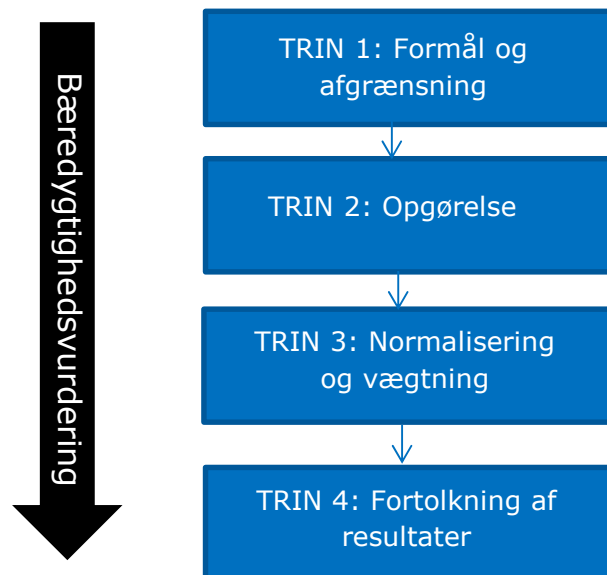


# Manual

## Værktøj til sammenligning af bæredygtigheden af afværgeteknikker



Gitte L. Søndergaard, Philip J. Binning og Poul L. Bjerg

DTU Miljø

Juni 2015



## Forord

DTU Miljø har i samarbejde med Region Midtjylland udviklet en bæredygtighedsvurderingsmetode, der har til formål at sammenligne bæredygtigheden for forskellige afværgeløsninger for en forurennet grund og dermed understøtte valget af afværgeløsning. Metoden er opbygget som en multikriterievurderingsmetode, der inddrager følgende hovedkriterier: effekt af afværge (Effekt), omkostninger af afværge (Økonomi), tidshorisont for afværge (Tid) samt afværgemetodens sekundære påvirkninger på miljø (Miljø) og samfund (Samfund). Alle hovedkriterier, undtagen Tid, er inddelt i en række underkriterier. Værktøjet er sat op i et excelregneark, som kan tilpasses den lokalitet og de afværgescenarier, der sammenlignes.

Forud for udviklingen af værktøjet er der foretaget et litteraturstudium (Notat 1, Lemming et al. 2011), som danner baggrund for arbejdet og den valgte kriteriestruktur i værktøjet. Fastsættelsen af de miljømæssige, sociale og økonomiske indikatorer, som indgår i det endelig værktøj, er sket med baggrund i dette litteraturstudium, samt gennem dialog med en arbejdsgruppe fra Region Midtjylland, som har været tilknyttet projektet og bidraget aktivt med input til værktøjets tilblivelse. Multikriteriemetoden er i sin helhed beskrevet i projektets Notat 2 (Søndergaard et al., 2014) og Notat 3 (Lemming et al., 2014) afrapporterer anvendelsen af værktøjet på lokaliteten Høfde 42.

De udarbejdede notater (Notat 1-3) samt excelværktøjet er tilgængeligt på [www.sara.env.dtu.dk](http://www.sara.env.dtu.dk)

Fra Region Midtjylland har en arbejdsgruppe bestående af Morten Bondgaard, Anja Melvej, Børge Hvidberg, Kaspar Rüegg og Lars Ernst bidraget i tilblivelsen af værktøjet gennem en række møder og workshops, hvor værktøjets opbygning og kriteriestruktur er blevet diskuteret.

Herudover har der været udsendt et spørgeskema til en gruppe af eksperter indenfor jordforureningsområdet, der har givet nogle generelle vurderinger af en række afværgeteknikkers præstation på udvalgte kriterier. Disse vurderinger kan anvendes som udgangspunkt i anvendelsen af værktøjet og ses i Bilag A.

## Indholdsfortegnelse

Forord.....	3
1 Introduktion .....	5
2 Bæredygtighedsværktøjets opbygning .....	7
2.1 Kriteriestruktur.....	7
2.2 Lineær additiv model .....	7
3 Anvendelse af bæredygtighedsværktøjet – trin for trin .....	9
3.1 Trin 1: Formål og afgrænsning af vurdering.....	9
3.2 Trin 2: Opgørelse af afværgeløsningernes præstationer på hoved- og underkriterier.....	10
3.3 Trin 3: Normalisering og vægtning af scorer .....	18
3.4 Trin 4: Fortolkning af resultater .....	21
4 Konklusion.....	23
5 Referencer.....	24
Bilag A – Ekspertpanelets vurderinger .....	25

## 1 Introduktion

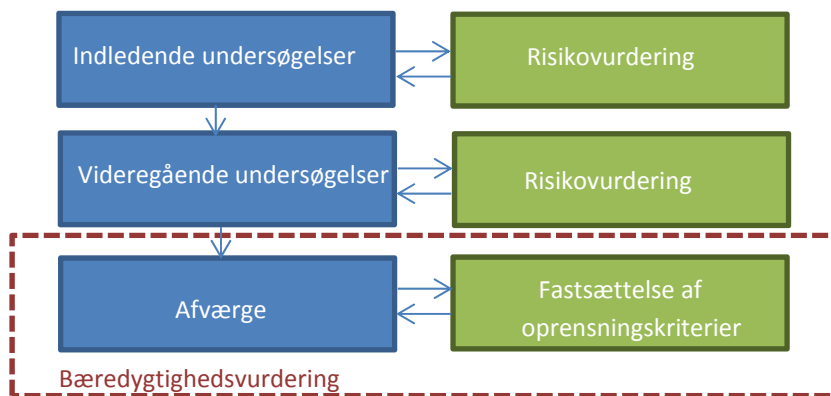
I denne manual gennemgås en trin-for-trin vejledning til udførelse af en bæredygtighedsvurdering ved hjælp af excelværktøjet "Bæredygtig afværge". Metoden er desuden afrapporteret i projektets Notat 2 (Søndergaard et al., 2014). Derudover er den anvendt på en case (Høfde 42), hvilket er beskrevet i projektets Notat 3 (Lemming et al., 2014). Endvidere findes et litteraturstudium (Notat 1), der er udført for at etablere en faglig baggrund for projektet (Lemming et al., 2011).

### Hvad kan værktøjet og hvad kan det ikke?

Formålet med bæredygtighedsværktøjet er at lave en sammenlignende vurdering af to eller flere afværgeløsningers bæredygtighed. De sammenlignede løsninger vurderes på en række kriterier, og på baggrund af deres præstation på disse kriterier, samt en vægtning af kriteriernes vigtighed, beregnes en samlet bæredygtighedsscore for hver løsning. Ved at sammenligne de opnåede scorere kan bæredygtigheden af løsningerne sammenlignes relativt til hinanden. Bæredygtighedsvurderingen forsøger altså at give et svar på hvilken afværgeløsning, der er mest bæredygtig i sammenligning med de øvrige løsninger. Resultatet siger dermed kun noget om løsningernes relative bæredygtighed og kan ikke bruges til at sige, om en given løsning er bæredygtig i absolut forstand.

### Hvornår kan værktøjet benyttes?

Værktøjet kan benyttes til at sammenligne bæredygtigheden af afværgeløsninger for en forurenede lokalitet, hvor der allerede er truffet beslutning om, at der skal ske afværge (se illustration på Figur 1). Det er desuden en fordel, hvis der er lavet et oplæg til potentielle afværgeforanstaltninger og en indledende vurdering af disse i forhold til tidsforbrug, pris og oprensningseffekt. Derudover er det hensigtsmæssigt, at der er fastsat målbare oprensningskriterier for lokaliteten, således at det kan sikres, at de afværgeløsninger, der indgår i bæredygtighedsvurderingen som minimum forventes at kunne imødekomme disse kriterier.



Figur 1. Illustration af hvornår bæredygtighedsværktøjet kan benyttes i forhold til regionernes arbejdsgang

### Trin i bæredygtighedsvurderingen

Bæredygtighedsvurderingen kan opdeles i fire trin, som opsummeret i Boks 1 herunder. Disse trin vil blive beskrevet i denne manuals kapitel 3.

Trin i bæredygtighedsvurderingen	
<b>TRIN 1:</b>	Formål og afgrænsning <ul style="list-style-type: none"><li>• Fastsættelse af afværgealternativer, der skal sammenlignes</li><li>• Udvælgelse og definition af relevante kriterier i vurderingen</li></ul>
<b>TRIN 2:</b>	Opgørelse af afværgeløsningernes præstation på hoved- og underkriterierne: <ul style="list-style-type: none"><li>• Effektopgørelse</li><li>• Omkostningsopgørelse</li><li>• Samfundspåvirkninger</li><li>• Opgørelse af miljøeffekter, herunder livscyklusvurdering</li></ul>
<b>TRIN 3:</b>	Normalisering og vægtning af scorer <ul style="list-style-type: none"><li>• Normalisering</li><li>• Interessentinddragelse</li><li>• Udregning af vægte</li></ul>
<b>TRIN 4:</b>	Fortolkning af resultater

*Boks 1. De 4 trin i bæredygtighedsvurderingen. Se kapitel 3 for nærmere vejledning til udførelse af de enkelte trin*

## 2 Bæredygtighedsværktøjets opbygning

Bæredygtighedsværktøjet er opbygget som et multikriterieværktøj, der inkluderer en række kriterier af betydning for afværgemetodens bæredygtighed.

