i en del af tværsnittet suppleret med impermeable barrierer (spunsvægge, bentonitvægge el. lign.) i den resterende del af tværsnittet således, at grundvandet i hele fanens bredde ledes gennem det reaktive materiale (funnel and gate).

For at undgå, at grundvandet strømmer uden om væggene/barriererne er det vigtigt, at væggene udføres således, at den hydrauliske ledningsevne i den reaktive væg er væsentligt større end i de omgivende jordlag. Den reaktive væg skal desuden dimensioneres således, at opholdstiden for grundvandet er tilstrækkelig til fuldstændig nedbrydning af såvel moderstoffer som nedbrydningsprodukter.

Som følge af den naturlige grundvandsstrømning bringes forureningskomponenterne i kontakt med det reaktive materiale i væggen.

Den reaktive væg er primært fravalgt på grund af tidshorizonten for oprensningen, problemer med tilklogning af væg og forureningens komplekse sammensætning, som vanskeliggør en tilstrækkelig nedbrydning af alle relevante stoffer.

## **8. Stimuleret biologisk nedbrydning uden tilsætning af bakterier**

Stimuleret biologisk nedbrydning er en teknik, hvor man stimulerer de naturligt forekommende bakteriers nedbrydning af stoffer, der kan oxideres eller reduceres under aerobe forhold. Stimulering kan enten ske ved at tilsætte nødvendige næringsstoffer og/eller ved at tilføre ilt. Teknikken kan kombineres med tilsætning af specifikke bakterier, benævnt Bioaugmentation. Mange forureningsstoffer kan nedbrydes under aerobe forhold, men ved kraftige forureninger kan denne nedbrydning have opbrugt den tilgængelige ilt. Tilførsel af ilt kan derfor fremme nedbrydningen af aerobt nedbrydelige stoffer.

Ilt kan tilføres på flere forskellige måder. I den umættede zone benyttes bioventilationsanlæg ofte, hvor atmosfærisk luft eller ren ilt pumpes ned i jorden. Denne teknik virker bedst i permeable aflejringer og er derfor blandt andet sensitiv overfor høje vandindhold. Luft kan f.eks. tilføres ved at pumpe det ned gennem slanger i borerne, hvorigennem ilten diffunderer ud i vandet. Designet kan f.eks. udføres som en iltholdig biobarriere på tværs af strømningsretningen. Ved alle iltleveringssystemerne er en af de primære udfordringer, at der kan ske en tilklogning på overfladen af borerne. Tilklogning kan både skyldes bakterievækst og oxidation og udfældning af reducerede komponenter i vandet.

Anaerobt nedbrydelige stoffer vil derimod kræve, at redoxpotentialet fordrer iltfrie forhold. Hertil kan benyttes tilsætning af substrater der både forbruger ilten og opformerer nedbrydningsegne bakterier. Tilklogning kan også være et problem i disse tilfælde.

Stimuleret biologisk nedbrydning er primært fravalgt på grund af konstaterede oxiderede forhold i grundvandsmagasinerne dvs. at der i forvejen er gode forhold for nedbrydning af forureningen i grundvandet. Metoden er også fravalgt pga. tidshorisonten for oprensningen.

## **9. Kemisk oxidation**

Kemisk oxidation er en teknik, der er baseret på, at der til grundvandsmagasinet tilsættes et kemisk stof, et oxidationsmiddel, der ødelægger forureningsstofferne. De naturligt forekommende organiske stoffer i jorden vil også blive oxideret, hvorfor forbruget af oxidationsmiddel hertil skal indregnes i det samlede kemikalieforbrug. Herudover kan der ske en mobilisering af nogle metaller som følge af ændringer i pH eller oxidationsgrad.

Der findes flere forskellige typer oxidationsmiddel, hvoraf det mest oplagte er kaliumpermanganat. Flere oxidationsmidler er stærkt toksiske overfor akvatiske organismer. Desuden er nogle af midlerne sundhedsmæssigt problematiske og stiller krav til arbejdsmiljømæssig forsvarlig håndtering.

Det er af afgørende betydning for metodens effektivitet, at oxidationsmidler kan fordeles i den mættede zone, der skal behandles, og dermed komme i kontakt med forureningsstofferne. Metoden er som oftest hurtig og effektiv. Den er imidlertid ikke afprøvet overfor den type forurening, der kommer fra minkgrave og er derfor ikke vurderet hensigtsmæssig uden forudgående behandlingsforsøg. Metoden vil endvidere ikke kunne bruges til forurening beliggende i den umættede zone. Metoden er derfor fravalgt.

## **10. Vakuumentilation**

Vakuumentilation er en in situ afværgeteknik baseret på oppumpning af luft fra den umættede zone fra borer ved hjælp af en vakuumpumpe. Teknikken kan kun anvendes i den umættede zone med relativt lavt vandindhold, idet der ved større vandindhold ikke er et sammenhængende luftvolumen i jorden der kan udgøre en transportvej for luften.

Vakuumentilation er baseret på fjernelse af gasfasen fra stoffer med et højt damptryk fra jordlagene, så som BTEX'er og chlorerede opløsningsmidler (flygtige stoffer). Som en sidegevinst medfører ekstraktionen typisk en tilførsel af iltholdig jordluft til oprensingsområdet, hvorved en eventuel biologisk nedbrydning af f.eks. oliekomponenter kan forceres/stimuleres.

