

**Studieresa till Danmark - Renare Mark og ATV**

Undersökningar och åtgärdsutredning - Kærgård Plantage  
30. nov. 2007  
Torben Højbjerg Jørgensen, COWI A/S



# 1 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersökningar och åtgärdsutredning - Kærgård Plantage/DA, Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Undersökningar och åtgärdsutredning 2004 - 2006**

Miljøstyrelsen	Bygherre
Ribe Amt	Bygherre før 2007
Region Syddanmark	Bygherre efter 2007
COWI	Hovedrådgiver fra 2004 - marts 2007
GeoSyntec Consultant	Ekspertbistand vedr. afværgemetoder + laboratorieforsøg
DTU - Miljø & Ressourcer	Ekspertbistand vedr. naturlig nedbrydning, stofflux til havet
Danmarks Hydrauliske Institut	Økotoxikologiske undersøgelser og spredningsberegninger i havet
Ejlskov Consult	Geoprobeundersøgelser

# 2 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersökningar och åtgärdsutredning - Kærgård Plantage/DA, Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Disposition**

Undersökningar (2004 -2006)  
Risker  
Åtgärdsmetoder (Strategier och teknikalternativ)

# 3 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersökningar och åtgärdsutredning - Kærgård Plantage/DA, Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Placering af Kærgård Plantage - Ueberørt område ved Vesterhavet

# 4 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård Plantage/DA Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

### Hvor er der deponeret

**Grindstedværkets deponering:**

- Deponeret i 6 gruber (waste pits) i 1956 - 1972
- I alt deponeret 286.000.000 l spildevand fra medicinalproduktion (50.000 l dagligt)
- Svarende til 60.000.000 kg fast stof

# 5 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård Plantage/DA Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

### Hvilke stoffer er deponeret fra Grindstedværket

Lægemidler	Sulfonamider (antibiotika) Barbiturater (sove medicin) Lithium (depressionsmiddel)
Klorerede opløsningsmidler	Tetrachlorethylen og Trichlorethylen
Organiske kvælstofforbindelser	Anilin, Pyridin N-phenylacetamid
Vandblandbare organiske forbindelser	Ethanol, methanol, propanol, acetone
Phenoler	phenol, cresoler, naphthalen
Klorphenoler	2-klorphenol, 4-klorphenol
Flygtige oljestoffer	Primært Benzen og toluen
Uorganiske stoffer	Svovl, klorid, sulfat, kallium

# 6 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård Plantage/DA Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

**Gruberne. Overdækket pga. kraftig lugt**

# 7 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøgelser og åtgårdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Deponeringspraksis**

# 8 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøgelser og åtgårdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Problemer med forureningen**

- Kontakt med forurening ved badning og ophold i strandområde (badeforbud på en 1400 m strækning)
- Påvirkning af de økotoxikologiske forhold i havet i op til 2500 m bredt område ud for udsivningsområdet
- Afdampning af porgas fra gruber
- Lugtgener ved stranden
- Drikkevandsinteresser - nej

# 9 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøgelser og åtgårdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Bore- og analysearbejde

Der er lavet boringstrace på langs og på tværs af strømningsretning

- Ca. 150 nye borer (3.000 boremeter)
- Ca. 220 jordprøver
- Ca. 300 vattenprøver
- Ca. 55 porgasprøver

# 10 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøgelser og åtgårdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Borearbejde med Unimog (skruvboringer) og Geoprobe

Udførelse af pumpeboring P103 i testfelt ved B108 ved Klifbolev.

# 11 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøgelser og åtgårdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Jordforurening

Der findes stadig kraftig jordforurening i selve grubeområdet

# 12 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøgelser og åtgårdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Jordprøvetagning til laboratorieforsøg



#### Kærnpøvetagning



# 13 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage



---

---

---

---

---

---

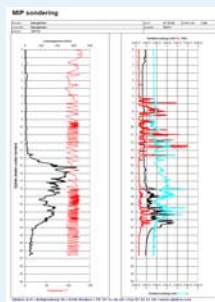
---

---

---

---

### Geoprobe med ledningsevnelogs og MIP sondering



# 14 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Vandprøver og fri fase test



# 15 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage



---

---

---

---

---

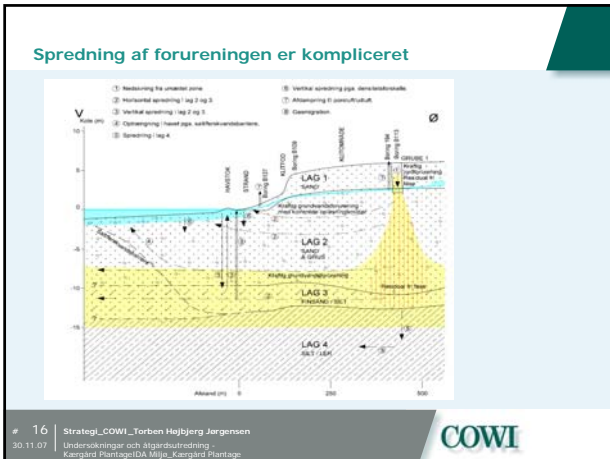
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