### 2.1 Kriteriestruktur

Bæredygtigheden af et afværgetiltag vurderes ud fra 5 overordnede kriterier (hovedkriterier) samt et antal underkriterier (illustreret på Figur 2). De 5 hovedkriterier i vurderingen er:

- **Effekt:** Hvor god er metoden til at opfylde formålet med oprensningen, dvs. til at fjerne forureningen og sikre, at der ikke er en uacceptabel påvirkning af miljø og mennesker
- **Økonomi:** Hvad koster det at rense op? Hvor stor er usikkerheden på omkostningsestimatet? Er der ekstra omkostninger før teknikken er klar til implementering på den pågældende lokalitet?
- **Tid:** Hvor lang tid går der før løsningen er implementeret og effekten er opnået?
- **Miljø:** Hvor stor grad af afledte miljøeffekter er der forbundet med at rense op? (Herunder emissioner til luft og vand, udledning af økotoxiske stoffer, affaldsproduktion, ressourceforbrug og påvirkning af det lokale jordmiljø)
- **Samfund:** Hvor stor grad af samfundspåvirkninger er der forbundet med løsningsmetoden? (Herunder gener for beboere/naboer/brugere af grunden, arbejdsmiljørisici, afledte sundhedseffekter og påvirkning af områdets renommé og eventuelle kulturminde)

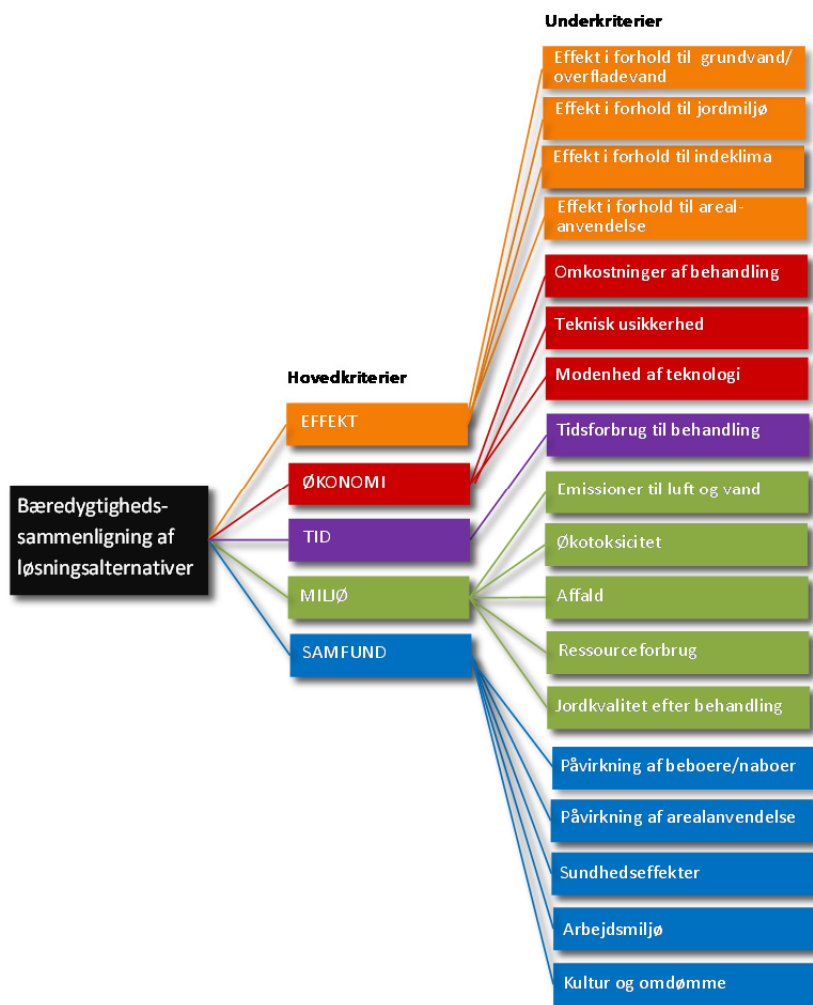
En uddybende beskrivelse af hovedkriterier og underkriterier findes i kapitel 3.

### 2.2 Lineær additiv model

Den udviklede multikriteriemetode er en såkaldt lineær additiv model, hvor den samlede bæredygtighedsscore beregnes som en vægtet sum af scorerne opnået for de enkelte kriterier. Dette fremgår af Ligning 1, der udtrykker beregningen af den samlede bæredygtighedsscore  $v(x)$  for alternativ  $x$  som summen af de enkelte kriteriers scorer  $v_i$  ganget med deres vægte  $w_i$ :

Ligning 1: 
$$v(x) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(x_i)$$

$n$  er antallet af kriterier. Vægtene afspejler den relative vigtighed af kriterierne og summerer til 1.



Figur 2. Multikriteriestruktur for bæredygtighedsvurderingen



### 3 Anvendelse af bæredygtighedsværktøjet – trin for trin

Excelværktøjet ”Bæredygtig afværge” består af en række ark, der skal indtastes i, samt et opsummerende resultatark. Arkene gennemgås under den nedenstående trin-for-trin vejledning til værktøjet. Det skal bemærkes, at arket ikke er fuldt automatisk. Såfremt der fravælges/tilvælges kriterier kan der være behov for manuelle justeringer i værktøjet ligesom det kan være nødvendigt manuelt at tilpasse grafer så alle løsningsalternativer vises.

#### 3.1 Trin 1: Formål og afgrænsning af vurdering

Trin 1 har to formål:

- A) At fastlægge de afværgealternativer, der skal sammenlignes i bæredygtighedsvurderingen. De valgte afværgealternativer indtastes i arket ”Scenarier og vægte” i excelværktøjet, se Figur 3
- B) At fastlægge hvilke kriterier, der skal indgå i bæredygtighedsvurderingen

Generel info	
Case	Stationsvej 5 og NC Madsensvej 1, Videbæk
Afværgeløsninger, der sammenlignes i vurderingen:	
A1	Opgravning af forurenede jord
A2	In situ termisk oprensning med damp
A3	Stimuleret reduktiv deklorering
A4	Surfactant-enhanced In situ kemisk oxidation (S-ISCO)
A5	

Figur 3. I Ark 1 ”Scenarier og vægte” indtastes et navn for den case, der regnes på, samt de afværgealternativer (A1-A5), der sammenlignes.

I Trin 1B skal det fastlægges hvilke kriterier, der skal indgå i vurderingen af den aktuelle lokalitet. Som udgangspunkt bør alle hoved- og underkriterier som er defineret i værktøjet indgå (se Figur 2). Der kan dog være tilfælde, hvor visse kriterier kan udelades. Derudover skal der ske en nærmere definition af underkriterierne indenfor hovedkriteriet Effekt, da dette afhænger af formålet med afværgeren for den aktuelle sag. I Boks 2 herunder gives en trinvis vejledning til at fravælge og tilvælge kriterier i vurderingen.

**Vejledning til at fravælge og definere kriterier i bæredygtighedsvurderingen:**

- 1) **Er TID relevant som hovedkriterium?** Hvis tidsforbruget til at gennemføre de valgte afværgealternativer er relativt ens (fx alle er hurtigere end 5 år), kan tid udelades som hovedkriterium for at forsimple analysen.
- 2) **Bor der mennesker på eller som tætte naboer til den forurenede grund?** I så fald beholdes kriteriet "Påvirkning af beboere/naboer", mens kriteriet "Påvirkning af arealanvendelse" fravælges (begge kriterier findes under hovedkriteriet Samfund). Er der tale om et rekreativt areal uden beboere eller naboer i nærheden tilvælges i stedet "Påvirkning af arealanvendelse" og "Påvirkning af beboere/naboer" fravælges.
- 3) **Vedr. underkriteriet "Arbejdsmiljø":** For kriteriet "Arbejdsmiljø" kan det vælges at beholde det som ét overordnet kriterium, der inkluderer alle aspekter af arbejdsmiljø (på lokaliteten, under transport og ved off-site behandling). Det kan også vælges at opdele kriteriet i tre underkriterier, som vurderes hver for sig på samme 1-5 skala.
- 4) **Vedr. underkriteriet "Kultur og Omdømme":** Dette kriterium under Samfund har to underkriterier, nemlig "Påvirkning af kulturmiljø" og "Påvirkning af renommé". Såfremt der ikke er specielle kulturminde eller landskabstyper på det forurenede område, kan "Påvirkning af kulturmiljø" udelades.
- 5) **Vedr. hovedkriteriet Effekt:** For hovedkriteriet "Effekt" skal der laves en nærmere definition af underkriterierne i forhold til de oprensningseffekter, som sammenlignes for den aktuelle lokalitet. Der er i kriterieoversigten defineret fire underkriterier, men disse bør tilpasses de faktiske formål med afværgeren på lokaliteten. De foruddefinerede kriterier er:
  - a. Effekt i forhold til grundvand (alternativt overfladevand)
  - b. Effekt i forhold til jordmiljø
  - c. Effekt i forhold til indeklima
  - d. Effekt i forhold til arealanvendelse
 Der kan vælges en eller flere af disse effektkriterier og de kan yderligere tilpasses til at repræsentere det specifikke formål med oprensningen på den pågældende lokalitet.
- 6) **Manglende kriterier?** Såfremt der er forhold, der ikke er repræsenteret i den generelle kriteriestruktur er det muligt at inkludere ekstra underkriterier.

*Boks 2. Vejledning til at fravælge og tilvælge kriterier i bæredygtighedsvurderingen.*

### 3.2 Trin 2: Opgørelse af afværgeløsningernes præstationer på hoved- og underkriterier

Under trin 2 foregår den faktiske opgørelse af afværgeløsningernes præstationer på de forskellige hoved- og underkriterier. I det følgende beskrives hvorledes de nødvendige opgørelser og vurderinger laves indenfor hvert hovedkriterium. Det anbefales at disse vurderinger af hoved- og underkriterier foretages i en gruppe, og ikke laves som enkeltmandsvurderinger.

Nogle af de kriterier, der indgår i værktøjet skal vurderes kvalitativt på en skala fra 1-5. For at give brugerne af værktøjet et udgangspunkt for tildelingen af kvalitative scorer, har et ekspertpanel bestående af 10 fagpersoner/grupper af fagpersoner udfyldt et spørgeskema, hvori en række af de oftest anvendte afværgemetoders påvirkning er vurderet for de relevante underkriterier (Tabel 1). Ekspertpanelets scorer fremgår af Bilag A.

Tabel 1. Oversigt over underkriterier, som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for

Hovedkriterium	Underkriterium som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for	
	1. ordens underkriterier	2. ordens underkriterier
<b>Økonomi</b>	Teknisk usikkerhed	
<b>Miljø</b>	Jordkvalitet efter behandling:	(A) Biogeokemisk påvirkning (B) Påvirkning af terrestrisk miljø
<b>Samfund</b>	Påvirkning af arealanvendelse:	(A) Under afværge (B) Efter afværge
	Arbejdsmiljø	

### 3.2.1 Effekt

Hovedkriteriet "Effekt" beskriver oprensningseffekten af det enkelte løsningsalternativ og indtastes på ark 2 i værktøjet. Antallet af underkriterier afhænger af den faktiske forureningssituation og det formål, der er fremsat for afværgetiltaget. Værktøjet indeholder således 4 underkriterier, nemlig effekt i forhold til grundvand (alternativt overfladevand), effekt i forhold til jordmiljø, effekt i forhold til indeklima, samt effekt i forhold til arealanvendelse (kontakt med jord og øvrige eksponeringsveje).

I bæredygtighedsvurderingen medtages kun de underkriterier, som vurderes at være relevante for den pågældende lokalitet. Oprensningseffekterne opgøres som en procentvis forventet reduktion i enten masseflux, forureningsmasse eller koncentration (se Figur 4). Såfremt oprensningseffekten overfor forskellige forureningskomponenter varierer for de vurderede løsningsalternativer, kan der endvidere laves en underinddeling for de forskellige stoffer.

Effekten indtastes i excelarket som en andel. Hvis eksempelvis en afværgeløsning forventes at reducere forureningsmassen med 90% indtastes en effekt på 0.9 i det relevante felt.