Vakuumentilation kan anvendes i højtpermeable jordlag og en typisk begrænsning i oprensningseffekten er langsom diffusiv frigørelse af forureningskomponenter fra finkornede lavpermeable/ vandmættede jordlag i den umættede zone samt fra kapillarzonen.

Metoden er fravalgt, da flere af forureningsstofferne ikke er flygtige.

**BILAG 2**  
**PUMP & TREAT**

## Pump & treat – hydraulisk kontrol

I forbindelse med en pump & treat løsning skal det sikres, at der opnås hydraulisk kontrol med al den forurening, der strømmer ud af kildeområderne. Metoden omfatter oppumpning og efterfølgende rensning af forurenede vand.

Denne metode er relativ simpel og sikrer ud over at eliminere risikoen over for grundvandsressourcen også at der i Nr. Felding i Holstebro ikke udstrømmer forurenede vand til Boutrup sø og Gryde Å.

Pump & treat vil omfatte flere pumpeboringer og 1-2 gange flere infiltreringsboringer, idet det rensede vand forudsættes reinfileret til grundvandsmagasinet som den mest hensigtsmæssige løsning. Da der ikke er strøm på lokaliteterne, skal der etableres en strømforsyning, enten fra nærmeste ledningsnet, fra generator eller fra en alternativ energikilde på stedet. En generator vil være dyr i drift pga. den lange periode, pumpningen forventes at skulle foregå.

Det forventes, at der skal pumpes i mindst tre år, men det forventes også, at der i løbet af denne periode vil være sket en væsentlig reduktion af forureningen. Pump & treat metoden er beskrevet generelt i det følgende, efterfulgt af en projektbeskrivelse for Kølvrå og Nr. Felding.

### 1. Oppumpning

Der er set forureningskomponenter i grundvandet, og oppumpning af grundvand er derfor et muligt afværgetiltag. Oppumpningen skal kombineres med en form for rensning af det oppumpede vand for næringsstoffer m.v. inden den videre disponering – enten udledning til recipient eller recirkulation til grundvandsmagasinet.

Oppumpningen kan ske fra dræn eller pumpeboringer. Drænen er vanskelige at etablere i sand under grundvandet, men vil være effektive, hvis de placeres direkte under de relevante grave langs med disse. De kan evt. etableres som styrede underboringer, hvilket dog er bekosteligt. Fordelen ved metoden er, at vandet oppumpes tæt under kilden og dermed kan drænene bidrage til at nå målet hurtigere. Det kan være vanskeligt at sikre en jævn oppumpning fra alle strækninger på drænet.

Boringer er simple at etablere og oppumpningen kan styres effektivt. Dybden skal vurderes ud fra strømningforholdene, men skal næppe være meget mere end 20-25 m, hvis de placeres tæt på gravene, nedstrøms disse.

Antallet af boringer bestemmes af grundvandets gradient og hydrauliske ledningsevne. Ulempen ved boringer er, at forureningen bliver fortyndet, dvs. der pumpes en del rent vand op sammen med forureningen.

### 2. Rensning

Den mest effektive metode til fjernelse af kvælstof, når der ikke er adgang til et decideret spildevandsrensningsanlæg, er formentlig at opstille et **RO-anlæg** (Reverse Osmosis, omvendt osmose). Rensningen vil skabe et næringsrigt koncentrat på måske 10-15% af den oppumpede mængde, og dette skal håndteres, f.eks. ved bortkørsel til egnet sted. Hvis der ikke er problematiske stoffer i vandet, vil næringsværdien evt. kunne udnyttes i gødningsmæssig sammenhæng.

Anlæg af denne type bruges verden over til afsaltning af havvand. Der vil ikke være tale om et egentligt standardanlæg, men det vurderes, at et tilpasset anlæg opbygget af



standardkomponenter vil kunne etableres forholdsvis hurtigt. Anlægget vil kunne reducere indholdet af kvælstof (og alle andre indholdsstoffer) til meget lave niveauer. Ved passende opblanding eller ved kun at rense en passende del af vandet kan man opnå de ønskede koncentrationer i vandet inden den videre håndtering. Foran RO-anlægget kan der være behov for et sandfilter til fjernelse af jern og mangan, hvis dette findes i mængder, der vil udfælde i RO-membranerne. Hele anlægget vil kunne placeres i en eller flere containere på lokaliteten.

I forhold til udledning er det vigtigt, at der ikke er næringsstoffer og bakterier tilbage i vandet i en mængde, der medfører dannelse af biofilm, da dette kan medføre tilstopning. UV-behandling kan være en metode til at imødegå dette.

