
Oprensning af forureningsfaner

Tilgang til koncept og udfordringer

v/ Marianne Plenge, NIRAS

Baggrund

Guide til valg af afværgemetoder i grundvandsfaner

Region Hovedstaden: Mads G. Møller, Nina Tuxen og Henriette Kern-Jespersen

WSP: Thomas H. Larsen

NIRAS: Marianne Plenge

Formål:

- Overblik over hvilke afværgeteknikker, der er til rådighed ift. grundvandsforureningsfaner (som alternativ til den gængse Pump & Treat løsning)
- Forbedret grundlag for kvalificeret valg af afværgemetoder over for både små og store grundvandsfaner i forskellige typer af geologi og hydrogeologi



Baggrund

Guide til valg af afværgemetoder i grundvandsfaner

Afgræsning af projektet:

- Forureningsfaner med chlorerede opløsningsmidler og nedbrydningsprodukter
- Opløst forurening: Projektet omfatter ikke metoder til oprensning af kilde eller fri fase

Indhold i guiden:

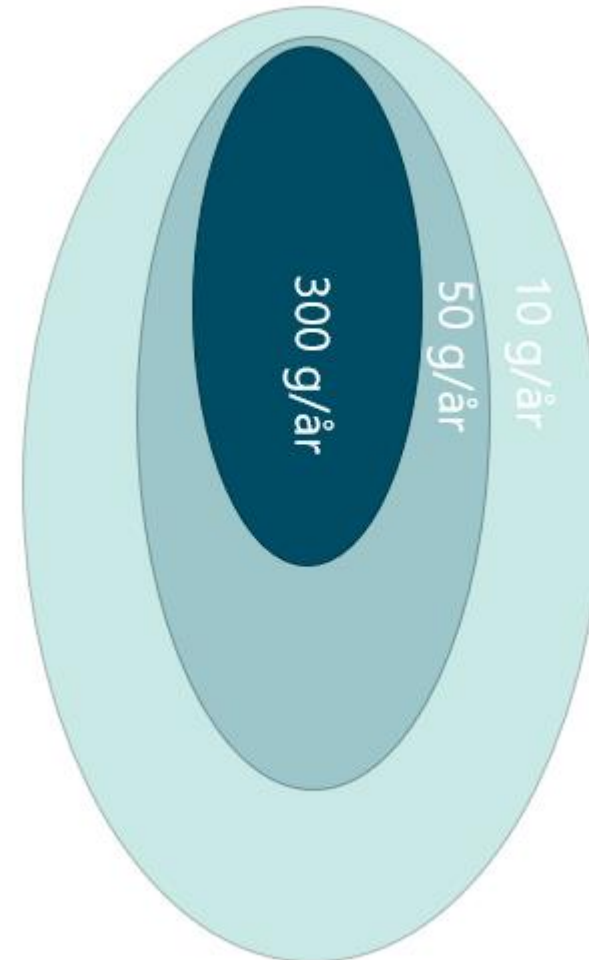
- Erfaringsopsamling inkl. en litteratursøgning over for afværgemetoder
- Valg af relevante afværgemetoder med beskrivelse af opmærksomhedspunkter samt styrker og svagheder
- Metodik for fastsættelse af målsætning, indsatsområde og oprensningskriterier for afværgeindsats
- Anvendelser af afværgemetoder i 5 forskellige typologier (forskellig geologi, hydrogeologi og fanekarakteristika)
- Økonomi



Fluxbaserede målsætninger for afværgе

Målsætninger

- Målsætninger for afværgе-foranstaltninger er typisk fluxbaserede:
 - Sikring af igangværende indvinding
 - Aktuel indvindingsmængde
 - Beskyttelse af grundvandsressourcen
 - Vurdering af acceptabelt påvirket volumen af magasinet
- Eksempel:
 - Indvindingsmængde 200.000 m³/år
 - Acceptabel flux for fx TCE 200 g/år