1. ORDENS KRITERIUM: EFFEKT		A1	A2	A3	A4	A5
		Opravningsmetode	In situ termisk oprensning med damp	Stimuleret reaktiv deklorering	Surfactant-enhanced In situ kemisk oxidation (S-ISCO)	0
2. ORDENS KRITERIUM	Opgørelsesmetode	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi
Oprensningseffekt ift grundvand/overfladevand	Reduktion i masseflux til grundvand/overfladevand (andel)	1	0.97	0.85	0.85	1
Oprensningseffekt for jordmiljø	Reduktion i masse/koncentration (andel)	1	1	1	1	1
Oprensningseffekt ift indeklima	Reduktion i koncentration/flux til indeklima (andel)	1	1	1	1	1
Oprensningseffekt i forhold til arealanvendelse (øvrige eksponeringsveje)	Reduktion i koncentration (andel)	1	1	1	1	1

Figur 4. Inputark for EFFEKT. Såfremt et underkriterium ikke medtages sættes effekten til 1 for alle alternativer.

### 3.2.2 Økonomi

I ark 3 ØKONOMI indtastes afværgeløsningernes forventede samlede omkostninger. Derudover indgår underkriterierne "Teknisk usikkerhed" og "Modenhed af teknik". Den tekniske usikkerhed afspejler den forskel, der er i sikkerheden på forløbet af en afværgeteknik. Visse afværgeteknikker vil være meget sværere at forudsige forløbet af end andre, fordi de eksempelvis er in situ metoder, der kræver, at der opnås en god kontakt mellem forureningsstoffer og forskellige stoffer injiceret i jorden, eller de kan være styret af aktiviteten af specifikke bakterier. I sådanne tilfælde er det svært at forudsige den præcise oprensningstid. Dette forårsager en usikkerhed på tid, økonomi og miljøeffekter af metoden. I denne sammenhæng er det valgt, at den tekniske usikkerhed udelukkende giver sig udslag i en ekstra omkostning. I Boks 3 ses den foreslåede skala til vurdering af den tekniske usikkerhed samt et forslag til omregningen til en ekstra omkostning. Ekspertpanelet har givet deres bedste vurdering af en række kendte afværgemetoders tekniske usikkerheder, som der kan tages udgangspunkt i. Disse fremgår af excelværktøjet samt af Bilag A.

Underkriteriet "Modenhed af teknik" afspejler hvor klar den enkelte teknik er til implementering på den betragtede lokalitet. Boks 3 viser skalaen til vurdering af modenheden samt omregningen til en ekstra omkostning. Der er ikke

lavet nogen generel vurdering heraf, da dette afhænger meget af den specifikke situation på lokaliteten, og om der allerede foreligger forundersøgelser, treatability tests mv. for nogle af de løsningsalternativer, der undersøges.

1. ORDENS KRITERIUM: ØKONOMI			A1	A2	A3	A4	A5	0
			Opgravning	In situ terr	Stimuleret	Surfactant-		
2. ORDENS KRITERIUM	Enhed	Opgørelsesmetode	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	
Afværgeomkostninger	Mio. Kr.	Projektspecifik opgørelse, nutidsværdi	2.75	3.75	3.25	3.50		
Teknisk usikkerhed		Teknisk usikkerhed skala 1-5	2	2	4	4		
	Mio. Kr.	Teknisk usikkerhed	0.41	0.56	1.14	1.23		
Modenhed af teknik		Modenhed af teknik skala 1-5	2	3	4	5		
	Mio. Kr.	Modenhed af teknik	0.14	0.38	0.49	0.70		
Sum omkostninger inkl teknisk usikkerhed og modenhed af teknik			3.30	4.69	4.88	5.43		

Figur 5. Inputark for ØKONOMI

Teknisk usikkerhed: Vurdering på skala fra 1-5	Modenhed af teknik: Vurdering på skala fra 1-5
Vurdér den tekniske usikkerhed for hver af afværgeteknologierne. Med teknisk usikkerhed menes usikkerhed på afværgetemetodens effekt og forløb.	Vurdér modenheden for hver af afværgeteknologierne. Er teknikken klar til implementering eller kræver det flere forundersøgelser såsom treatability tests og pilotforsøg?
1 - Ingen nævneværdig usikkerhed → 0-10 % ekstra omkostninger	1 - Meget stor modenhed → 0% ekstra omkostninger
2 - Lille usikkerhed → 10-20 % ekstra omkostninger	2 - Stor modenhed → 5 % ekstra omkostninger
3 - Moderat usikkerhed → 20-30 % ekstra omkostninger	3 - Middel modenhed → 10 % ekstra omkostninger
4 - Stor usikkerhed → 30-40 % ekstra omkostninger	4 - Lav modenhed → 15 % ekstra omkostninger
5 - Meget stor usikkerhed → 40-50 % ekstra omkostninger	5 - Meget lav modenhed → 20 % ekstra omkostninger

Boks 3. Omregning fra vurdering af Teknisk usikkerhed og Modenhed af teknik til en procentvis ekstra omkostning

For afværge løsninger med en meget lang tidsramme for omkostningerne kan det overvejes at diskontere omkostningerne til en nutidsværdi. Dette er forklaret nærmere i Notat 2 (Søndergaard et al., 2014). I excelværktøjet findes et to ark "Diskontering – fast rate" og "Diskontering – diff.rate", der kan beregne en nutidsværdi baseret på indtastede årlige omkostninger samt enten en fast diskonteringsrate eller en diskonteringsrate, der varierer over tid.

### 3.2.3 Tid

Hovedkriteriet "Tid" dækker udelukkende over den tid, det tager for løsningsalternativet at opnå den forventede effekt. Der er altså tale om tidsforbruget på lokaliteten indtil forureningen er afskåret eller reduceret. Er der tale om en afgravningsløsning er det således kun tidsforbruget til afgravning på lokaliteten, der indgår og ikke tidsforbrug til at behandle jorden på et off-site behandlingscenter. Tid kan udelades som hovedkriterium, hvis der ikke er den store forskel på tidsforbruget for de sammenlignede afværgealternativer, fx hvis de alle opnår den ønskede effekt indenfor 5 år. Figur 6 viser et udsnit fra Ark 3 Tid.

1. ORDENS KRITERIUM: TID	A1	A2	A3	A4	A5	0
Opgravning In situ terr Stimuleret Surfactant-						
2. ORDENS KRITERIUM	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	
Tidsforbrug (år)	0.25	0.3	3.5	1.5		

Figur 6. Inputark for TID. I dette tilfælde varierer tidsforbruget fra 0.25 – 3.5 år og tid kan derfor udelades som hovedkriterium

### 3.2.4 Miljø

Hovedkriteriet Miljø dækker over en række afledte miljøeffekter, der er ved at rense op. Disse vurderes dels ved en livscyklusvurdering og dels ved kvalitative vurderinger.

1. ORDENS KRITERIUM: MILJØ				A1	A2	A3	A4	A5	
				Opgravning af forurenede jord	In situ termisk oprensning med damp	Stimuleret reduktiv deklorerer	Surfactant-enhanced In situ kemisk oxidation (SISCO)	In situ kemisk oxidation (SISCO)	
2. ORDENS KRITERIUM	3. ORDENS KRITERIUM	Enhed	Opgørelsesmetode	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	
Emissioner til luft og vand	Drivhusgasudledning	PE	Livscyklusvurdering (RemS)	10	24	4	5	0	
	Forsuring	PE	Livscyklusvurdering (RemS)	6	10	2	4	0	
	Eutrofiering	PE	Livscyklusvurdering (RemS)	6	6	2	3	0	
	Fotokemisk ozondannelse (smog)	PE	Livscyklusvurdering (RemS)	2	2	1	1	0	
Økotoksicitet	Persistent toksicitet	PE	Livscyklusvurdering (RemS)	77	110	21	34	0	
	Økotoksicitet	PE	Livscyklusvurdering (RemS)	203	251	50	72	0	
Affald	Affald/jord til deponering	t/PE	Projektspecifik opgørelse	370	106	57	86	0	
Ressourceforbrug	Energiressourcer	Råolie	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	29.7	51.8	15.3	13.3	0.0
		Naturgas	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	13.5	30.8	7.5	7.6	0.0
		Uran	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	55.5	73.7	20.3	42.1	0.0
		Stenkul	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	18.7	73.1	2.9	6.3	0.0
		Brunkul	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	20.7	33.4	6.6	18.5	0.0
		Aluminium	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	19.5	8.1	5.0	10.5	0.0
	Metaller	Jern	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	55.8	80.6	7.7	11.4	0.0
		Krom	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	763.8	99.6	6.6	17.4	0.0
		Nikkel	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	7028.0	1821.6	98.9	192.9	0.0
		Kobber	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	12.6	28.5	6.6	11.5	0.0
		Mangan	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	24.5	60.0	2.0	2.5	0.0
	Mineralske ressourcer	Molybdæn	PR	Livscyklusvurdering (RemS)	2080.2	5085.1	180.7	226.5	0.0
		Sand og grus, kvalitet	PR	Livscyklusvurdering (RemS)/Projek	244.4	2.0	25.0	26.3	0
		Sand og grus, ej kvalitet	PR	Livscyklusvurdering (RemS)/Projek	0	0	0	0	0
	Jordkvalitet efter oprensning	Biogeokemisk påvirkning af oprenset jord/grundvand	-	Skala 1-5 (se forklaring nedenfor)	3.3	3.8	2.8	4.0	
	(Se forklaring nedenfor)	Påvirkning af terrestrisk miljø på oprenset lokalitet	-	Skala 1-5 (se forklaring nedenfor)	4.2	3.9	1.8	2.2	

Figur 7. Inputark for MILJØ

#### Livscyklusvurdering (emissioner til luft og vand, økotoksicitet og ressourceforbrug)

Hovedkriteriet Miljø indeholder 5 underkriterier (se Figur 7), hvoraf de 3 opgøres vha. LCA (emissioner til luft og vand, økotoksicitet og ressourceforbrug). I LCA'en opgøres samtlige ressourceforbrug og emissioner foranlediget af afværgeprojektet både under selve udførelsen af afværgeren, men også under produktion af materialer og kemikalier, der indgår i afværgeprojektet.

*Emissioner til luft og vand* er en samlebetegnelse for udledning af drivhusgasser (global opvarmning), udledning af forsurende forbindelser, udledning af næringssalte (eutrofiering) samt udledning af opløsningsmidler og uforbrændte organiske forbindelser (fotokemisk ozondannelse). *Økotoksicitet* omfatter udledning af en lang række stoffer, der er giftige for dyr og planter. *Ressourceforbrug* omfatter brugen af ikke-fornyelige eller langsomt fornyelige ressourcer, herunder metaller, energiressourcer og ren jord.