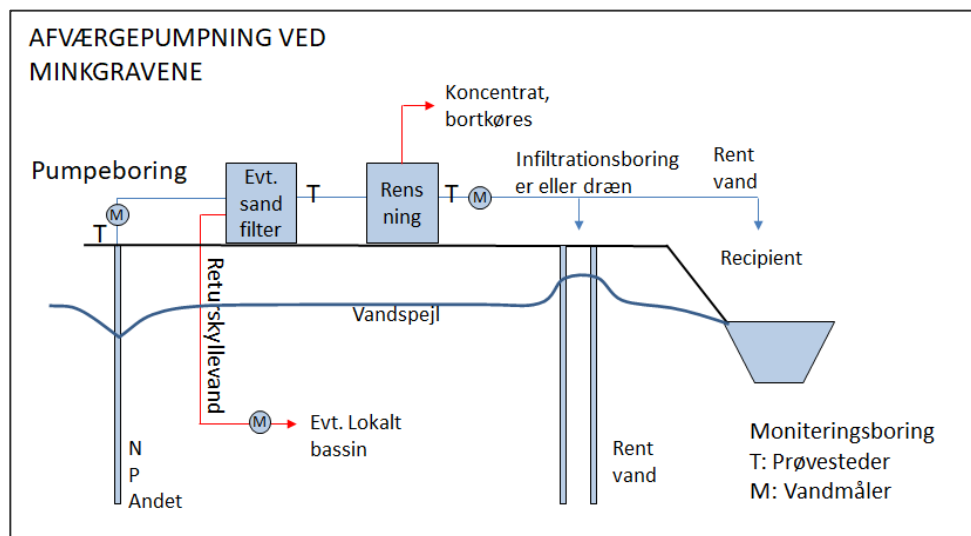
Herudover vil et **MBBR-anlæg** kunne anvendes. MBBR (moving bed biofilm reactor) består af en beluftnings beholder med plastik legemer, hvorpå en biofilm kan dannes og vokse samtidig med, at forureningsstofferne nedbrydes. Beluftningssystemet sørger for, at plastlegemerne bevæger sig i beholderen, og at der er god kontakt mellem plast legemets biofilm og stofferne i det indgående vand. Efter reaktoren indsættes et flokkuleringsanlæg, der frafiltrerer slam/tørstof, der efterfølgende afvandes i en centrifuge og bortskaffes. Metoden er forholdsvis fleksibel i forhold til kapacitet, da kapaciteten kan øges ved at tilsætte flere plastlegemer og kan således justeres i forhold til forureningsstyrken i grundvandet. Metoden er desuden robust overfor temperaturforskelle. Affald fra processen er slam, der opsamles i f.eks. et tromlefilter efter reaktoren. Metoden er forholdsvis ny og anvendes bl.a. til behandling af spildevand. En vigtig forudsætning for metodens renseeffektivitet er, at der ikke mangler næringsstoffer og at N:P forholdet er tilstrækkeligt til at sikre vækst af biofilmen. Dette kan løses ved at tilsætte den/de manglende næringsstoffer. Metoden kunne desuden anvendes til at rense koncentratet fra et RO-anlæg som alternativ til bortkørsel.

En anden type rensning af vandet, hvor man udnytter planteoptagelsen af næringsstoffer, er etableringen af **rodzoneanlæg**. Fra litteraturen er disse beskrevet til at skulle have en størrelse svarende til 40-70 m<sup>2</sup>/PE (Person Equivalent). En PE svarer til en udledning på 4,4 kg total N per år. Med en estimeret afværgemængde på 50 m<sup>3</sup>/time og en total N koncentration på 50 mg/l (som er fundet i grundvandet nedstrøms minkgravene ved Karup) vil der blive oppumpet ca. 22 t total N om året. Dette vil svare til at der skal udlægges 35 ha med rodzoneanlæg for at rense vandet ved Karup, hvilket anses for et urealistisk stort område.

Det bemærkes, at metoder til rensning af grundvand med den konstaterede stofsammensætning er uafprøvede i Danmark. Det vil derfor være nødvendigt at teste rensemetoder (laboratorie- og/eller pilottest) inden endeligt valg af metode. Der kan være leveringstider på op til et år på RO- og MBBR-anlæg.

### 3. Udledning

Udledning af det rensede vand kan ske til recipient eller ved reinfiltration til grundvandsmagasinet. Ved udledning til recipient er det helt afgørende, at der ikke er risiko for udledning af urensset vand i tilfælde af problemer i rensningsanlægget. I et sådant tilfælde skal al oppumpning stoppe øjeblikkeligt. I modsat fald vil dyrelivet i recipienten kunne tage skade.



Figur 7-1 Princip i Pump & Treat

Recirkulation til grundvandsmagasinet kan ske ved sprinkling, infiltration i dræn eller nedpumpning i borer. Ved recirkulation skal det overvejes at etablere en vertikal gennemskylning af jordlagene under de tidligere minkgrave for at accelerere udvaskningen.

**Sprinkling** eller udledning på jordoverfladen hvor gravene har været, er en mulighed som følge af de meget sandede lag. Det er i sagens natur en meget simpel metode, men den kan være behæftet med lugtgener, og den vil ikke fungere i frostvejr. Der kan evt. etableres infiltrationsgrøfter i f.eks. udgravningerne for at sikre kontakt til det underliggende sandlag.

**Infiltration** i dræn kan gøres ved at etablere drænledninger til formålet i de tidligere udgravninger. Disse infiltrationsdræn vil kunne give en god gennemskylning af de forurenede jordlag under gravene. Populært sagt vil man sende rent (renset) vand efter forureningsfanen og presse denne i retning af pumpeboringerne. Der kan være behov for supplerende pumpeboringer for at kontrollere udbredelsen af forureningsfanen indtil denne er reduceret i styrke. Metoden vil forcere udvaskningen af restforurening i den umættede zone og dermed forkorte den samlede driftstid for en P&T løsning.