Indsatsområde og oprensningskriterier

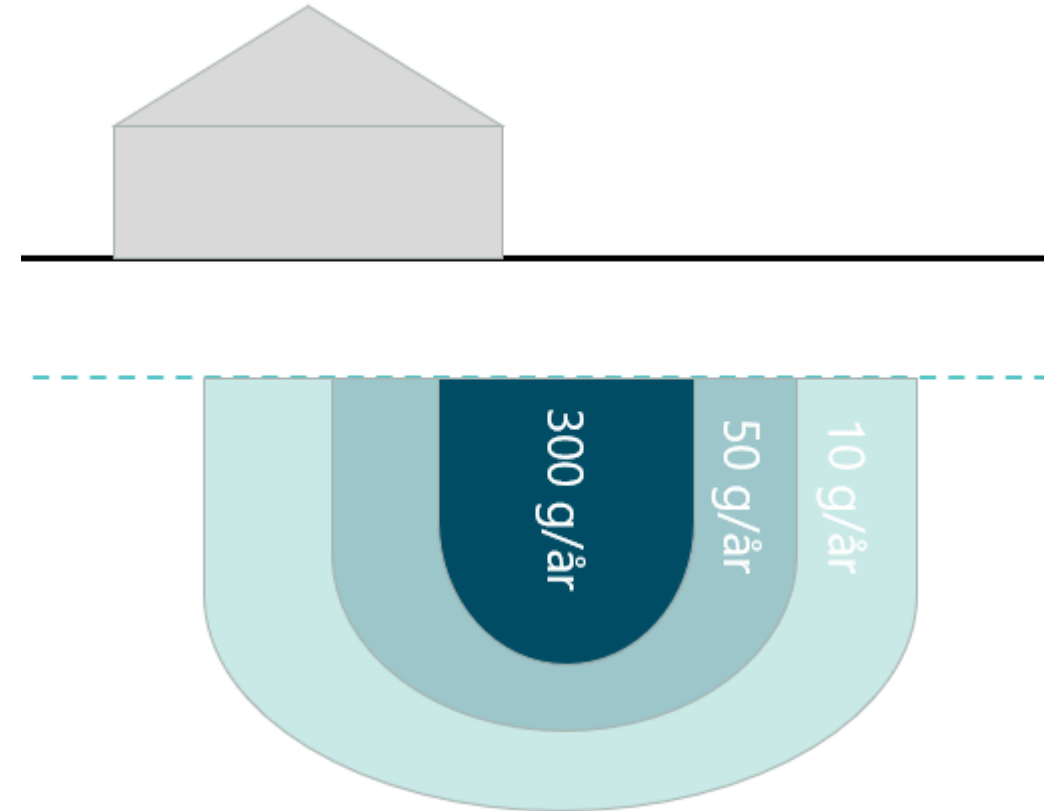
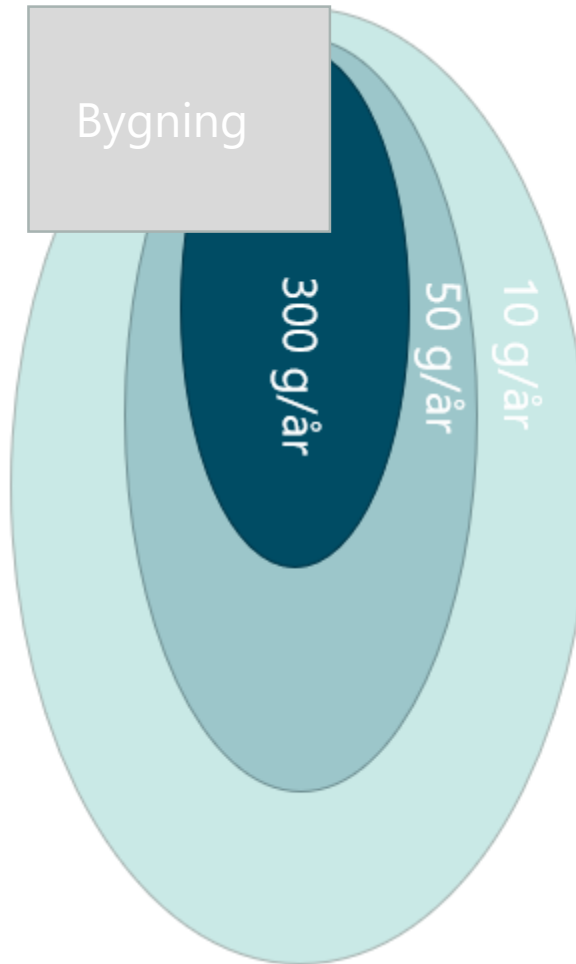
Reduktion af forureningsflux til acceptabel flux ved afværgelse:

- Hvilket volumen skal behandles?
- Hvilke koncentrationsniveauer skal der oprenses til?

Iterationer for fastlæggelse:

- Acceptabel flux → oprensningsvolumen og oprensningskriterier
- Oprensningsvolumen og oprensningskriterier → acceptabel flux

Forskellige scenarier inden endelig fastlæggelse



Afværgeteknikker - chlorerede opløsningsmidler

Injektionsmetoder:

Recirkulation: Aktivt eller semi-aktivt system

- Ekstraktions- og injektionsboringer over hele fanen
- Behandlingszoner på tværs af fanen

Direkte injektioner: Passivt system

- Injektionsboringer eller ved *direct push technologies*
 - Hele fanen
 - Transekter på tværs af fanen

Reaktiv væg: Nedstrøms

- Nedgravning
- Afskærende barriere ved direkte injektioner

Reaktanter:

Sorption:

- Sorbenter, typisk aktivt kul

Kemisk oxidation:

- Permanganat, persulfat, hydrogenperoxid, ozon

Kemisk reduktion:

- ZVI, nZVI

Stimuleret reduktiv dechlorering (SRD):