LCA'en kan med fordel foretages i værktøjet RemS (Weber et al., 2010), der er et forenklet LCA-værktøj dedikeret til vurdering af afværgeteknikker. De normalserede miljøeffekter, opgjort i personækvivalenter (PE), kopieres fra RemS ind på arket Miljø i de markerede områder. Det samme gøres for de vægtede ressourceforbrug opgjort i personresserver (PR) (se Figur 8). Ressourceforbrugene er vægtet i forhold til den enkelte ressources forsyningshorisont, således at ressourcer med en lille forsyningshorisont vægtes højere end ressourcer med en lang forsyningshorisont.

Udførelse af livscyklusvurdering med RemS kan foretages med relativt få data, da programmet allerede har foruddefinerede forbrug af materialer, energi, transport mv. for en række af de mest benyttede afværgeteknikker i Danmark. Såfremt der er mere specifik viden om udførelsen af de enkelte afværgeteknikker bør der dog laves manuelle ændringer/tilføjelser i RemS.

Som alternativ til RemS kan også andre livscyklusvurderingsværktøjer benyttes.

Input fra Livscyklusvurdering i RemS - MILJØPÅVIRKNINGER (EDIP97)						
Værdierne kopieres fra RemS, ark 5, kolonne EG ud for de relevante teknikker						
LCA INPUT	A1	A2	A3	A4	A5	
Indikator (PE)	Opgravning af for In situ termisk op Stimuleret redukt Surfactant-enhan					0
Global opvarmning	10.22	23.69	4.28	4.96		
Forsuring	6.30	9.87	2.42	3.93		
Fotokemisk ozon	2.04	2.30	0.96	0.91		
Nærings saltbelastning	5.53	6.34	2.12	2.64		
Persistent toksicitet	77.01	110.19	21.22	33.70		
Økotoksicitet	203.24	250.99	50.34	71.52		
Human toksicitet	15.47	11.08	8.32	7.82		
Fast affald	301.35	7.57	31.45	32.71		
Farligt affald	0.68	5.82	0.40	0.41		
Radioaktivt affald	67.85	92.00	25.06	53.14		
Slagge/aske	0.45	0.58	0.05	0.17		

Input fra Livscyklusvurdering i RemS - RESSOURCEFORBRUG (EDI97)					
Værdierne kopieres fra RemS, ark 5, kolonne CC ud for de relevante teknikker					
Indicator (PR)	A1	A2	A3	A4	A5
Råolie	29.70	51.81	15.26	13.28	
Naturgas	13.51	30.75	7.53	7.56	
Uran	55.54	73.66	20.32	42.11	
Stenkul	18.66	73.15	2.87	6.26	
Brunkul	20.68	33.37	6.64	18.49	
Aluminium	19.51	8.12	5.02	10.49	
Jern	55.84	80.56	7.65	11.42	
Krom	763.75	99.57	6.61	17.43	
Nikkel	7027.98	1821.60	98.89	192.94	
Kobber	12.61	28.46	6.63	11.49	
Mangan	24.54	60.03	2.01	2.50	
Molybdæn	2080.16	5085.14	180.70	226.48	
Sand/grus	244.43	1.96	25.01	26.29	

Figur 8. Resultater fra livscyklusvurdering i RemS indtastes i arket MILJØ

### Affald

Underkriteriet "Affald" dækker over affald til deponering fra den enkelte afværgeløsning. Denne underkategori kan enten opgøres i LCA'en eller kan vurderes mere simpelt ved blot at medtage affald genereret direkte ved afværgeprojektet. Det er især mængden af jord til deponering, som vil give stort udslag i denne kategori, da der typisk er tale om meget store mængder jord. Såfremt LCA-værktøjet RemS anvendes vil der her blive opgjort 4 affaldskategorier i enheden PE. Disse summeres til en samlet affaldsmængde i værktøjet. Bemærk, at der i RemS automatisk antages, at halvdelen af den afgravede jord vil blive sendt til deponering efter rensning. Såfremt det i realiteten er 100% eller 0% der sendes til deponering, bør dette rettes manuelt. Dette er forklaret nærmere i arket Miljø i værktøjet.

### Jordkvalitet efter oprensning

Underkriteriet "Jordkvalitet efter oprensning" dækker dels over den lokale påvirkning der er på den jord, der oprenses. Kriteriet er opdelt i to andenordens underkriterier, nemlig den biogeokemiske påvirkning af jorden og påvirkningen af det terrestriske miljø (dyr og planter i topjord og på jordoverfladen) på lokaliteten. Disse to kriterier vurderes på en skala fra 1-5, se Boks 4.

Ekspertpanelets vurderinger af underkriteriet Jordkvalitet efter oprensning ses i Bilag A. Disse kan anvendes som udgangspunkt i vurderingen. Det skal bemærkes, at ekspertpanelet har vurderet den biogeokemiske påvirkning i forbindelse med afgravning relativt højt (en gennemsnitlig score på 3,3). Her er det dog vigtigt at bemærke, at der netop for afgravning er stor standardafvigelse på besvarelserne, idet halvdelen af respondenterne har givet en score på 2 og den anden halvdel har givet en score på 4 eller 5. De høje scorer kan skyldes en vurdering af, at det vil ændre de lokale jordforhold betydeligt at tilføre fyldjord fremfor naturligt aflejret jord, som en af respondenterne har

noteret. Alternativt kan det skyldes en antagelse om, at den rensede jord tilbagefyldes. En anden begrundelse kan være, at der måske har været usikkerhed om, hvorvidt den biogeokemiske påvirkning vurderes udelukkende for lokaliteten, eller om den også vurderes for eventuelle behandlings- og deponeringsarealer, hvilket ikke har været tiltænkt. Grundet den store afvigelse på ekspertpanelets svar for teknikken afgravning, anbefales det at dette underkriterium altid vurderes specifikt for lokaliteten.

Jordkvalitet efter oprensning: Vurdering på skala fra 1 til 5	
<b>A) Biogeokemisk påvirkning af oprenset jord/grundvand på lokaliteten</b>	
Påvirkningerne skyldes alene de indgreb, der følger af afværgeren. Forureningens påvirkning i sig selv skal ikke inkluderes i vurderingen. Vurdér afværgeteknologiernes biogeokemiske påvirkning (ændring af pH, redoxforhold, vandindhold, organisk indhold) af jorden/grundvandet, der renses op grundet fx kemikalietilsætning og temperaturændring. Såfremt der sker en opgravning af jorden og efterfølgende tilførsel af ren jord, er det den påvirkning der er ved at udskifte den naturligt aflejrede jord med fyldjord, der vurderes.	
<b>B) Påvirkning af terrestrisk miljø på oprenset lokalitet</b>	
Vurdér afværgeteknologiens negative påvirkning af det terrestriske miljø på, og i umiddelbar nærhed af, den forurenede grund. Med det terrestriske miljø menes land- og jordlevende planter og dyr, herunder fx regnorme, mus, svampe, græs, urter, buske og træer.	
Påvirkninger skyldes afledte effekter i jordmiljøet i de øverste jordlag (ca. ½ meter) som fx udtørring, kemisk påvirkning eller bortgravning af jord.	
<b>A og B vurderes på følgende skala:</b>	
1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning	
2 - Lille negativ påvirkning	
3 - Moderat negativ påvirkning	
4 - Stor negativ påvirkning	
5 - Meget stor negativ påvirkning	

Boks 4. Skala til vurdering af jordkvalitet efter oprensning

### 3.2.5 Samfund

Hovedkriteriet "Samfund" er opdelt i fem underkriterier, henholdsvis "Påvirkning af beboere/naboer", "Påvirkning af arealanvendelse", "Sundhedseffekter grundet afværge", "Arbejds miljø for afværgeaktiviteter" og "Kultur og omdømme". Inputarket for Samfund er vist i Figur 9.

1. ORDENS KRITERIUM: SAMFUND					A1	A2	A3	A4
					Opgravning af forurenede jord	In situ termisk oprensning med damp	Stimuleret reduktiv deklorerende	Surfactant-enhanced In situ kemisk oxidation (SISCO)
2. ORDENS KRITERIUM	3. ORDENS KRITERIUM	Enhed	Opgørelsesmetode	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi
Gener for beboere/naboer	Tidsramme for afværge	År	Skala 1-5	0.25	0.3	3.5	1.5	
	Grad af gener - afværge			4.8	4.3	2.4	3.0	
Påvirkning af arealanvendelse	Under afværge		Skala 1-5	Kriterie anvendes ikke				
	Efter afværge		Skala 1-5	Kriterie anvendes ikke				
Sundhedseffekter grundet afværge	Humantoksicitet	PE	Livscyklusvurdering (RemS)	15	11	8	8	
Arbejds miljø for afværgeaktiviteter	På lokalitet		Skala 1-5	3.8	4.0	2.0	3.8	
	Off-site		Skala 1-5	Samlet vurdering anvendt				
	Transport		Skala 1-5	Samlet vurdering anvendt				
Kultur og omdømme	Påvirkning af landskabstyper/kultur minder		Skala 1-5	Kriterie anvendes ikke				
	Påvirkning af renommé af område		Skala 1-5	3	3	3	3	

Figur 9. Inputark for SAMFUND

#### Påvirkning af beboere/naboer og påvirkning af arealanvendelse

Kriteriet "Påvirkning af beboere/naboer" inkluderer gener oplevet af beboere og naboer til grunden der oprenses, og omfatter støj, støv, vibrationer og lignende. Kriteriet har to underkriterier, dels tidsrammen for afværgeren og dels

omfanget/graden af påvirkningen. Scoren for disse to underkriterier multipliceres for at vurdere den samlede grad af gener. Såfremt der ikke findes beboere eller naboer til den oprensede grund kan kriteriet ”Påvirkning af arealanvendelse” i stedet anvendes. Dette vil være relevant for rekreative områder, hvor der under afværgeren kan være restriktioner på færdsel, afspærrede områder samt gener i form af støj, støv mv. For begge disse underkriterier er der tale om vurderinger af påvirkningernes omfang på en skala fra 1-5. Skalaerne til disse vurderinger er beskrevet i Boks 5. For kriteriet ”Påvirkning af arealanvendelse” har ekspertpanelet lavet en generel vurdering, som der kan tages udgangspunkt i. Denne fremgår af værktøjet samt Bilag A.