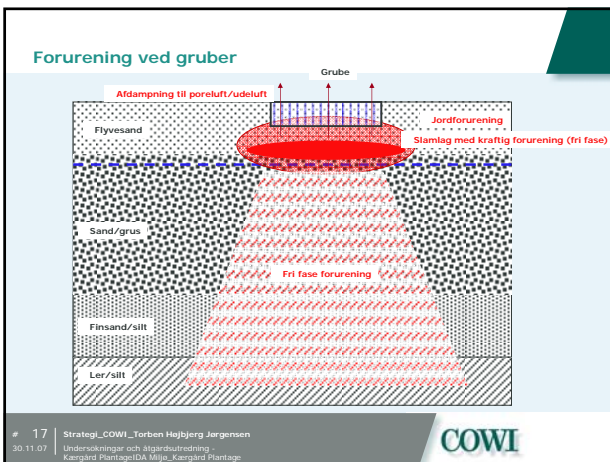
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Jordforurening

- Meget kraftig jordforurening i alle gruber for næsten alle stofgrupper (typisk ned til 2-3 m - ca. 20.000 - 30.000 tons jord)
- Fri fase af klorerede opløsningsmidler i grube 1-4 (ned til ca. 20 m - ca. 60.000 m3 jord)
- Særlig kraftig forurening i grube 1-4

# 18 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
 30.11.07 | Undersøgelser og åtgärdsutredning  
 Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Grundvandsforurening - max indhold

Stofgruppe	Stof	Højeste måling ug/l
Sulfonamider	sum	760.000
Barbiturater	sum	27.000
Klorerede opløsningsm.	sum	270.000
Vandblandbare org. Stof.	sum	570.000
Phenoler µg/l	sum	7.000
Org. Kvælstofforbindelser	Anilin	23.000
	Pyridin	37.000
	Chloraniliner	5.000
Kulbrinter µg/l	Benzen	93.000
	Toluen	68.000
	Total kulbrinter	260.000
Uorganiske komponenter	Lithium	160.000
	NVOC	6.300.000

# 19 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgårdsutredning  
Kærgård Plantage/D.A. Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

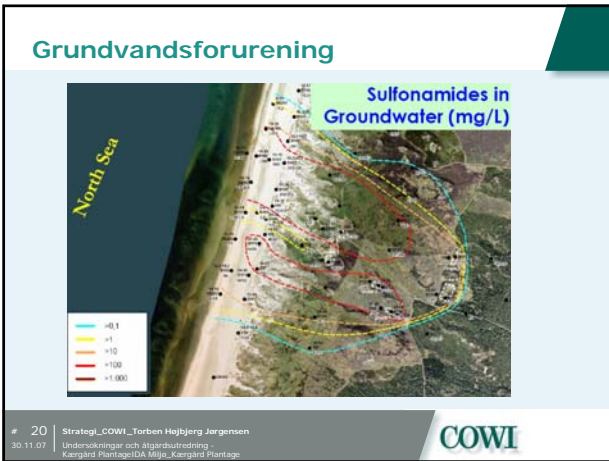
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

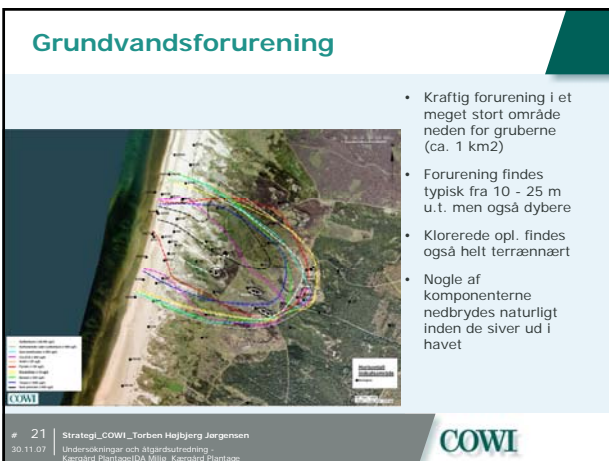
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