- Substrat og bakteriekultur

Andre metoder:

HRX Wells® - Horisontale boringer med in situ behandlingskassetter

Dynamic Groundwater Recirculation (DGR™)

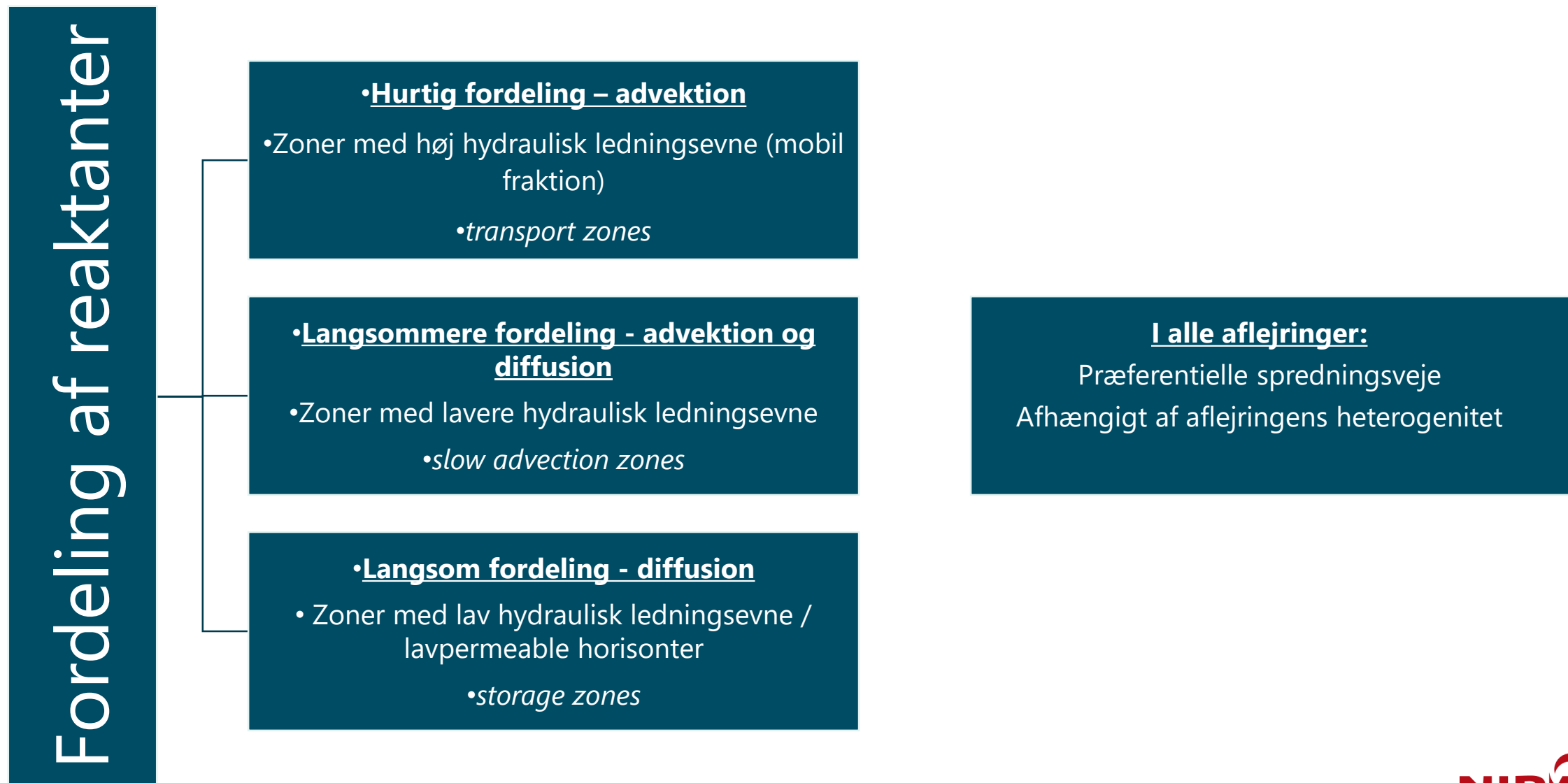
Afværgepumpning med lodrette eller vandrette boringer

Udfordringer med injektionsbaserede afværgeløsninger

- Fælles udfordringer for alle fordelingsmetoder:
 - Tilstrækkelig fordeling af reaktanter
 - Nedbrydning er en "kontaktsport"
 - Kontakt mellem reaktant og forurening
- Hvorfor?
 - Grundvandsmagasiner er heterogene og anisotrope
 - "Sandkassen" findes ikke 😊
- Hvad betyder det?
 - Geologi afgør valg af injektionsmetode
 - Injektionsmetode afgør (delvist) valg af reaktant



Udfordringer med injektionsbaserede afværgeløsninger



Overordnet tilgang til valg af metoder

Metodevalg er en iterativ proces

Supplerende data-indhentning

(nice to know – need to know)

Konceptuel model

Supplerende data?
Forureningsforhold,
geologi, hydrogeologi,
hydraulisk ledningsevne
tilbagediffusion,
redoxforhold etc.