**Nedpumpning** i borer (eller bare infiltration ved gravitation) kræver skønsomt 50% flere borer end antallet af oppumpningsboringer. Ved hensigtsmæssig placering af infiltrationsboringer opstrøms gravene kan man øge den horisontale gennemskylning af grundvandsmagasinet under gravene.

Effekten af de beskrevne recirkulationer kan evt. følges ved tilsætning af tracer til det rensede vand i starten. Dette vil kunne hjælpe i beskrivelsen af, hvor langt man på et givet tidspunkt er nået med gennemskylningen og oprensningen. Det er også muligt at kombinere flere af ovenstående metoder til reinfiltration.

## 4. Projektbeskrivelser

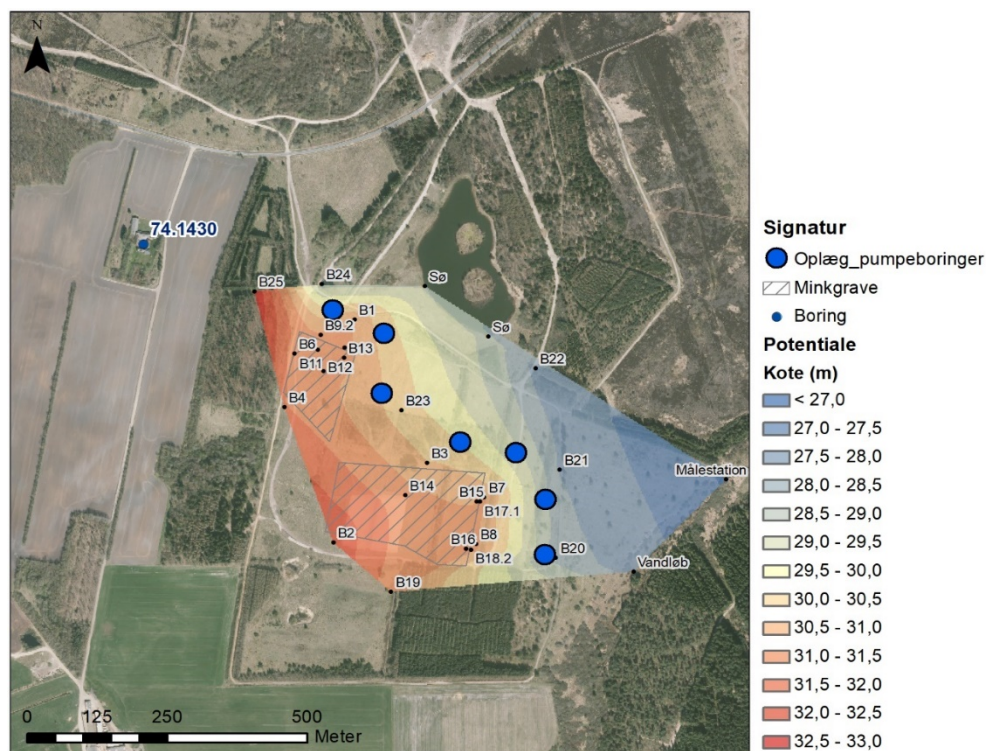
### Projektbeskrivelse – Nr. Felding i Holstebro

Ved denne afværge opsamles alt det forurenede grundvand ved en række borer. Vandet pumpes til terræn, hvor det renses som beskrevet nedenfor. Efter endt rensning kan vandet reinfiltreres eller afledes til Boutrup sø og/eller Gryde Å.

Ud fra potentialekortet udarbejdet for synkronpejlerunderne ses, at grundvandsstrømningen sker i en vifte ud fra områderne med minkgrave. Pumpeboringer til at dække forurening fra område 1 skal ud fra simple 2D grundvandssimuleringer udført i fase 1b forventes boret til ca. kote 15 m, mens pumpeboringer omkring område 2 og 3 forventes boret til ca. kote 25 m. Den kommende monitoringsrunde kan vise, at det ikke er nødvendigt at afværge restforurening fra nogle eller dele af områderne.

Ud fra de hydrauliske ledningsevner vurderet ud fra sigtninger og gradientforhold vurderes det muligt at fastholde forureningen i området ved at placere borer i en afstand på ca. 100 m fra hinanden som vist i **Error! Reference source not found.** Den endelige afstand mellem borer, antal borer og afstand fra minkgravene skal tilpasses i projekteringsfasen med supplerende 3D grundvandsmodellering, samt afstemmes med udførelsestidspunktet. Da transporthastigheden forventes høj omkring område 2 og 3 forventes pumpeboringer placeret ca. 100 m nedstrøms minkgravene.

Der forventes, at område 1 kan afdækkes af ca. 3 borer, som skal pumpe med en ydelse på 5-10 m<sup>3</sup>/t, mens område 2 og 3 kan afdækkes af ca. 4 borer, der skal pumpe med en ydelse på 20-25 m<sup>3</sup>/t. Det forventes dermed, at der skal oppumpes mellem 95-130 m<sup>3</sup>/t. Antal borer og pumpekapaciteter skal dog afklares nærmere ved pumpeforsøg og 3D grundvandsmodellering. Dokumentation af restforurening efter minkene er fjernet og grundvandsmonitoring afgør omfanget af nødvendig grundvandsoppumpning.



Figur 7-2 Skitse for placering af afværgeoppumpning i forhold til minkgrave, vist med kontureret potentialekort.