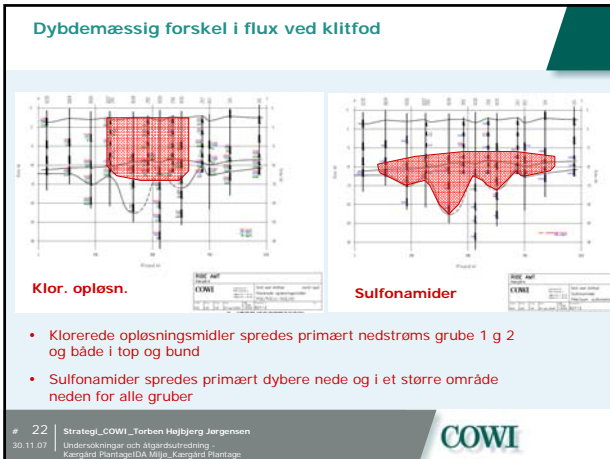
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

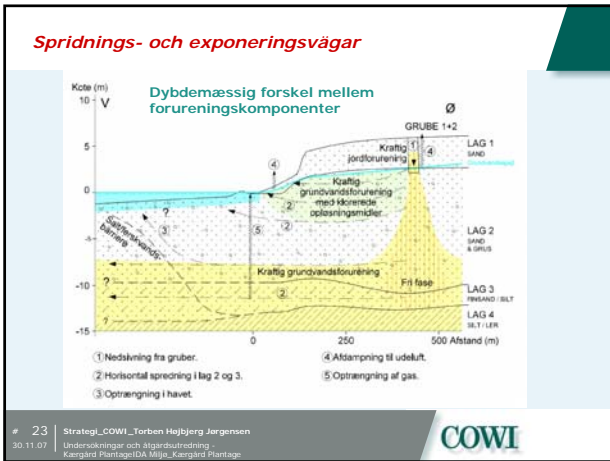
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

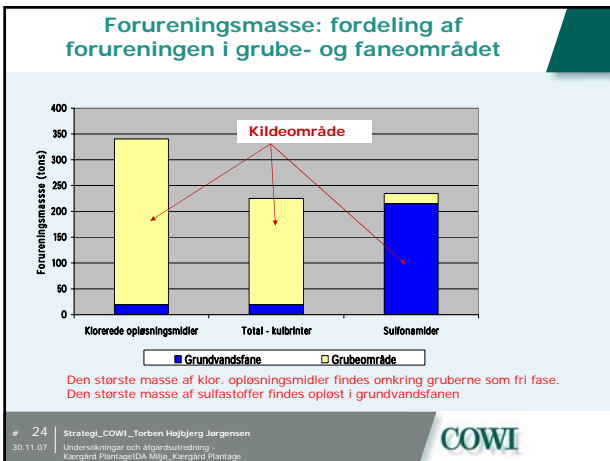
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

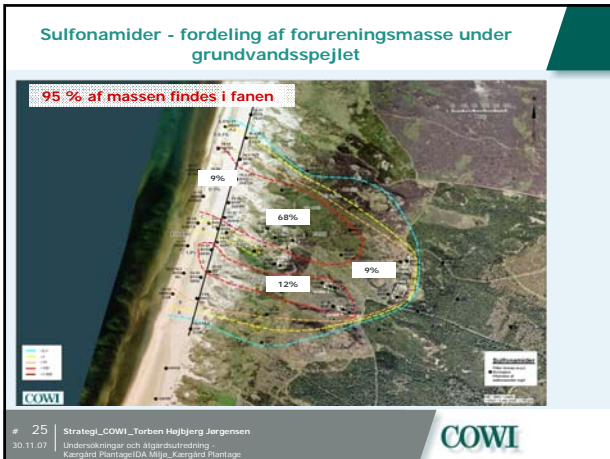
---

---

---

---





---

---

---

---

---

---

---

---

### Udfordringer ved oprensning af forureningen

- Forureningssammensætning er **unik** i verden
- Mix af forureningskomponenter kræver en **kombination** af metoder
- De meget **vandopløselige komponenter** (fx sulfonamider, barbiturater, anilin) er **udvasket fra gruberne** og findes primært i fanen i meget store mængder (kildeområde = fane)
- **Fri fase** forurening med perklorethylen
- **Sulfonamider** kan ikke oprenses med biologiske metoder
- **Kraftig lugt** i grundvandet er vanskelig at håndtere ved vandbehandling + methangas