Evaluering af mulige metoder:

Teknisk mulig?
Anvendelig på aktuel
lokalitet?
Omkostningseffektiv?
Bæredygtig?

Udvælgelse af relevante metoder

Hvilke er de mest
anvendelige?

Dimensionerende parametre:

Injektionsforsøg
Pumpeforsøg
Nedbrydningsforhold
Laboratorieforsøg

Endeligt design

Iterationer:

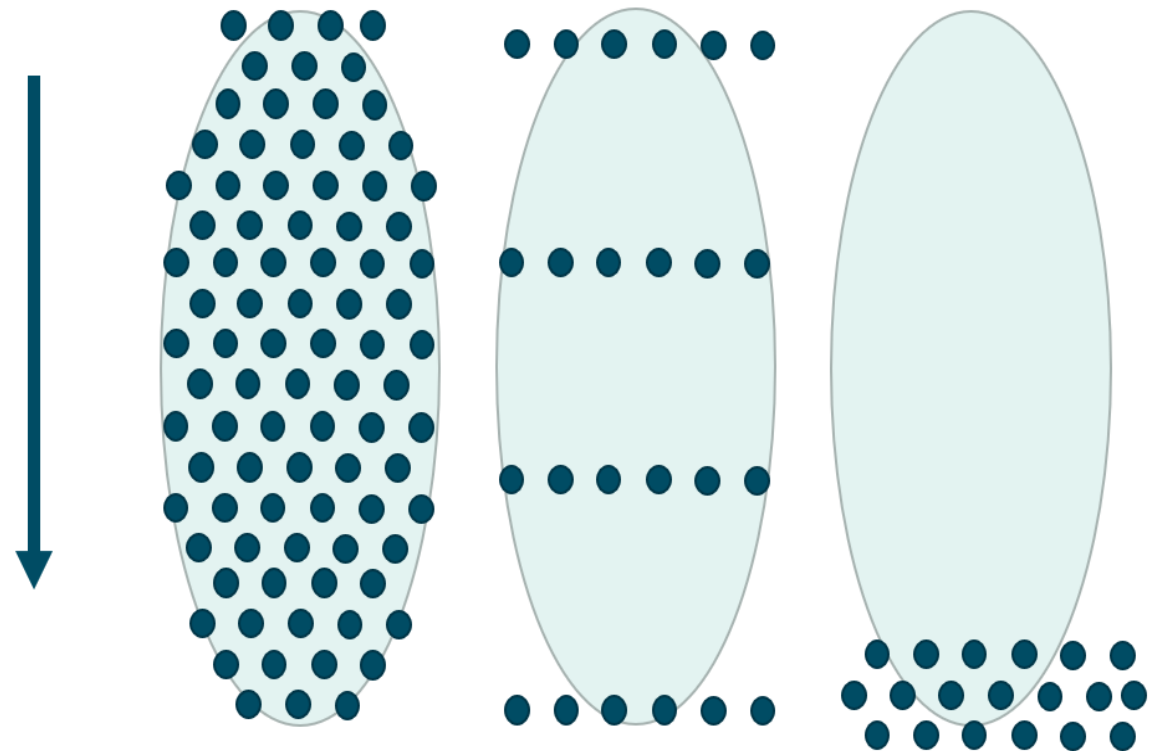
Parallelt med den supplerende data-indhentning
optimeres og forfines designet.

Tilgang til valg af afværgemetode

Passivt system – direkte injektioner

- Design:
 - Arealdækkende
 - Transekter på tværs af fanen (*pulse and drift*)
 - Afskærende barriere nedstrøms
- Fordele:
 - Relativt permeable magasiner med sammenhængende porevolumen
 - Kan anvendes i mere lavpermeable aflejringer
 - Lav ROI - flere injektionspunkter og –niveauer
- Ulemper:
 - Ikke omkostningseffektiv ved høj grundvandshastighed
 - Lavpermeable aflejringer:
 - Præferentiel spredning i tynde horisonter med en højere hydraulisk ledningsevne