Påvirkning af arealanvendelse: Vurdering på skala fra 1-5	Gener for beboere/naboer: Vurdering på skala fra 1-5
<p><b>A) Under afværge</b> Vurdér afværgeteknologiernes påvirkning af arealanvendelsen på den grund der renses op UNDER AFVÆRGE. I hvor høj grad sker der afspærring, som hindrer færdsel på området grundet installationer, indhegning mv. samt gener i form af støj, støv og lign.</p> <p><b>B) Efter afværge</b> Vurdér afværgeteknologiernes påvirkning af arealanvendelsen på den grund der renses op EFTER AFVÆRGE. Er der restriktioner for anvendelse af grunden fx nedsatte geotekniske egenskaber eller restriktioner på arealanvendelsen.</p> <p><b>SKALA TIL VURDERINGER</b></p> <p>1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning</p> <p>2 - Lille negativ påvirkning</p> <p>3 - Moderat negativ påvirkning</p> <p>4 - Stor negativ påvirkning</p> <p>5 - Meget stor negativ påvirkning</p>	<p><b>Grad af gener – afværge</b> Vurdér afværgeteknologiernes niveau af gener for beboere/naboer/nabolag til grunden der renses op mens afværgeren står på (støj, vibrationer, støv, tung trafik, fysiske gener og æstetiske gener grundet installationer).</p> <p>Teknikkerne holdes op imod hinanden udelukkende i forhold til graden af gener. Tidsforbruget til den enkelte afværgemetode skal ikke tages i regning.</p> <p><b>SKALA TIL VURDERINGER</b></p> <p>1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning</p> <p>2 - Lille negativ påvirkning</p> <p>3 - Moderat negativ påvirkning</p> <p>4 - Stor negativ påvirkning</p> <p>5 - Meget stor negativ påvirkning</p>

Boks 5. Skala til vurdering af underkriterierne Påvirkning af arealanvendelse og Gener for beboere/naboer

### Sundhedseffekter grundet afværge

Kriteriet ”Sundhedseffekter grundet afværge” dækker over de sundhedsmæssige påvirkninger, der genereres på grund af toksiske emissioner relateret til afværgeaktiviteternes livscyklus, og opgøres ved livscyklusvurderingen, som også bidrager med input til opgørelsen af miljøeffekter. De fulde resultater fra livscyklusvurderingen indsættes på arket MILJØ og herfra overføres de relevante påvirkninger automatisk til arket SAMFUND.

### Arbejds miljø for afværgeaktiviteter

”Arbejds miljø for afværgeaktiviteter” indeholder en vurdering af de risici, der er forbundet med afværgeteknikken, både på lokaliteten, under transport og ved off-site aktiviteter. Det kan også vælges, at dele denne vurdering op i 3 underpunkter således at arbejdsmiljørisici vurderes enkeltvis for on-site aktiviteter, off-site aktiviteter og transport. Ekspertpanelet har lavet en generel vurdering af arbejdsmiljøpåvirkninger, som der kan tages udgangspunkt i. Disse vurderinger fremgår af excelværktøjet samt af Bilag A.



Arbejds miljø: Vurdering på skala fra 1-5
Vurdér graden af potentielle arbejdsmiljøpåvirkninger for arbejdere på lokaliteten under afværge. Der ses på den samlede potentielle arbejdsmiljørisici forbundet med etablering, drift og monitorering af afværgeanlæg.
For teknikker med off-site behandling/og eller transport af jord inkluderes arbejdsmiljøpåvirkninger på lokalitet såvel som off-site
<b>SKALA TIL VURDERINGER</b>
1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning
2 - Lille negativ påvirkning
3 - Moderat negativ påvirkning
4 - Stor negativ påvirkning
5 - Meget stor negativ påvirkning

Boks 6. Skala til vurdering af underkriteriet Arbejds miljø

### Kultur og omdømme

Det sidste underkriterium "kultur og omdømme" omhandler dels en vurdering af afværgeløsningens positive indvirkning på lokalområdets renommé, og dels afværgeprojektets negative påvirkning af bygninger/områder af historisk eller kulturel værdi. Såfremt der ikke er nogle relevante kulturminde i området, udgår denne del af kriteriet. I denne forbindelse skal det bemærkes, at kriteriet "Påvirkning af renommé" omhandler områdets generelle forhistorie i forhold til forureningens påvirkning af områdets popularitet og rygte, og hvordan en afværgeindsats vil påvirke dette. Skalaer for vurdering af de to underkriterier fremgår af Boks 7.

Påvirkning af renommé: Vurdering på skala fra 1-5	Påvirkning af kulturmiljø: Vurdering på skala fra 1-5
Vurdér graden af afværgeløsningens positive påvirkning af lokalområdets renommé i forhold til den nuværende situation som følge af behandlingen.	Vurdér graden af negative påvirkninger overfor kulturmiljøet i området, herunder påvirkninger af kulturminde og landskabstyper.
<b>SKALA TIL VURDERINGER</b>	<b>SKALA TIL VURDERINGER</b>
1 - Meget stor positiv påvirkning	1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning
2 - Stor positiv påvirkning	2 - Lille negativ påvirkning
3 - Moderat positiv påvirkning	3 - Moderat negativ påvirkning
4 - Lille positiv påvirkning	4 - Stor negativ påvirkning
5 - Ingen nævneværdig positiv påvirkning	5 - Meget stor negativ påvirkning

Boks 7. Skala til vurdering af underkriterierne Påvirkning af renommé og Påvirkning af kulturmiljø

### Interessentinddragelse i vurdering af samfundspåvirkninger

Såfremt det vurderes relevant, kan det overvejes at inddrage interessenter i vurderingen af visse af kriterierne under Samfund, idet interessenternes vurdering af "Påvirkning af renommé" og "Gener for beboere/naboer" kan give et værdifuldt input til den endelige vurdering af disse kriterier. Denne interessentinddragelse kan ske i forbindelse med at interessenterne også deltager i en workshop til vurdering af kriteriernes vigtighed. Dette er beskrevet nærmere i afsnit 3.4.2.

### 3.3 Trin 3: Normalisering og vægtning af scorer

#### 3.3.1 Normalisering af scorer

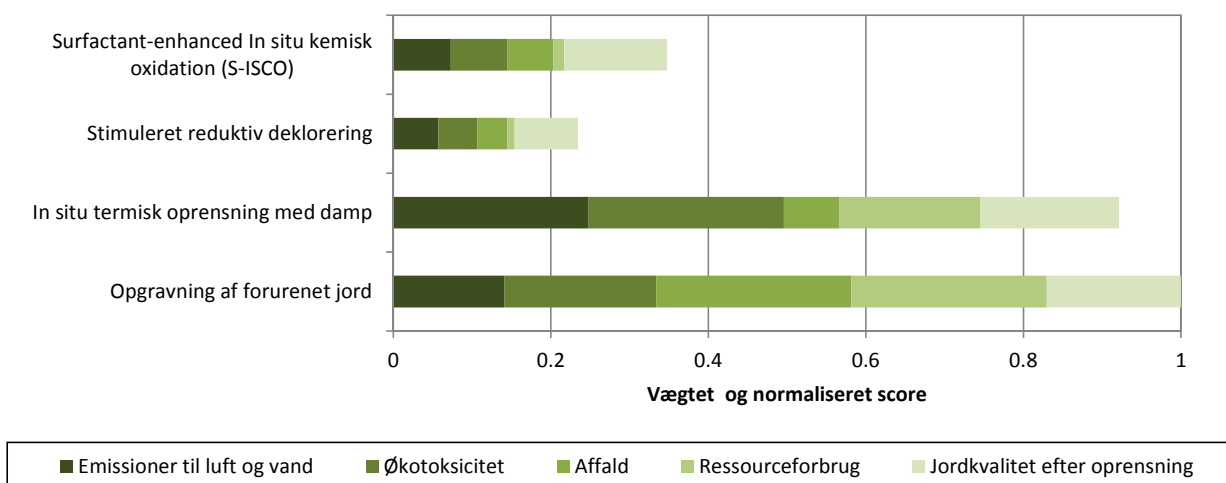
De opnåede scorer i Trin 2 indenfor hovedkriterierne Effekt, Økonomi, Tid, Miljø og Samfund skal normaliseres til værdier mellem 0 og 1. Dette gøres semi-automatisk i excelværktøjet ud fra følgende princip:

- Der sker en normalisering af de opnåede scorer for hovedkriterierne. For Miljø og Samfund sker der desuden en normalisering af underkriterierne.
- Scoren 0 gives såfremt der ingen påvirkning er indenfor det pågældende kriterium. For de underkriterier, der vurderes kvalitativt på en skala fra 1-5, betegner 1 typisk, at der ingen væsentlig påvirkning er. I dette tilfælde opnås scoren 0 for det pågældende underkriterium
- Scoren 1 gives typisk til det afværgealternativ, der klarer sig dårligst på det pågældende kriterium. Der er dog visse undtagelser:
  - For underkriterier, der er vurderet kvalitativt på en skala fra 1-5, normaliseres der i forhold til den dårligst mulige score også selvom denne ikke opnås af nogen af alternativene.
  - For hovedkriteriet TID foreslås det at normalisere i forhold til 30 år.
  - For underkriteriet "affald til deponi" vil det typisk være et afgravningsalternativ med efterfølgende deponering af jord, der potentielt kan give den største mængde affald (jord) til deponi. Såfremt et afgravningsalternativ ikke medtages bør der alligevel normaliseres til den mængde jord, der i givet fald skulle deponeres.
- For præstationer indimellem yderpunkterne laves en lineær interpolation til en værdi mellem 0 og 1.

Normaliseringen af hovedkriteriet TID er eksemplificeret i Figur 10. På baggrund af de normaliserede værdier genereres desuden en grafisk visning af resultaterne for hvert hovedkriterium, hvor bidraget fra de enkelte underkriterier kan ses. Disse grafer findes yderst til højre i Ark 2-6. Et eksempel er vist i Figur 10 for hovedkriteriet Miljø.

1. ORDENS KRITERIUM: TID	Tidsforbrug (ej normaliseret)					Normaliserede scorer				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
2. ORDENS KRITERIUM	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	Værdi	Score (0-1)	Score (0-1)	Score (0-1)	Score (0-1)	Score (0-1)
Tidsforbrug (år)	0.25	0.3	3.5	1.5		0.008	0.01	0.117	0.05	
	Normalisering: Score = 1		Score = 0	hældning (a)		Score (y = ax)				
			30	0		0.033				

Figur 10. I figuren ses et eksempel på normalisering af tidsforbruget. Den dårligste score (score =1) gives ved et tidsforbrug på 30 år, mens den bedste score (score = 0) gives ved et tidsforbrug på 0 år. Imellem disse yderpunkter beregnes den normaliserede score ved lineær interpolation



Figur 11. Eksempel på visning af de normaliserede scorer for hovedkriteriet MILJØ. Såfremt der på Ark 1 er indtastet vægte for underkriterierne vil disse være vægtes. Alternativt vægtes de lige i beregningen af den samlede normaliserede score.

Som nævnt ovenfor foregår normaliseringen semi-automatisk. I visse tilfælde er der nemlig behov for manuelle justeringer. Dette er tilfældet i følgende situationer:

- Såfremt kriteriet arbejdsmiljø opdeles i 3 underkriterier. I så fald følges vejledningen på arket SAMFUND.
- Såfremt begge underkriterier under Kultur og renommé medtages. I så fald følges vejledningen på arket SAMFUND.
- Såfremt der tilføjes nye underkriterier

### 3.3.2 Vægtning af scorer

Der sker en summering af afværgealternativernes normaliserede scorer. Under denne summering tages højde for vigtigheden af de enkelte kriterier, idet de multipliceres med en vægt  $w_i$ , som beskrevet i Ligning 1.