Vandet ledes via en samleledning til et lokalt opstillet rensningsanlæg og herfra videre til ca. 12-16 infiltrationsboringer, der placeres opstrøms gravene. Infiltrationen vil være med til at skabe et højere grundvandsniveau og dermed en lidt forøget grundvandsstrømning under gravene. Dette vil medvirke til at reducere den nødvendige afværgeperiode.

Evt. recirkulation af oppumpet grundvand skal undersøges nærmere, da der er observeret tegn på glacialdeformation med skrånstillede leraflejringer i den sydvestlige del af området, hvilket kan medføre, at det er vanskeligt at komme af med det recirkulerede vand. Det skal derfor afklares nærmere ved 3D modellering, om der kan opnås en balance mellem hydraulisk kontrol uden at det giver anledning til væsentlig forøgelse i oppumpet vandmængde.

Alternativt til nedpumpning i borerer kan oppumpet vand infiltreres igennem dræn. Infiltration via dræn er ikke så effektivt som nedpumpning ud fra et hydraulisk perspektiv. Dette betyder, at det formentlig ikke vil være muligt at bortlede alt oppumpet grundvand via dræn inden for minkområderne, men metoden vil øge udvaskningen af evt. restforurening og minimere evt. vandmængde, der udledes til recipient.

Rensningsanlægget placeres i en eller flere containere. Hvis der anvendes RO-rensning, vil der skulle håndteres ca. 10% koncentrat svarende til 10-13 m<sup>3</sup>/t, som skal bortkøres eller bortledes til rensningsanlæg. Hvis der anvendes MBBR teknik, vil dette ikke være tilfældet, men der vil skulle bortskaffes en slammængde, der årligt svarer til ca. 100 t afhængig af vandets sammensætning.

#### Projektbeskrivelse – Kølvrå ved Karup

Ved Kølvrå nær Karup er gravene etableret langs med strømningsretningen i et langt smalt bælte, hvilket gør det muligt at få et indvindingsopland til at dække alle gravene med en relativt begrænset oppumpning nedstrøms disse. Ved modellering er det sandsynliggjort, at der skal pumpes ca. 30 m<sup>3</sup>/t fordelt på fire borerer, der placeres tæt ved den nedstrøms afgrænsning af gravene. De føres til ca. 15 m u.t. og forventes at fange det forurenede vand, også selv om det skulle være nået lidt dybere.

Hvis det ønskes at afkorte den samlede afværgeperiode, kan der etableres flere pumpeboringer, fordelt op langs gravene.

Vandet ledes via en samleledning til et lokalt opstillet rensningsanlæg og herfra videre til ca. 6 infiltrationsboringer, der placeres opstrøms gravene. Infiltrationen vil være med til at skabe et højere grundvandsniveau og dermed en lidt forøget grundvandsstrømning under gravene. Dette vil medvirke til at reducere den nødvendige afværgeperiode.

Rensningsanlægget placeres i en eller flere containere. Hvis der anvendes RO-rensning, vil der skulle håndteres ca. 10% koncentrat, svarende til ca. 3 m<sup>3</sup>/t, som skal bortkøres eller bortledes til rensningsanlæg. Hvis der anvendes MBBR teknik, vil dette ikke være tilfældet, men der vil skulle bortskaffes en slammængde, der årligt svarer til ca. 25 t.

#### **Oprensningseffekt**

Oprensning af forurening i grundvandet er som regel en ret langsommelig afværgete metode. I de aktuelle områder vil der i en periode fortsat nedsive forurenede vand til grundvandsmagasinet, så længe der er en restforurening i den umættede zone under gravene. Da restforureningen imidlertid vurderes at være ret begrænset, vurderes det, at man i løbet af få år vil nå ned på noget lavere koncentrationer end der ses i dag.

#### **Afledte effekter**

Infiltration opstrøms gravene øger strømningshastigheden og gennemskyllningen i grundvandsmagasinet under gravene. Dermed reduceres den samlede tidshorisont for afværgepumpningen, da selve kilden i den umættede zone er fjernet.

I Nr. Felding vurderes det, at oppumpning af grundvand lokalt vil kunne påvirke den hydrauliske balance i området i forhold til reduktion af grundvandsbidrag til Boutrup sø og Gryde Å. Ved udledning af det oppumpet og rensset vand kan denne effekt på recipienterne imødekommes. Dette er ikke undersøgt nærmere på nærværende tidspunkt. Oppumpningen kan også betyde lavere grundvandsstand ved Sognstrupvej 19, hvor der indvindes vand formentlig fra en kort brønd, som kan være følsom for selv mindre ændringer i grundvandsstanden. Da brøndene ikke konsekvent leverer vand af drikkevandskvalitet, kunne en evt. konflikt passende løses ved at se på alternativ drikkevandsforsyning til ejendommen.

Pumpestationer vil larme under drift. Både i Nr. Felding og Kølvrå er der langt til nærmeste bolig og langt til rekreative arealer, hvorfor det ikke forventes, at afværgen vil genere.

### **Oprensningstid**

Det må forventes, at Pump&Treat anlægget skal køre i mindst 3-10 år, hvis målet er at genskabe grundvandets naturlige kemiske sammensætning under gravene. Det kan på et tidspunkt vise sig, at der er så lidt forurening tilbage, at monitoreret naturlig nedbrydning evt. kan afløse Pump&Treat.