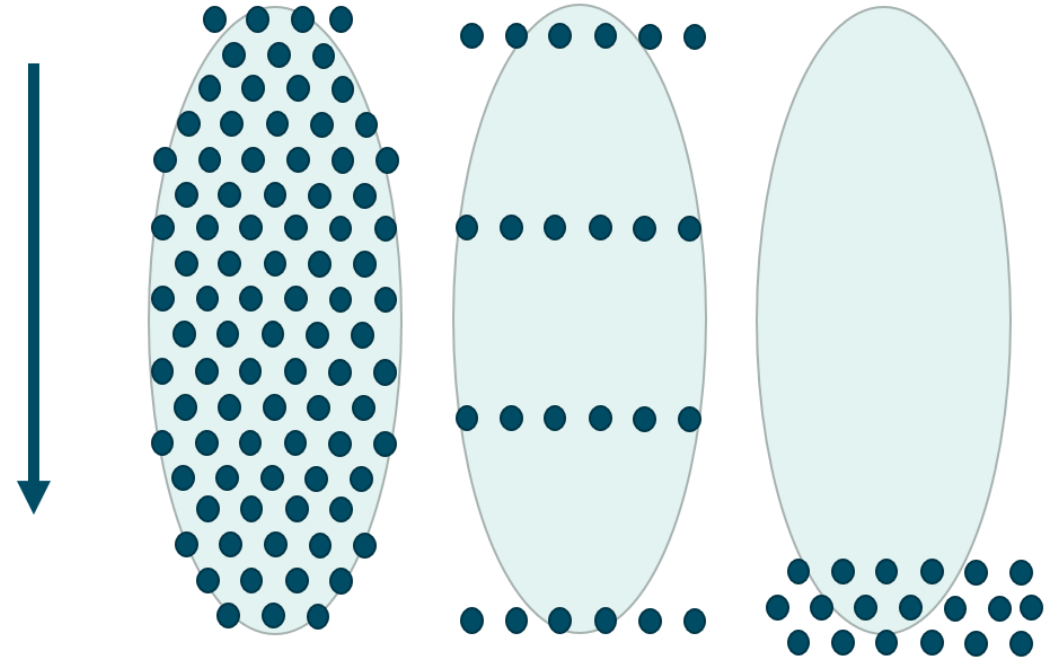
Designs



Tilgang til valg af afværgemetode

Passivt system – direkte injektioner

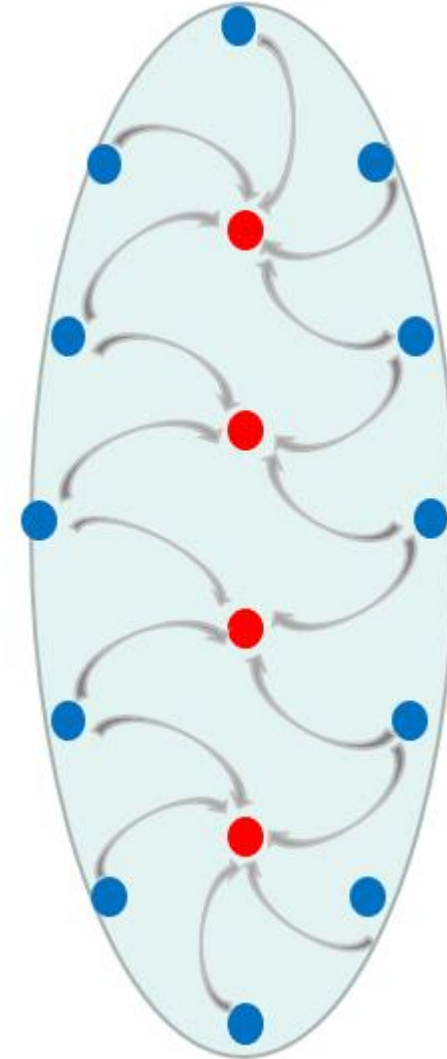
- Økonomi:
 - Typisk lave etableringsomkostninger og høje driftsomkostninger
 - Men det afhænger af:
 - Direct push technologies vs. permanente injektionsboringer
 - Design: Antal injektionspunkter og -dybder
 - Antal reinjektioner
- Reaktanter: Længere levetid
 - Langsomtomsættelige substrater og bakteriekultur
 - Faste medier:
 - mZVI
 - sorbenter