Der kan anvendes forskellige fremgangsmåder til at fastsætte disse vægte:

- Lige vægtning. Alle kriterier vægtes ens
- Vægtning udarbejdet af et interessentpanel, der repræsenterer alle grupperinger af interessenter for den specifikke lokalitet
- Politisk/administrativ vægtning udarbejdet af beslutningstagere

Et interessentpanel bør, som beskrevet i Søndergaard et al., 2014 (Notat 2) repræsentere alle relevante grupperinger af interessenter på alle relevante niveauer (lokale, regionale og nationale) for den pågældende lokalitet. Fordelen ved at inddrage interessenter i vægtningsprocessen, er at beslutninger opnået ved konsensus forventes at føre til bedre og mere holdbare beslutninger. Derudover sikres på denne vis, at der efterfølgende er opbakning til beslutningen.

I det følgende beskrives kort, hvorledes vægte kan udvikles under en fælles beslutningsproces, som kan involvere interessenter, idet der henvises til Søndergaard et al. 2014 (Notat 2) for en mere detaljeret gennemgang af interessenttyper og vægtningsmetoder.

De endelige vægte for hoved- og underkriterier indtastes i arket "Scenarier og vægte", se Figur 12. Bemærk, at hvis et scenarium ikke inkluderes i vurderingen gives det vægten nul. Vægte bør som minimum fastsættes for hovedkriterierne. Derudover kan det vælges også at fastsætte specifikke vægte for underkriterierne under Miljø og Samfund. Såfremt der ikke indtastes specifikke vægte for disse underkriterier vil de blive vægtet lige.

Vægte for hovedkriterier. Vægtene skal summere til 1	
Kriterium	Vægt
EFFEKT	0.25
ØKONOMI	0.25
TID	0
MILJØ	0.25
SAMFUND	0.25

Vægte for underkriterier (MILJØ). Vægtene skal summere til 1	
Kriterium	Vægt
Emissioner til luft og vand	0.2
Økotoksicitet	0.2
Affald til deponi	0.2
Ressourcer	0.2
Lokal jordkvalitet	0.2

Vægte for underkriterier (SAMFUND). Vægtene skal summere til 1	
Kriterium	Vægt
Gener for beboere/naboer	0.25
Påvirkning af arealanvendelse	0
Sundhedseffekter	0.25
Arbejds miljø	0.25
Kultur og omdømme	0.25

Figur 12. De anvendte vægte indtastes i arket "Scenarier og vægte". Såfremt et kriterium ikke anvendes sættes vægten til nul.

### Simpel vægtning

Ved den simple vægtning skal gruppen komme til enighed om en rangering af kriterierne i forhold til deres vigtighed. Der er tale om en simpel rangering af hovedkriterierne fra 1-5 (eller 1-4, hvis Tid udelades som hovedkriterium). Baseret på denne rangering beregnes en vægt for hver af kriterierne jf. den uddybende beskrivelse af metoden i Søndergaard et al. (2014). Dette kan gøres i excelværktøjet "Bæredygtig afværge – vægtning". Metoden kan endvidere anvendes for underkriterierne under Samfund og Miljø.

### Detaljeret vægtning

Som alternativ til den simple vægtning kan der laves en mere detaljeret vægtning kaldet *Analytical Hierarchy Process* (AHP) jf. Søndergaard et al. (2014). Her skal gruppen foretage en parvis systematisk sammenligning af kriterierne og vurdere deres relative vigtighed på en skala fra 1 til 9, hvor 1 svarer til "ens vigtighed" og 9 betyder, at det ene kriterium er stærkt vigtigere end det andet. Denne vægtningsmetode giver mulighed for at lave en mere nuanceret vurdering af kriteriernes vigtighed, idet det er muligt at give kriterierne samme vigtighed, samt at uddybe forskelle i vigtighed. Vægtningen foretages i praksis ved at der udfyldes en N x N matrix, hvor N svarer til antallet af kriterier, der skal sammenlignes. Vurderingsskalaen anvendt i AHP samt omregningen til vægte er forklaret i Boks 8 herunder. Beregningen kan foretages i excelværktøjet "Bæredygtig afværge – vægtning".

**Analytical hierarchy process (AHP)**

Det ønskes at udvikle vægte vha. AHP for en lineær additiv model (Ligning 1), der indeholder de 3 kriterier C1, C2 og C3. Kriterierne stilles op i en 3x3 matrix og en parvis sammenligning af vigtigheden af dem foretages ved brug af følgende skala:

**Hvor vigtig er C1 i forhold til C2?**

- 1: Lige præference/lige vigtigt
  - 3: Svag præference/svagt vigtigere
  - 5: Moderat præference/moderat vigtigere
  - 7: Stærk præference/stærkt vigtigere
  - 9: Meget stærk præference/meget stærkt vigtigere
- 2, 4, 6 og 8 beskriver kompromisser mellem de ovennævnte

**Udvikling af vægte**

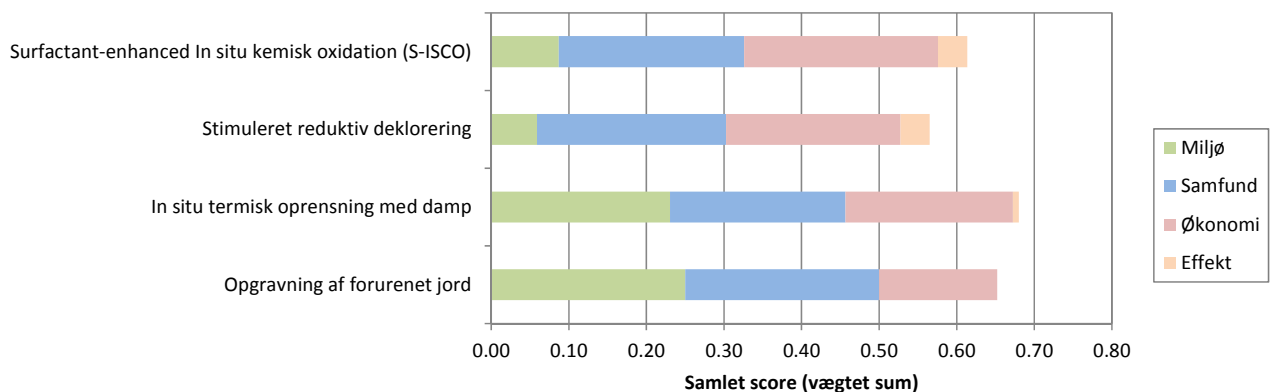
Matricen ufyldes ved at sammenligne to kriterier ad gangen. Bemærk at diagonalen altid vil bestå af 1-taller og at tallene under diagonalen (markeret med grå) kan beregnes direkte som den reciprokke værdi af tallene over diagonalen. Det geometriske gennemsnit (den n'te rod af tallene ganget sammen) beregnes for hver række. Vægten,  $w_i$ , for hvert kriterium findes ved at dividere det geometriske gennemsnit med summen af de 3 geometriske gennemsnit:

	C1	C2	C3	Geometrisk gen.snit:	$w_i$ :
C1	1	5	9	$(1 \cdot 5 \cdot 9)^{1/3} = 3.5568$	0.751
C2	1/5	1	3	$(1/5 \cdot 1 \cdot 3)^{1/3} = 0.8435$	0.178
C3	1/9	1/3	1	$(1/9 \cdot 1/3 \cdot 1)^{1/3} = 0.3333$	0.070
Sum				4.7335	1.0

Boks 8. Eksempel på udvikling af vægte ved hjælp af Analytical Hierarchy Process (AHP)

**3.4 Trin 4: Fortolkning af resultater**

I arket RESULTATER beregner værktøjet den samlede vægtede score for hvert afværgealternativ og afbilder resultatet grafisk, se eksempel i Figur 13. Udover det vægtede resultat vises også resultatet med lige vægtning af hovedkriterierne. Det løsningsalternativ, der samlet set opnår den laveste vægtede score, vil være det, der vurderes at være mest bæredygtig. Som nævnt i indledningen er der tale om en relativ vurdering af bæredygtighed. Dvs. fremgangsmåden kan anvendes til at vurdere om et løsningsalternativ er mere bæredygtig end et andet. Den kan ikke anvendes til at vurdere om en given afværgeteknik er bæredygtig i sig selv. Udover at give en samlet bæredygtighedsscore, viser resultatet af bæredygtighedsvurderingen også hvorledes det enkelte alternativ klarer sig indenfor det enkelte hovedkriterium jf. Figur 13. Dette giver en god basis for at sammenligne fordele og ulemper for de potentielle afværge løsninger.



Figur 13. Eksempel på resultatvisning i arket Resultater.

**3.5.1 Stærk og svag bæredygtighed**

Det løsningsalternativ som samlet set opnår den laveste bæredygtighedsscore, vil være det mest bæredygtige af de sammenlignede alternativer. Der kan i denne forbindelse skelnes mellem stærk og svag bæredygtighed (Rosen et al.,

2009). Svag bæredygtighed er kendetegnet ved, at et løsningsalternativ kompenserer for dårlige scorer på visse kriterier ved klare sig godt på andre kriterier. Dermed kan alternativet, samlet set, stadig opnå den laveste bæredygtighedsscore på trods af, at det fx har højere miljøpåvirkninger end de resterende alternativer. Ved stærk bæredygtighed vil alternativet derimod klare sig relativt godt på alle kriterier, og det vil derfor være lettere at drage en entydig konklusion på bæredygtighedsvurderingen.

## 4 Konklusion

I denne manual er der givet en trin-for-trin vejledning til at vurdere bæredygtigheden af to eller flere afværgemuligheder ved hjælp af en multikriterievurderingsmetode opsat i excelværktøjet "Bæredygtig Afværge". Det skal bemærkes, at metoden ikke kan anvendes til at vurdere, om en løsning er bæredygtig i absolut forstand, eller til at vurdere, om det er bæredygtigt overhovedet at afværge den pågældende grund. Metodens styrke ligger i, at den synliggør baggrunden for beslutningen om valg af afværgemetode, idet den ikke kun siger noget om den samlede bæredygtighed af en afværgeløsning i forhold til de andre alternativer, men også hvordan den klarer sig indenfor de enkelte hovedkriterier.

I vurderingen kan indgå vægte for de vurderede kriterier, som er udviklet under deltagelse af et interessentpanel. Inddragelse af interessenter i en beslutningsproces vil ofte føre til mere effektive og holdbare beslutninger, idet interessenterne på denne måde kan udtrykke hvilke løsninger, der vil tilføre værdi til det omgivende samfund.