### **Økonomi**

Indledningsvist bemærkes, at økonomisk overslag for oppumpning og behandling af forurenede grundvand er baseret på grove estimater ud fra oplysninger fra en enkelt leverandør af hver rensemetode, /1/. Priser varierer mellem leverandører afhængig af antal procestrin, anlægsstørrelser, behov for indendørs anlæg, el-forbrug, grundvandets sammensætning osv. Økonomisk overslag bør derfor justeres, hvis det på et tidspunkt vurderes nødvendigt at iværksætte denne afværgemetode.

Prisoverslagene er nedenfor specificeret i forhold til de enkelte aktiviteter i overslaget. Overslagene indeholder således både udgifter til projektering af afværgeløsningen, udbudsmateriale, udbud og udbudsevaluering, drift af afværgeanlæg, tilsyn og dokumentation. For hver aktivitet er økonomien fordelt på rådgiverhonorar, rådgiverudlæg (kørsel, prøveudtagning, udstyr osv.) og 3. parts udlæg (anlægsleverandør, spildevandsmodtager, jordmodtager, analyselaboratorie osv.).

Det er nedenfor forudsat, at der skal afværges på hele minkgravsområderne. Den fortsatte monitoring kan evt. indsnævre de områder, hvor P&T løsningen kan være relevant.

Under forudsætning af, at der skal afværges på hele området, forventes det i Nr. Felding, at der skal etableres ca. 7 pumpeboringer og 12-16 infiltrationsboringer (boret til 5-17 m u.t.) og med en samlet oppumpning på 95-130 m<sup>3</sup>/t.

I Kølvrå forventes, at der skal pumpes ca. 30 m<sup>3</sup>/t fordelt på to boringer, ført til ca. 15 m u.t., og at der etableres ca. 6 infiltrationsboringer.

Det forventes, at der skal pumpes i mindst tre år, men det forventes også, at der i løbet af denne periode vil være sket en væsentlig reduktion af forureningen.

Vandet ledes via en samleledning til et lokalt opstillet rensningsanlæg og herfra videre til infiltrationsboringer, der placeres opstrøms gravene.

Rensningsanlægget placeres i en eller flere containere. Det er i prisoverslaget forudsat, at RO-anlæg anvendes til rensningen, og at der skal håndteres ca. 10% koncentrat svarende til 4 og 10-15 m<sup>3</sup>/t i hhv. Karup og Holstebro. Koncentratet skal bortkøres eller bortledes til rensningsanlæg.

Det skal bemærkes, at ca. 2/3 af driftsomkostningerne for Kølvrå skyldes, at der skal bortkøres skønsmæssigt 4 m<sup>3</sup>/t koncentrat, dvs. ca. 96 m<sup>3</sup>/døgn, hvilket kræver adskillige tankvogne hver dag. Det kan evt. være omkostningseffektivt at etablere en ledning til afledning af restvandet fra RO-anlægget. Dette bør undersøges i forbindelse detailprojektering.

Det skal bemærkes, at der i etableringsomkostningerne for anlægget i Nr. Felding er medtaget etablering af en trykledning til afledning af koncentrat til nærmeste kloak (Nr. Felding). Trykledningen vil skønsmæssigt håndtere 10-15 m<sup>3</sup>/t koncentrat, dvs. ca. 240-360 m<sup>3</sup>/døgn. Det skal forinden afklares med renseanlægget, om det og ledningssystemet kan modtage denne vandmængde.

Der er herudover i begge tilfælde indregnet en afgift på 20 kr./m<sup>3</sup> ved aflevering på rensningsanlæg.

#### Økonomi – Kølvrå

**Tabel 7-1 Økonomisk overslag for etablering af pump & treat med RO-anlæg og infiltration, kr. excl. moms**

Etablering og første års drift	Rådgiver honorar	Rådgiver udlæg	3. part
Projektering og udbud, inkl. pumpe-test	600.000	10.000	
Etablering af pump & treat anlæg	400.000	20.000	8.025.000
Indkøring første år	200.000	25.000	2.400.000
Drift pr. år	120.000	25.000	9.795.000
Monitering pr. år	100.000	10.000	100.000
Sum	1.420.000	90.000	20.320.000
Honorar og udlæg i alt			21.830.000

**Tabel 7-2 Økonomisk overslag for årlig drift og monitering, kr. excl. moms**

Drift og monitering år 1-5	Rådgiver honorar	Rådgiver udlæg	3. part
Drift pr. år	100.000	25.000	9.795.000
Monitering pr. år	80.000	10.000	100.000
Sum årlig drift og monitering	180.000	35.000	9.895.000
Honorar og udlæg i alt			10.110.000

Den årlige driftsudgift efter det første år er skønnet at udgøre ca. 10 mio. excl. moms. Driftsudgiften kan som ovenfor nævnt reduceres ved etablering af en ledning til nærmeste kloak, såfremt det er muligt.