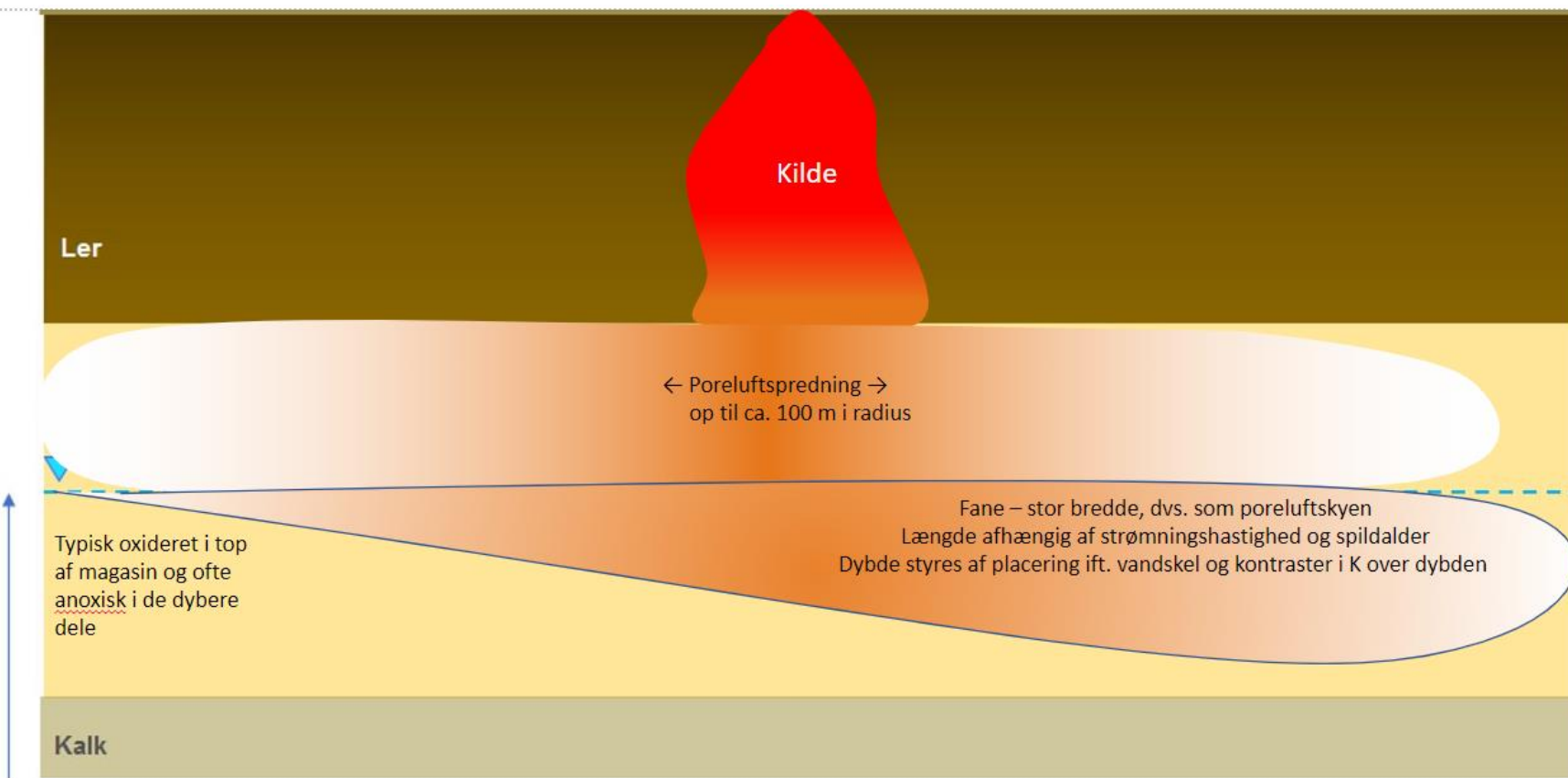
Tilgang til valg af afværgemetode

Aktivt system – recirkulation

- Fordele:
 - Bedre og hurtigere fordeling af reaktant
 - Hurtigere oprensningstid
 - Behandling af større voluminer
- Ulemper:
 - Målrettet aflejring med højere hydraulisk ledningsevne
 - Flere lavpermeable horisonter:
 - Effekt afhængig af diffusion
 - Driftstid forøges
- Økonomi:
 - Høje etableringsomkostninger
 - Lave driftsomkostninger
- Reaktanter:
 - Letomsættelige substrater og bakteriekultur
 - Oxidationsmidler
 - nZVI



Typologi 1



Karakteristika:

- Dybden til grundvandsspejlet kan være ret stor (fx 15-20 m)
- Der kan dykkende faner → Behandlingsvoluminet kan potentielt ligge dybt
- Typisk brede faner
- Store voluminer med forhøjede indhold af forureningskomponenter
- Evt. tilbagediffusion fra lavpermeable horisonter og underliggende kalk

Tilgang til valg af metode i typologi 1

Konceptuelle overvejelser - injektionsmetoder

- Nedgravet reaktiv væg udgår pga. dybden
- Recirkulationsløsninger kan anvendes
- Direkte injektioner:
 - Behandlingsdybden kan være for stor til direct push teknologier (30 m u.t.)
 - Injektionsboringer v. nedpumpning eller gravitation
 - Arealdækkende injektioner formentligt ikke omkostningseffektivt
 - Injektioner i transekter på tværs af grundvandets strømningsretning kan anvendes
 - Injektioner i barriere nedstrøms kan anvendes

Konceptuelle overvejelser – reaktanter

- Recirkulationsløsning på hele fanen:
 - Letomsætteligt substrat og bakteriekultur samt nZVI
- Direkte injektioner:
 - Langsomt-omsætteligt substrat og bakteriekultur samt mZVI
- Udgår:
 - ISCO:
 - Reducerede redoxforhold
 - Udfordringer med tilstrækkelig fordeling
 - Følsom over for tilbagediffusion
 - Sorbenter:
 - Levetiden typisk lang, men manglende dokumentation for langtidseffekt