Resultatet af bæredygtighedsvurderingen giver et værdifuldt overblik over løsningsalternativernes fordele og ulemper og relative bæredygtighed, som kan anvendes i den efterfølgende administrative og politiske proces. I den sidste ende vil det dog være op til den/de endelige beslutningstagere, hvorledes de ønsker at anvende resultatet af vurderingen, idet der kan være andre forhold, fx økonomiske begrænsninger, der spiller ind i beslutningsprocessen, og som giver anledning til en anden vægtning af kriterierne.

## 5 Referencer

- Lemming, G., Bjerg, P.L. (2013). Interessentworkshop om Høfde 42 afholdt 14. november 2013. Notat udarbejdet af Gitte Lemming og Poul L. Bjerg. DTU Miljø. December 2013.
- Lemming, G., Binning, P.J., Bjerg, P.L (2014). Bæredygtighedsvurdering af løsningsalternativer for kemikaliedepotet ved Høfde 42. Notat 3. DTU Miljø. Juli 2014.
- Lemming, G., Binning, P.J., Bjerg, P.L (2011). Bæredygtighed af afværgemetoder. Litteraturstudium. Notat 1. DTU Miljø 2011
- Rosén, L., Back, P.-E., Söderqvist, T., Soutukorva, Å., Brodd, P. og Grahn, L. (2009). Multikriterieanalys (MKA) för hållbar efterbehandling av förorenade områden. Metodutveckling och exempel på tillämpning. Naturvårdsverket. Rapport 5891. Februari 2009.
- Søndergaard, G.L., Binning, P.J., Bjerg, P.L. (2014). Multikriterieværktøj til sammenligning af bæredygtigheden af afværgeteknikker for en forurenede grund. Notat 2. DTU Miljø. November 2014.
- Weber, K., Wodschow, N., Lemming, G. 2010. RemS. Beslutningsstøttværktøj for valg af afværgestrategi overfor jord- og grundvandsforureninger. Remediation Strategy for Soil and Groundwater Pollution - RemS. Udarbejdet for Region Hovedstaden, Videncenter for Jordforurening og Miljøstyrelsen. Version 1.8. Juni 2010.



## Bilag A – Ekspertpanelets vurderinger

Et ekspertpanel bestående af 9 enkeltpersoner samt en gruppe har taget foretaget en generel vurdering af påvirkningen fra en række gængse afværgeteknikker i forhold til en række kriterier, som vurderes kvalitativt i værktøjet (se tabel A1). De vurderede afværgeteknikker fremgår af tabel A2.

Hovedkriterium	Underkriterium som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for	
	2. ordens underkriterier	3. ordens underkriterier
<b>Økonomi</b>	Teknisk usikkerhed	
<b>Miljø</b>	Jordkvalitet efter behandling:	(A) Biogeokemisk påvirkning (B) Påvirkning af terrestrisk miljø
<b>Samfund</b>	Påvirkning af arealanvendelse	(A) Under afværge (B) Efter afværge
	Arbejdsmiljø	

Tabel A1. Oversigt over kriterier som ekspertpanel har lavet vurdering for

Liste af afværgeteknologier som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for
<b>Fysiske metoder</b>
Oppumpning og on-site behandling i aktivt kulfilter (Pump and treat)
Indeslutning (fx med stålspons eller slurrywall)
Termisk oprensning (damp, ledningsevne, modstandsoptørring, radiobølger)
Afgravning og off-site behandling (mileudlægning)
Vakuumentiluftning (soil vapor extraction) eller 2-fase ekstraktion (dual phase extraction)
<b>Kemiske metoder</b>
In situ basisk hydrolyse ved tilsætning af natriumhydroxid og on-site eller off-site vandrensning
In situ kemisk oxidation (generel vurdering)
<i>Diverse typer af kemisk oxidation:</i>
In situ kemisk oxidation (Permanganat)
In situ kemisk oxidation (Persulfat)
In situ kemisk oxidation (Fenton's)
In situ kemisk oxidation (Ozon)
In situ kemisk oxidation (S-ISCO: Surfactant + persulfat + hydrogenperoxid + katalysator tilsættes)
Forceret udvaskning med overfladeaktive stoffer (Surfactant flushing)
Soil mixing med nulvalent jern
Permeabel reaktiv væg med nulvalent jern
<b>Biologiske metoder</b>
Stimuleret biologisk nedbrydning (bioaugmentation og evt. substrat- og næringsstofftilsætning)
Moniteret naturlig nedbrydning
Phytooprensning

Tabel A2. Afværgeteknologier inkluderet i ekspertpanelts generelle vurderinger

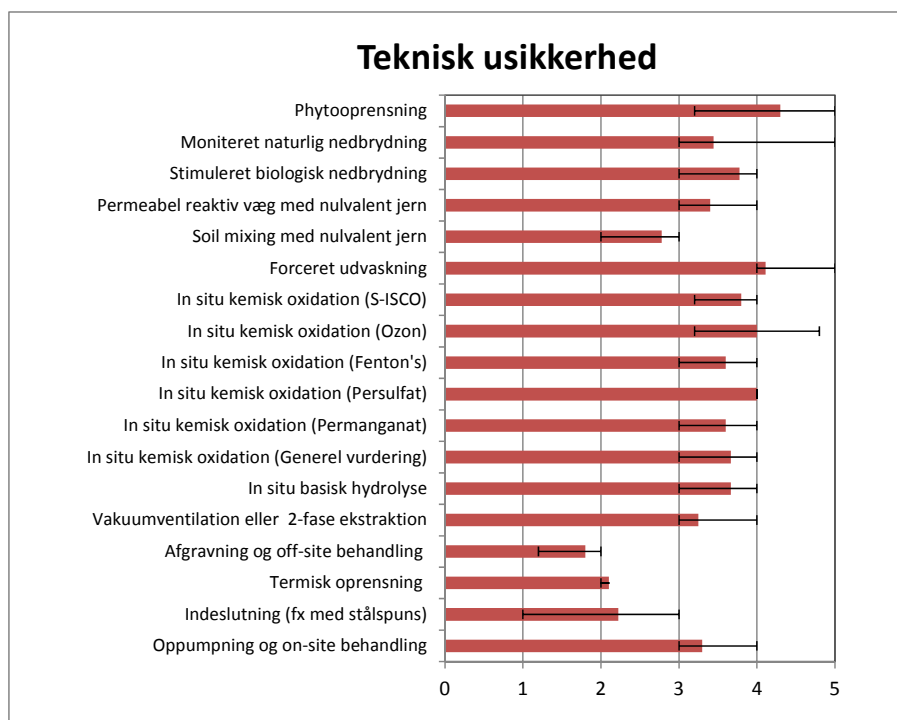
Ekspertpanelet består af repræsentanter fra rådgivende ingeniørfirmaer, regionsmedarbejdere og entreprenører (se Tabel A3). Såfremt der var teknikker som personen/gruppen ikke havde baggrund for at vurdere, blev de bedt om at undlade at besvare spørgeskemaet for de pågældende teknikker. For kemisk oxidation var det muligt at lave en generel vurdering af denne teknik og såfremt man havde større erfaring med denne afværgeteknik, kunne man vælge at lave en vurdering for 5 specifikke typer kemisk oxidation (forskellige oxidationsmidler), hvilket cirka halvdelen af respondenterne gjorde.

Oversigt over respondenter i spørgeskemaundersøgelsen
Mads Terkelsen, Region Hovedstaden
Thomas Larsen, Orbicon
Lars Bennedsen, Rambøll
Torben Jørgensen, Cowi
Maiken Faurbye, Krüger
Kim R. Jensen, Arkil
Loren Ramsey, Niras
Mette Christophersen, Rambøll
Per Loll, DMR
Region Syddanmark – afværgeteamet

Tabel A2. Ekspertpanelets sammensætning

### A1. Ekspertpanelets vurdering af teknisk usikkerhed (Hovedkriterium Økonomi)

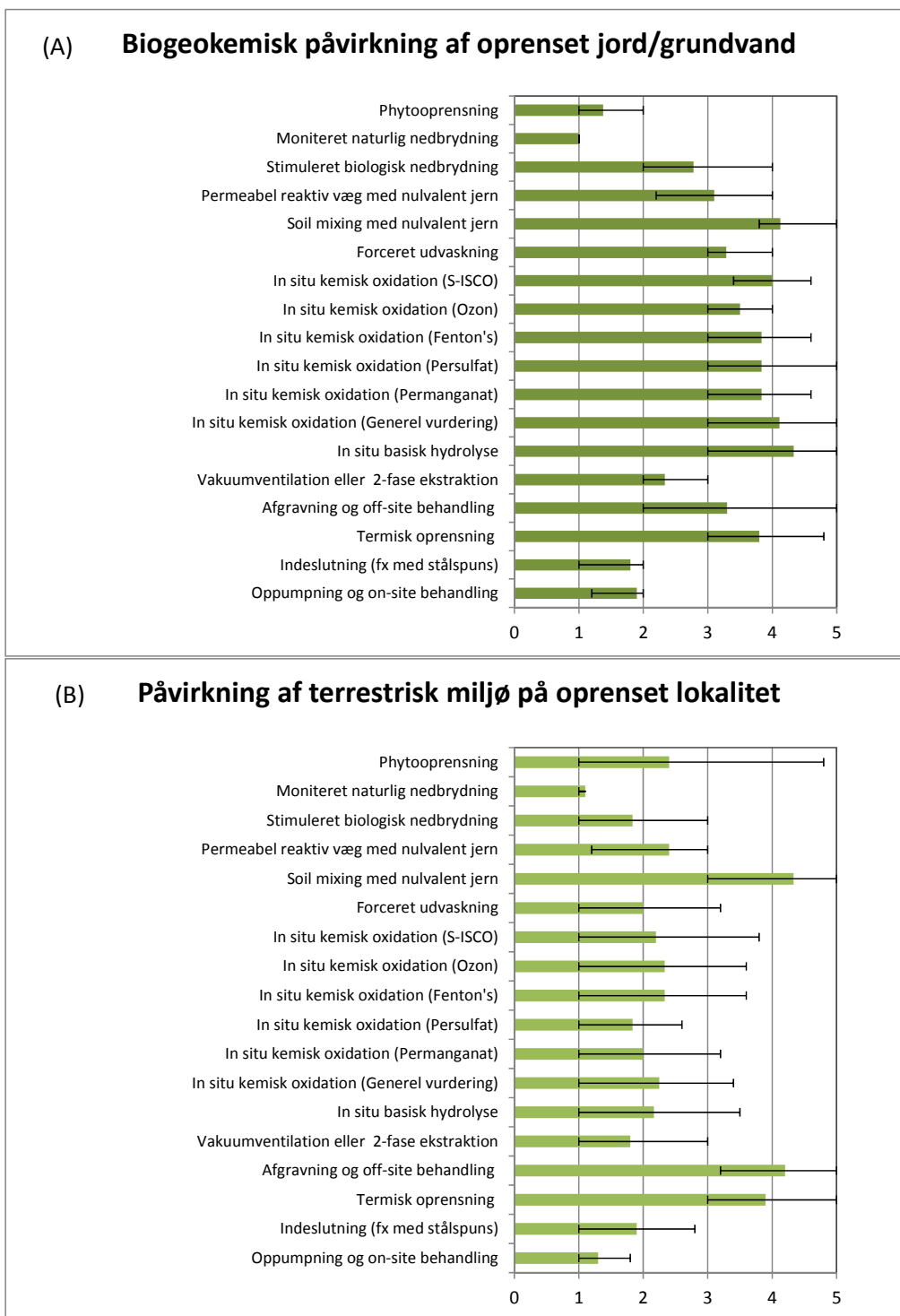
Kriteriet er vurderet på en skala fra 1-5, hvor 1 betegner "ingen nævneværdig usikkerhed" og 5 betegner "meget stor usikkerhed" jf. Boks 3. Resultatet ses af figur A1, der angiver middelværdien samt 20- og 80-percentilen af besvarelsene.