# 26 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---



### Afskæringsløsninger - kontroll av plym

**Oppumpning af grundvand** ved klitfod (ca. 200.000 - 300.000 m<sup>3</sup>/år)

Det oppumpede grundvand **behandles med kemisk oxidation** (fx. behandling med brintoverilte/ozon)

Økonomi: ca 40-50 mio dkr i etablering og årlige driftsudgifter på 6-9 mio dkr

**NB:** Forurening på stranden efterlades

# 31 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård Plantage/DA Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kildereduktionsmetoder

Løsning	Omkostninger (mio kr. excl. Moms) 1)
1. Urgrävning och ex situ-behandling (29.000 tons jord)	ca. 40 mio.
2. Oprensning af fri fase af klorerede opløsningsmidler under grundvandsspejlet (60.000 m <sup>3</sup> jord) med fx kemisk oxidation	ca. 52 mio.
3. Oppumpning af grundvand i plymområdet. Det oppumpede grundvand renses med avanceret kemisk oxidation (AOP). Rettet mod vandopløselige stoffer (fx sulfaster, anilin)	ca. 136 mio.

1) Nutidsværdi, 6% realrente

# 32 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård Plantage/DA Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Tak for opmærksomheden

# 33 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård Plantage/DA Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Høfde 42 - Grundvandsforurening

- Laboratorieforsøg:
- Ozon
- Avanceret oxidation med brintperoxid og ozon
- Fentons (modificeret)
- Permanganat

Forsøg lavet med vandprøver med kraftig forurening men uden fri fase

Forsøg udført af GeoSyntec, ISOTEC, APT og COWI

Prøve ID	Prøve
Reaktionstid, timer	
<b>Pesticider:</b>	
Parathion	2,20
Methyl-parathion	7,10
Malathion	9,80
MCPA	2,36
Ethyl-sulfotep	< 0,1
Sum, mg/l	21,5
<b>Nedbrydningsprodukter:</b>	
Amino-Parathion	< 0,1
MP2-Syre	7,20
EP2-Syre	12,10
PNF	8,19
4-Cl-Cresol	1,04
Methyl-amino-parathion	< 0,1
MP1	< 0,2
EPI	< 0,2
Sum, mg/l	28,3
<b>Stofretheder og oxidationsprodukter:</b>	
M-OOSPS	3,80
E-OOSPS	12,00
MME-OOSPS	0,50
EEM-OOSPS	8,00
E-OOOPO	< 0,1
EEM-OOSPO	0,80
Sum, mg/l	25,1
<b>Oxoner</b>	
Paraoxon	1,10
Methyl-paraoxon	< 0,1
Malaoxon	< 0,1
Sum, mg/l	1,1
Beregnete værdier:	
Total sum, mg/l	76,2

# 34 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Mjølø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Laboratorieforsøg - resultater

Stof \ Rensemetode	Ozon	AOP	Fenton	Permanganat
<b>Pesticider:</b>				
MCPA	+	+	+	+
Malathion	+	+	+	+
Methyl-parathion	+	+	+	+
Parathion	+	+	+	+
<b>Råvarer og deres nedbrydningsprodukter:</b>				
E-OOSPS	+	+	+	+
M-OOSPS	+	+	+	+
EEM-OOSPS	+	+	+	+
E-OOOPO	P	+	+	P
<b>Parathion reaktionsprodukter:</b>				
MP2-syre	+	+	P	+
MP1	+	+	+	+
EP2-syre	+	+	+	+
<b>Oxoner:</b>				
Malaoxon	P	+	+	P
Methyl-paraoxon	P	+	+	P
Paraoxon	P	+	+	P

■ Nedbrydes fuldstændigt  
 ■ Nedbrydes  
 ■ Produceres

# 35 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Mjølø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### COWI's erfaring med nedbryningseffekt

Parameter	Permanganat	Fentons (modificeret)	Avanceret oxidation (Ozon/H2O2)
<b>Klorerede opløsningsmidler</b>			
PCE	xxx	xxx	xxx
TCE	xxx	xxx	xxx
DCE	xxx	xxx	xxx
VC	xxx	xxx	xxx
DCM	-	x	x
<b>Phenol</b>	xx-xxx	xxx	xxx
<b>Kulbrinter</b>			
Benzene	x	xxx	xx
Toluen	xx	xxx	xx
<b>Pesticider</b>			
Parathion	xxx	xxx	xxx
Malathion	xxx	xxx	xxx
MCPA	xxx	xxx	xxx
<b>Kvælstofbindelser</b>			
Anilin	xxx	xxx	xxx
<b>Medicinske stoffer</b>			
Sulfaster	xx-xxx	xxx	xxx
Sovemidler	x-xx	xxx	xxx