Tilgang til valg af metode i typologi 1

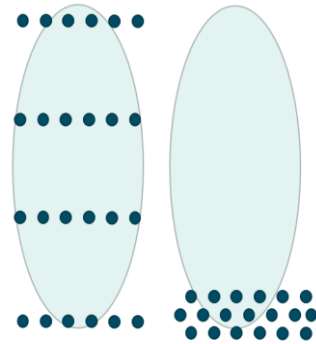
Direkte injektioner:

Transekter eller barriere nedstrøms

- Indledende design:
 - Antal injektionspunkter- og dybder
 - Reaktant: Langsomtomsættelige substrater/ bakteriekultur og/eller mZVI
 - Antal nødvendige reinjektioner (også ift. tilbagediffusion)

- Vurdering af driftstid

- Vurdering af omkostninger:
 - Etableringsomkostninger (lave)
 - Driftsomkostninger (høje)



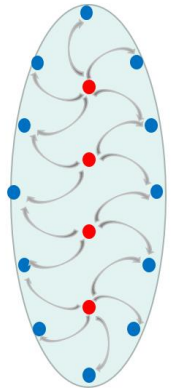
Recirkulationsløsning:

Hele behandlingsvoluminet

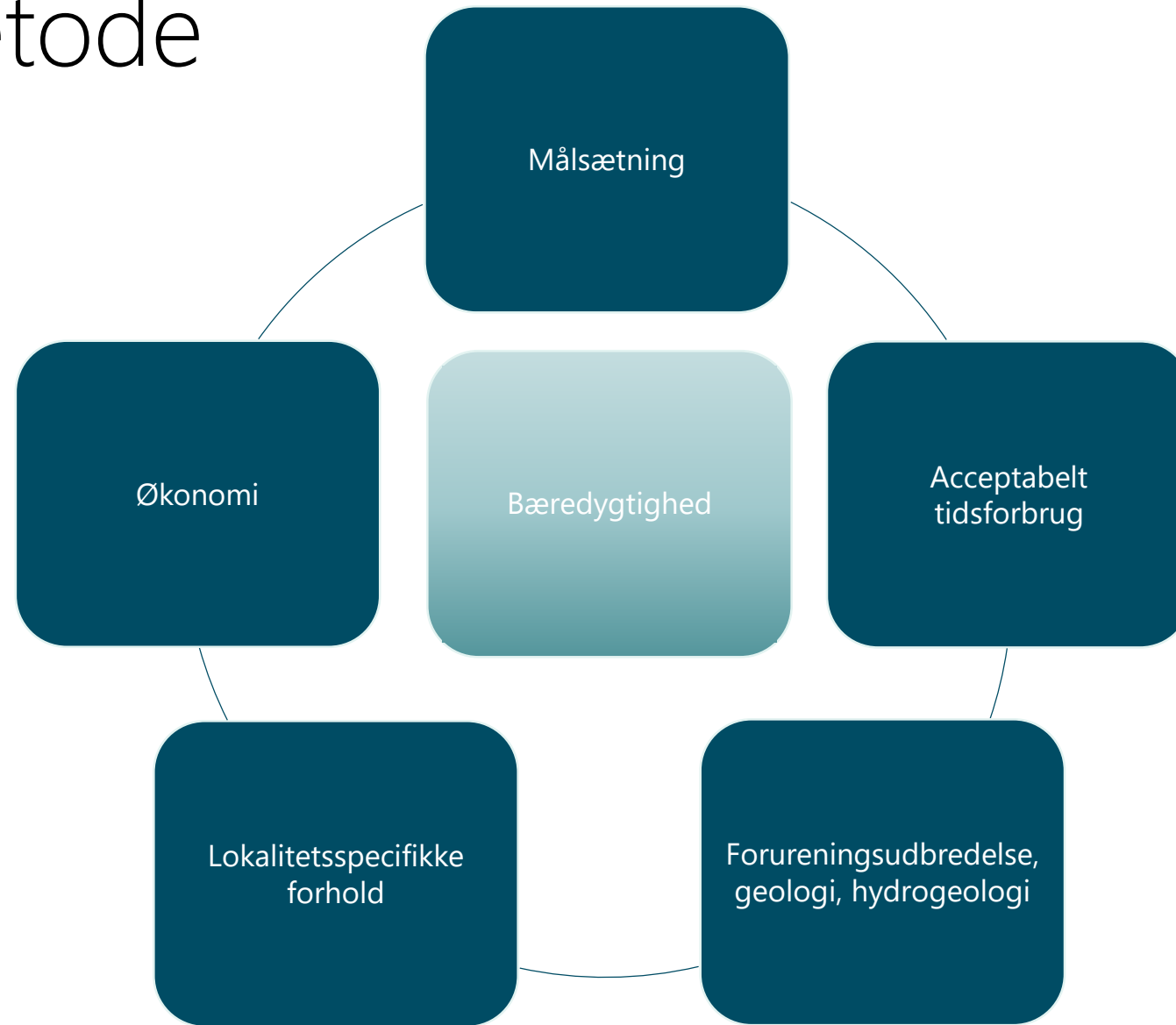
- Indledende design
 - Injektionsboringer, ekstraktionsboringer
 - Boreddybder
 - Behandlingsanlæg
 - Reaktant: Letomsætteligt substrat/bakteriekultur eller nZVI