Figur A1. Ekspertpanelets gennemsnitlige vurdering af teknikernes tekniske usikkerhed på en skala fra 1-5 samt markering af 20- og 80-percentilen for de 10 besvarelsene.

### A2. Ekspertpanelets vurdering af jordkvalitet efter behandling (Hovedkriterium Miljø)

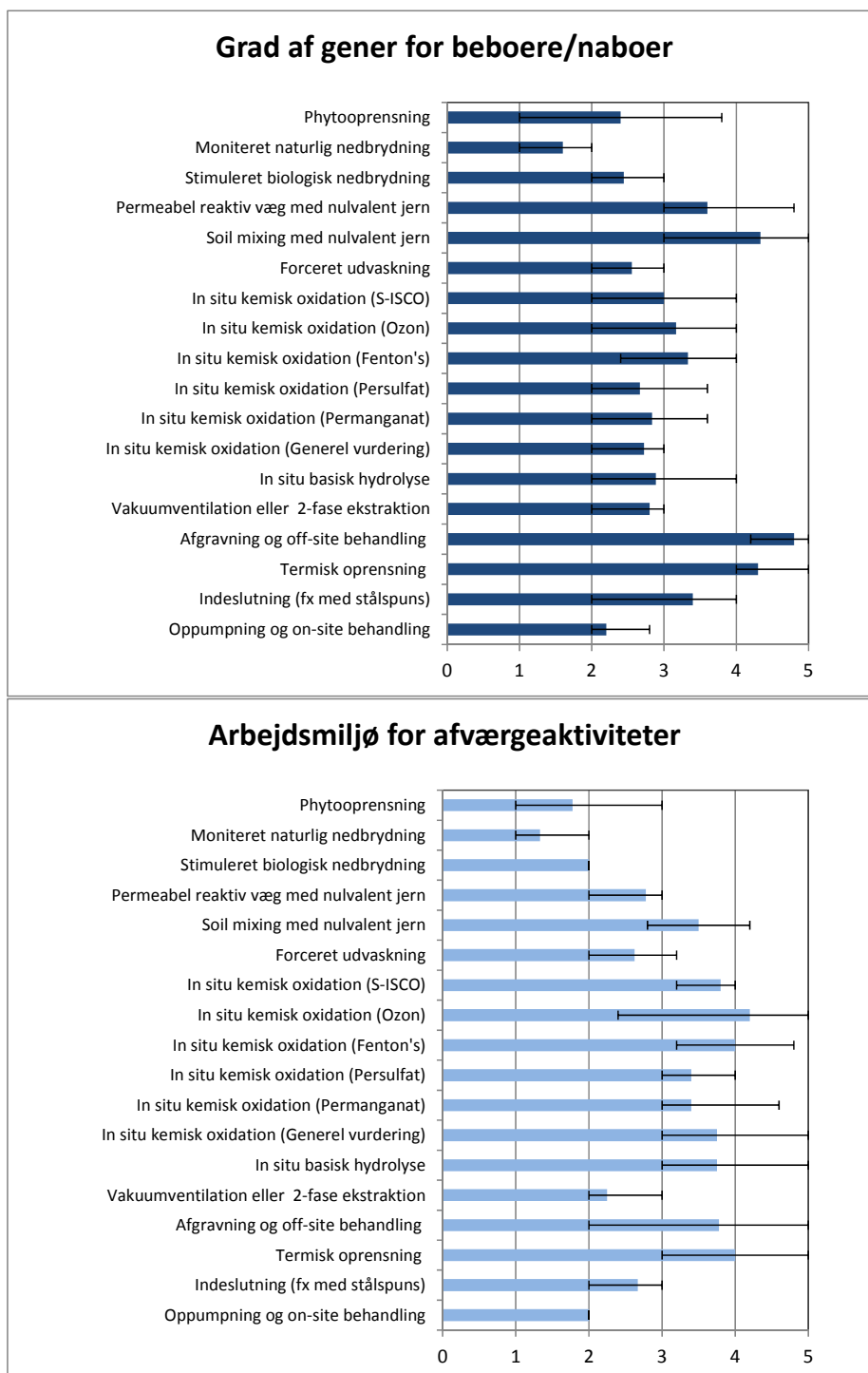
De to underkriterier under jordkvalitet efter behandling (biogeokemisk påvirkning af oprenset jord/grundvand og påvirkning af terrestrisk miljø) er besvaret hver for sig. Kriterierne er vurderet på en skala fra 1-5, hvor 1 betegner "ingen nævneværdig negativ påvirkning" og 5 betegner "meget stor negativ påvirkning" jf. Boks 4. Resultatet ses af figur A2, der angiver middelværdien samt 20- og 80-percentilerne for besvarelsene.



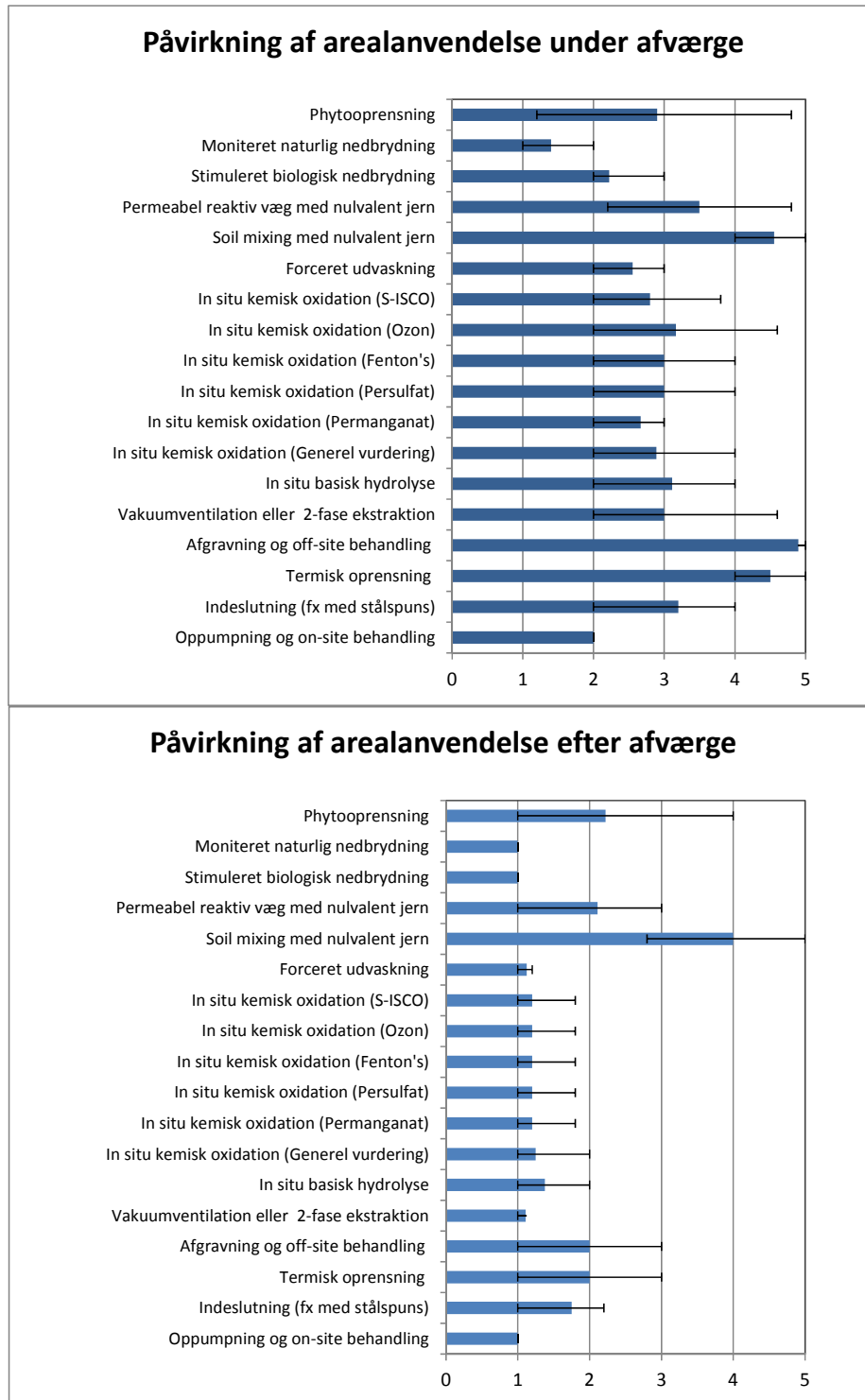
Figur A2. Ekspertpanelets gennemsnitlige vurdering af teknikernes biogeokemiske påvirkning (A) og påvirkningen af det terrestriske miljø (B) på en skala fra 1-5 samt markering af 20- og 80-percentilen for besvarelserne.

### A3. Ekspertpanelets vurdering af grad af gener for beboere/naboer, påvirkning af arealanvendelse under og efter afværge og arbejdsmiljø for afværgeaktiviteter (Hovedkriterium Samfund)

De fire underkriterier under Samfund (grad af gener for beboere/naboer, påvirkning af arealanvendelse under og efter afværge og arbejdsmiljø for afværgeaktiviteter) er besvaret hver for sig. Kriterierne er vurderet på en skala fra 1-5, hvor 1 betegner "ingen nævneværdig negativ påvirkning" og 5 betegner "meget stor negativ påvirkning" jf. Boks 5 og Boks 6. Resultatet ses af figur A3 og A4 herunder.



Figur A3. Ekspertpanelets gennemsnitlige vurdering af teknikernes grad af gener for beboere/naboer (A) og påvirkningen af arbejdsmiljøet (B) på en skala fra 1-5 samt markering af 20- og 80-percentilen for besvarelserne.



Figur A3. Ekspertpanelets gennemsnitlige vurdering af teknikernes påvirkning af arealanvendelsen under afværge (A) og efter afværge (B) på en skala fra 1-5 samt markering af 20- og 80-percentilen for besvarelserne.