## Økonomi – Nr. Felding

Tabel 7-3 Økonomisk overslag for etablering af pump & treat med RO-anlæg og infiltration, kr. excl. moms

Etablering og første års drift	Rådgiver honorar	Rådgiver udlæg	3. part
Projektering og udbud, inkl. pumpetest	700.000	10.000	
Etablering af pump & treat anlæg	500.000	20.000	17.550.000
Indkøring første år	200.000	35.000	400.000
Drift pr. år	120.000	25.000	5.600.000
Monitering pr. år	100.000	10.000	300.000
Sum	1.620.000	100.000	23.850.000
Honorar og udlæg i alt			25.570.000

Tabel 7-4 Økonomisk overslag for årlig drift og monitering, kr. excl. moms

Årlig Drift og monitering år 1-5	Rådgiver honorar	Rådgiver udlæg	3. part
Drift pr. år	100.000	25.000	5.600.000
Monitering pr. år	100.000	10.000	300.000
Sum årlig drift og monitering	200.000	35.000	5.900.000
Honorar og udlæg i alt			6.135.000

Den årlige udgift til drift og monitering er således anslået til ca. kr. 6 mio. excl. moms.

Viser det sig ved videre grundvandsmonitering, at det kun bliver nødvendigt at afværge grundvandsforureningen fra et af områderne i Nr. Felding, f.eks. område 3, skønnes etableringsomkostningerne inkl. første års drift at beløbe sig til ca. kr. 16 mio. Den årlige drift og monitering i år 1-5 skønnes i givet fald at beløbe sig til ca. kr. 3,6 mio.

### Fordele/ulemper

**Fordele:** Forureningen fjernes fra grundvandet og spreder sig ikke nedstrøms.

Ved RO-rensning fjernes alle stoffer fra vandet, forventeligt også phenoler og cresoler. Det skal dog testes, om det er tilfældet.

Ved MBBR-rensning fjernes biologisk omsættelige stoffer og en mindre mængde slam frasorteres til bortskaffelse. Anlæggets effekt overfor den aktuelle stofsammensætning skal testes bl.a. mhp. at afklare, om der skal tilsættes ekstra næringsstoffer (f.eks. phosphor) for at optimere den biologiske nedbrydning.

**Ulemper:** Afværgepumpning er langvarig, fordi det tager lang tid at gennemstrømme det forurenede område. Det skal overvejes om dræn kan bidrage til en reduktion af oprensningstiden ved at forcere udvaskningen.

Bortskaffelse af koncentrat fra RO-anlægget er bekostelig og miljøbelastende pga. de tankbiler, der dagligt skal transportere det. Etablering af en trykledning kan formentlig være et mere kosteffektivt alternativ. Afledningsafgiften for koncentratet er omkostningstung og kan måske forhandles.



Der er ikke sikkerhed for, at den oprindelige grundvandskvalitet kan nås inden for en kortere årrække.

Forbedringen af grundvandskvaliteten vil næppe være proportional med de omkostninger, der er forbundet med afværgeindsatsen.

Ud fra en proportionalitetsbetragtning vurderes det ikke på nuværende tidspunkt, at de konstaterede forureningsniveauer er egnede til nogen af de ovennævnte rensningsmetoder. Omkostningerne vil være for store i forhold til den gevinst, der opnås. Ud fra de udførte undersøgelser vurderes dette forhold ikke at ville ændre sig.

Desuden bemærkes, at metoder til rensning af grundvand med den konstaterede stofsammensætning er uafprøvede i Danmark. Det vil derfor være nødvendigt at teste rensningsmetoder (laboratorie- og/eller pilottest) inden endeligt valg af metode. Der kan være leveringstider på op til et år på RO- og MBBR-anlæg.

### Myndighedstilladelser

I forbindelse med afværgetiltagene skal der indhentes myndighedsgodkendelser i henhold til tabellen nedenfor.

Godkendelse	Pump & treat
Boretilladelser	x
Oppumpning af mere end 100.000 m <sup>3</sup> grundvand over 2 år	x
Etablering af rensenanlæg	x
Udledning af vand kloak/recipient	x
Byggetilladelse – midlertidig opstilling af containere med anlæg	x
Gravetilladelse	x
Immissionskrav til lugt og støj fra anlæg	x
Tilladelse til recirkulation af oppumpet vand	x

Da begge lokaliteter er ejet af Forsvaret, kan der være lokale godkendelser, der skal indhentes.

### Beskrivelse af supplerende undersøgelser og projekteringsparametre

Som nævnt vurderes pump & treat (oppumpning og rensning) ikke at være særlig omkostningseffektiv, hvorfor den næppe vil være aktuel at igangsætte. Hvis metoden alligevel skal anvendes, vil det formentlig være nødvendigt at teste den valgte rensningsmetode for at sikre ved laboratorie- og/eller pilottest, at metoden er effektiv overfor den aktuelle vandkvalitet. Testenes resultater bruges desuden til at dimensionere fuldskalaanlægget.

Endelig vil der i forbindelse med projektering af P&T anlægget skulle gennemføres en langtidsprøvepumpning og en 3D grundvandsmodellering af forskellige afværgescenarier for endeligt at fastlægge antal og placering af pumpe- og infiltrationsboringer. Til dette formål vil der skulle udføres mindst 1 boring i stor diameter.

Det vil desuden skulle afklares, om vandløbene ved de to lokaliteter kvantitativt og kemisk er egnede til at modtage det oppumpede rensede vand, samt hvor tilgængelige vandløbene er for afledningen.

Derudover vil det skulle drøftes med kommuner og renseanlæg, om koncentrat og koncentratmængder kan udledes til og modtages på renseanlæggene. Herunder om afledningsafgiften kan forhandles.