- Vurdering af driftstid

- Vurdering af omkostninger:
 - Etableringsomkostninger (høje)
 - Driftsomkostninger (lave)
 - Herunder vurdering af tiltag ift. tilbagediffusion

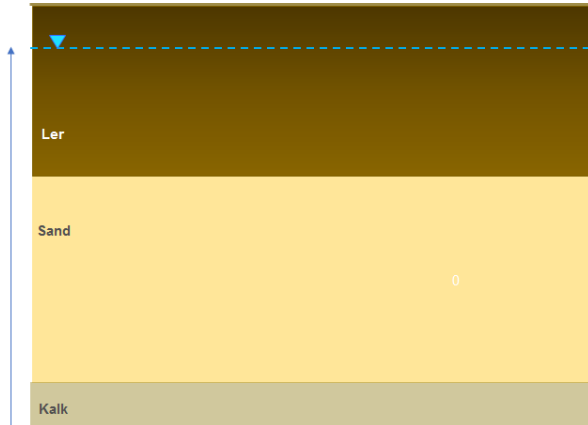


Hvad styrer valget og hvordan vælges den rigtige metode



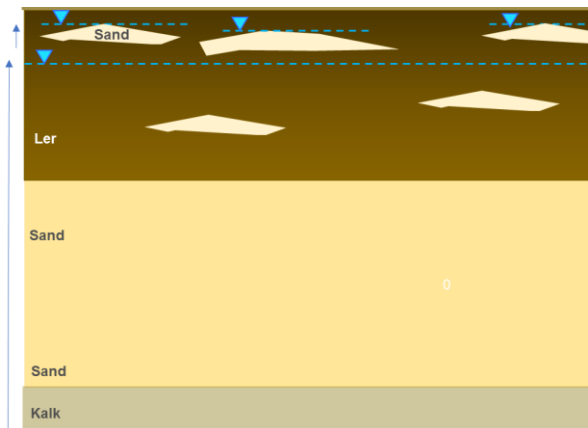
TAK for opmærksomheden

Typologier (RH's rammekontrakt)



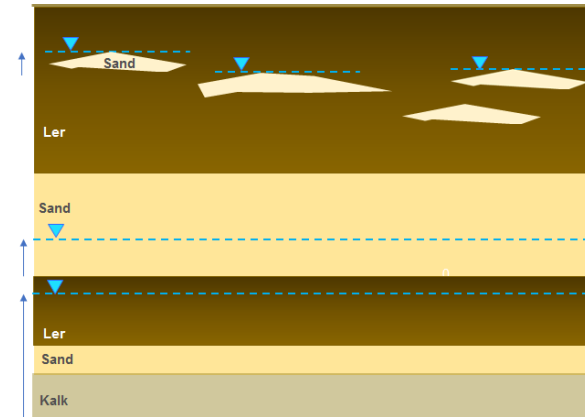
Typologi 2:

- Spredning i morænen primært vertikal
- Typisk smalle faner



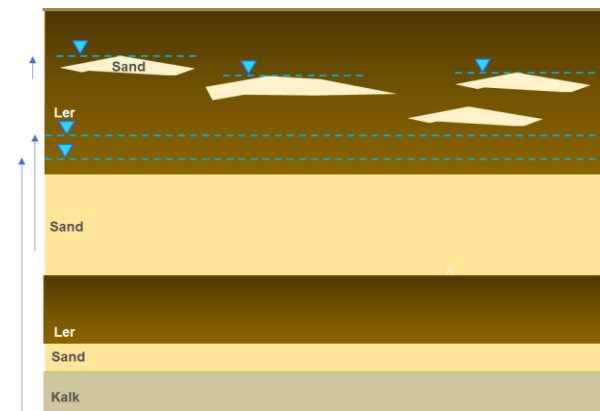
Typologi 3:

- Horizontal og vertikal spredning i sandlinser ler
- Fanen kan være langstrakt pga. horisontal spredning i sandlinserne
- Gennembrud kan være forskudt fra kilden



Typologi 4:

- Større fodaftryk af fanen pga. spredning i sandlinser og fordampning i umættet zone
- Lerlag fungerer ofte som barriere
- Evt. forureningsspredning til underliggende magasin



Typologi 5:

- I det øvre sand som typologi 3
- Lerlag fungerer ofte som barriere
- Evt. forureningsspredning til underliggende magasin