■ God  
 ■ Middel  
 ■ Lav

Kærgård PlantageIDA, Mjølø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Naturlig nedbrydning af klorerede opløsningsmidler

# 37 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård Plantage/DA Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Stor biologisk aktivitet i grundvandet - nedbrydning af forureningen??

Spørgsmål i lag 3 i SP2 i forbindelse med boring B1106, K1106/06, P103, som er tilføjet i lag 3. Aktivitet i grundvandet.

# 38 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård Plantage/DA Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kemisk oxidationsteknikker

Kemisk oxidation	Formel	Standard oxidation potentiale, E° (V)
Fenton's reagens	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$ (OH• radical)	2.8
Avanceret oxidation (AOP)	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$ (OH• radical)	2.8
Aktiveret persulfat (med opvarmning eller metaller)	$-\text{S}_2\text{O}_8$ ( $\text{SO}_4^{\bullet-}$ radical)	2.5
Ozon	$\text{O}_3$	2.1
Permanganat	$-\text{MnO}_4$	1.7

# 39 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård Plantage/DA Miljø, Kærgård Plantage

COWI

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Naturlig nedbrydning af organiske forureningskomponenter

Stofgruppe	Naturlig nedbrydning
Klorerede opløsningsmidler	Væsentlig
Kulbrinter	Væsentlig
Anilin, pyridin m.fl.	Væsentlig
Phenoler	Væsentlig
Vandblandbare organiske forbindelser	Væsentlig
Barbiturater	Måske
Sulfonamider	Lille

Væsentlig nedbrydning for nogle stoffer - men ikke tilstrækkelig til at hindre udsivning til havet mm.

# 40 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage



---

---

---

---

---

---

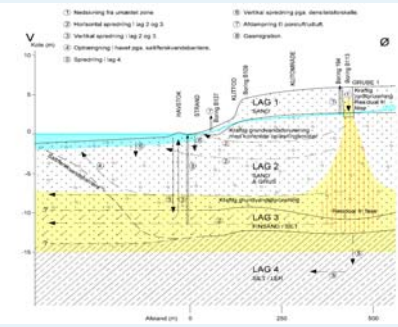
---

---

---

---

### Spredning af forureningen er kompliceret



# 41 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage



---

---

---

---

---

---

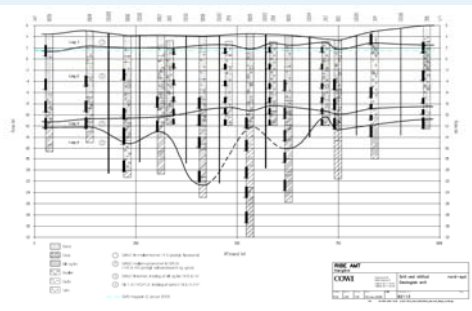
---

---

---

---

### Geologi og hydrogeologi (4 lags model)



De geologiske forhold er mere komplicerede end tidligere antaget

# 42 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøkelinger og åtgärdsutredning  
Kærgård PlantageIDA, Miljø, Kærgård Plantage



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Risiko og gener ved Kærgård Plantage**

**Risiko ved ophold på og omkring gruberne**

- Indånding af luft med flygtige forureningskomponenter.

**Risiko ved ophold på stranden**

- Kontakt med forurenede sand ved gravning i stranden.
- Indånding af luft med flygtige forureningskomponenter.

**Risiko ved Bading**

- Hudkontakt og indtag gennem munden af stillestående forurenede vand fra strandenderne.
- Hudkontakt og indtag gennem munden af forurenede havvand ved badning fra kysten.

**Risiko for vandmiljøet**

- Påvirkning af plante- og dyreliv i havet

**Lugtgener**

- Der kan i perioder opstå væsentlige lugtgener i hele området.

**Risikar**

# 43 | Strategi\_COWI\_Torben Højbjerg Jørgensen  
30.11.07 | Undersøgelser og åtgårdsutredning - Kærgård Plantage, Miljø, Kærgård Plantage

---

---

---

---

---

---

---

---