I forbindelse med projekteringen vil der skulle gennemføres en interessentanalyse for at afklare lokale interesser og aktioner til håndtering heraf.

## 5. Sammenfatning

En oversigt over fordele og ulemper ved en løsning omfattende Pump & Treat er givet i tabellen nedenfor.

### Nøgleparametre for P&T

	<b>Pump&amp;Treat</b>
Sikkerhed for effekt	God-middel
Metodens egnethed	God-middel
Fjernelse af forureningsmasse	Stort set 100% - Forurening i jord og grundvand fjernes
Påvirkning af det øvre grundvand nedstrøms minkgravene	Ingen påvirkning
Påvirkning af overfladevand i området	Ingen påvirkning
Fleksibilitet for udvidelse	Ja
Samlet anlægs- og driftsperiode	Min. 3-10 år
Risici	Ingen
Efterfølgende begrænsninger på arealanvendelse	Ingen, dog skal borerer beskyttes
Gener	Etablering af renseanlæg
Bæredygtighed	Væsentligt mindre bæredygtig end monitoreret naturlig nedbrydning

**BILAG 3**  
**BÆREDYGTIGHEDSVURDERING**

## Bæredygtighed af afværgeteknikker

Bæredygtigheden af de forskellige afværgestrategier kan sammenlignes på baggrund af en række bæredygtighedsindikatorer som det f.eks. gøres i Rambølls SURE værktøj /5/. Værktøjet følger ISO standarden /6/ for bæredygtig afværge og indeholder dermed en række indikatorer fordelt på de tre hovedområder miljø, samfund og økonomi.

Til brug for dette afværgeprogram vil der i det følgende blive skitseret nogle mere generelle betragtninger af bæredygtigheden dels ved MNA, Naturlig Nedbrydning, dels en pump & treat løsning. Disse betragtninger og vurderinger er baseret på de bæredygtighedsindikatorer, der indgår i en indledende screening af bæredygtigheden som beskrevet i /5/.

### **Miljøpåvirkninger**

For MNA, Naturlig Nedbrydning, er der ikke nogen miljøpåvirkning af betydning. Der kræves kun transport af en prøvetager til området 1-3 gange årligt.

For en pump & treat løsning vil der løbende være et energiforbrug. Denne løsning kan have en meget lang tidshorisont, hvilket vil påvirke de samlede miljøeffekter.

Ved begge løsninger forventes det, at der ikke er risiko for udsivning af forurening til overfladevand, således at rekreative formål såsom badning i nærliggende overfladevand kan opretholdes.

### **Samfundspåvirkninger**

Idet minkgravene er placeret på forsvarrets arealer i områder, der i forvejen er utilgængelig for offentligheden, og er placeret langt fra nærmeste naboer, vil de samfundsmæssige påvirkninger for lokalområdet være begrænset. En pump & treat løsning vil udelukkende påvirke forsvarrets brug af arealet.

### **Økonomi**

Moniteret naturlig nedbrydning er en forholdsvis billig løsning, idet der udover etablering af nye boringer kun er udgifter til årlig monitoring af grundvandets kvalitet. En pump & treat løsning vil være væsentlig dyrere, idet der skal etableres anlæg til rensning af oppumpet grundvand og til recirkulation eller bortledning af det rensede vand. Desuden skal anlægget driftes i mange år, og der skal udføres en lige så langvarende monitoring af anlæggets effektivitet.

**I tabellen nedenfor** er der foretaget en sammenligning af bæredygtigheden ved MNA i forhold til pump & treat. På baggrund af de nævnte bæredygtighedsindikatorer, vurderes MNA at være en væsentlig mere bæredygtig løsning en pump & treat.

Bæredygtighedsindikatorer baseret på Rambølls SURE værktøj samt vurdering af de to teknikkers påvirkning /5/

Bæredygtighedsindikator	MNA, Naturlig Nedbrydning	Pump & treat
<b>Miljø</b>		
Drivhusgasudledning	Lav – kun ifm transport ved monitorering	Kan blive høj afhængig af tidshorisont som følge af løbende forbrug af energi og vandrensning (f.eks. næringsstoffer tilsat til MBBR)
Jord og terræn	Ingen yderligere påvirkning	Efterlader restforurening
Grundvand og overfladevand	God beskyttelse af grundvand og overfladevand	God beskyttelse af grundvand og overfladevand
Natur	Ingen yderligere påvirkning	Begrænset påvirkning
Råmaterialer	Pumper og slanger kan genbruges til samme boringer ved monitorering	Evt. mindre mængder næringsstoffer
Affald	Ingen	Koncentrat fra RO/slam fra MMBR
Sundhed og sikkerhed	Begrænset risiko	Begrænset risiko
Etik og lighed		Intergenerationelle påvirkninger hvis forureningskilde består til de kommende generationer
Lokalområde	Ingen yderligere påvirkning	Der opsættes container med behandlingsanlæg, løbende monitorering
<b>Økonomi</b>		
Levetid og fleksibilitet	Varierer mellem lokaliteterne, monitoringsperiode forventes relativt kortvarig	Lang driftsperiode
Usikkerhed og evidens	God sikkerhed for effekt	God sikkerhed for effekt, dog lav effektivitet
Kvalitet af tilgængelig info	Datagrundlag kan forbedres	Datagrundlag kan forbedres