
Valg af metode til afværgelse af forureningsfaner i grundvand

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:

- Skabe forbedret grundlag for et kvalificeret valg af afværgemetode
 - Opmærksomhedspunkter
 - Fordele og ulemper
- Sikre en god implementering af afværgeforanstaltninger
- Skabe overblik over hvilke afværgeteknikker, der er til rådighed ift. grundvands-forureningsfaner
- Øge kendskabet til nye og mindre afprøvede afværgemetoder

wsp

NIRAS

Afværge af forureningsfaner i grundvand

Guide til valg af afværgemetoder i grundvandsforureningsfaner



Region Hovedstaden

Baggrund

- Erfaringsopsamling inkl. en litteratursøgning over for afværgemetoder
- Udgangspunktet er Rammekontraktbilag til Region Hovedstadens rammeaftale for videregående jordforureningsundersøgelse:
 - 5 forskellige typologier for geologi, hydrogeologi og dermed fanekarakteristika
 - Metodik for fastsættelse af målsætning, indsatsområde og oprensningskriterier for afværgeindsats

Afgrænsning af projektet:

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

Afværge af forureningsfaner i grundvand

Guide til valg af afværgemetoder i grundvandsforureningsfaner

Afværgeteknikker - chlorerede opløsningsmidler

Injektionsmetoder:

Recirkulation: Aktivt eller semi-aktivt system

- Ekstraktions- og injektionsboringer

Direkte injektioner: Passivt system

- Injektionsboringer eller ved *direct push technologies*

Reaktiv væg/barriere: Nedstrøms

- Nedgravet væg
- Afskærende barriere

Reaktanter:

Sorption:

- Sorbenter, typisk aktivt kul

Kemisk oxidation:

- Permanganat, persulfat, hydrogenperoxid, ozon

Kemisk reduktion:

- ZVI, nZVI

Stimuleret reduktiv dechlorering (SRD):

- Substrat og bakteriekultur

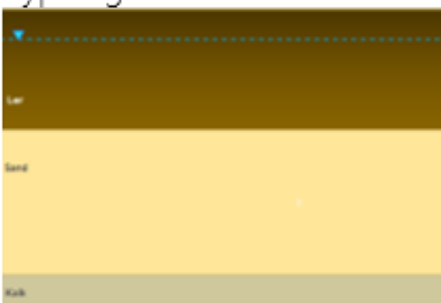
Andre metoder:

HRX Wells® - Horisontale boringer med in situ behandlingskassetter

Dynamic Groundwater Recirculation (DGR™) – Optimeret afværgepumpning / flushing hhv. recirkulationsmetode

Afværgepumpning med lodrette eller vandrette boringer

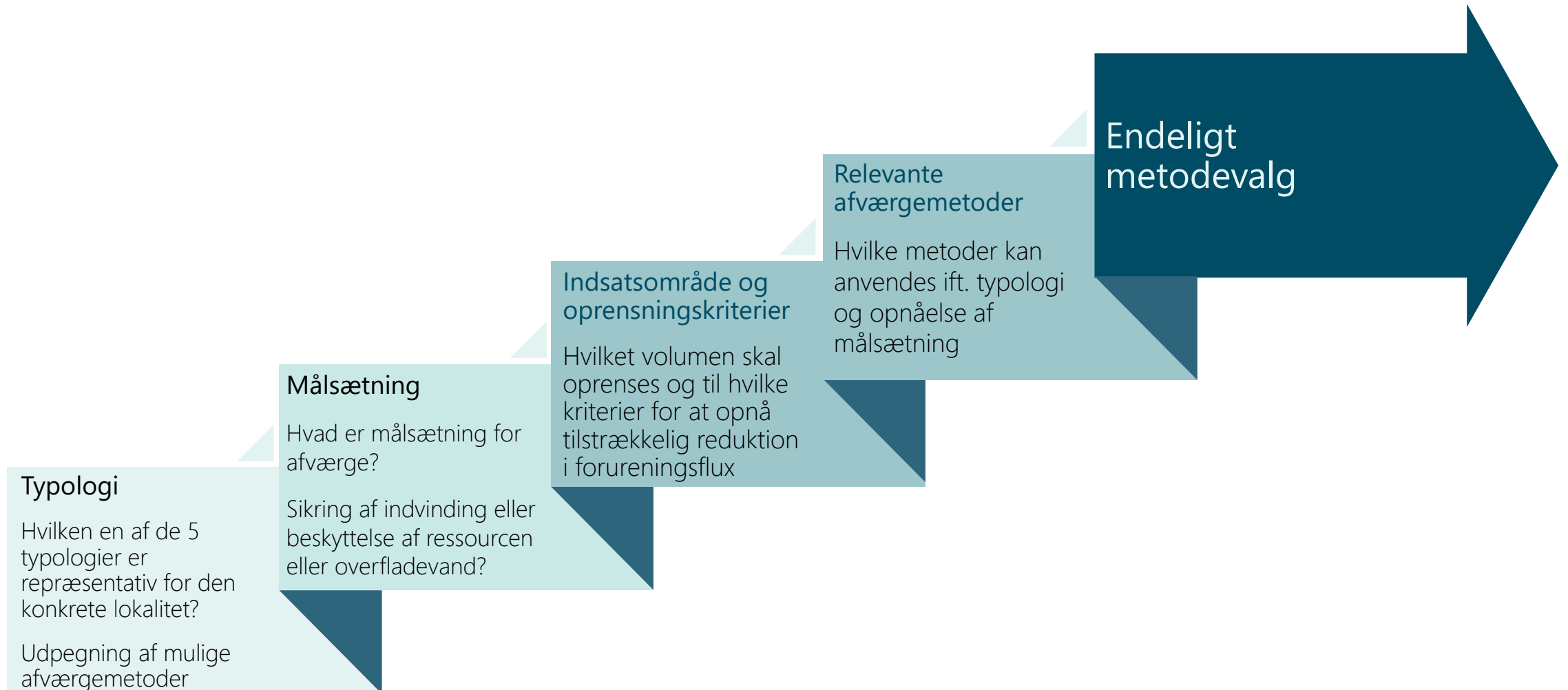
Typologier (1-3)

Typologi	Karakteristika – geologi og hydrogeologi	Karakteristika – forureningsfane
Typologi 1 	• Umættet moræneler • Underlejret af umættet sand • Frit magasin • Dybden til grundvandsspejlet kan være relativt stor • Sandlaget overlejrer kalken	• Kilde i moræneleret • Spredning ved fordampning i umættet zone → stofspredning i alle retninger • Typisk brede faner • Store voluminer med forhøjede indhold af forureningskomponenter • Der kan være dykkende faner → behandlingsvolumenet kan potentielt ligge dybt
Typologi 2 	• Moræneler • Underlejret af sand og kalk • Mættet sand- og kalklag • Trykniveau står i lerlaget	• Kilde i moræneleret • Primært vertikal spredning i moræneleret • Typisk smalle faner • Der kan være dykkende faner → behandlingsvolumenet kan potentielt ligge dybt
Typologi 3 	• Moræneler med indslag af sand • Underlejret af sand og kalk • Mættet sand- og kalklag • Trykniveau står i lerlaget	• Fanen minder om typologi 2 • Typisk smalle faner • Fanen kan dog være større pga. horisontal og vertikal spredning i sandlinser leret • Gennembrud kan være forskudt fra kilden • Der kan være dykkende faner → behandlingsvolumenet kan potentielt ligge dybt

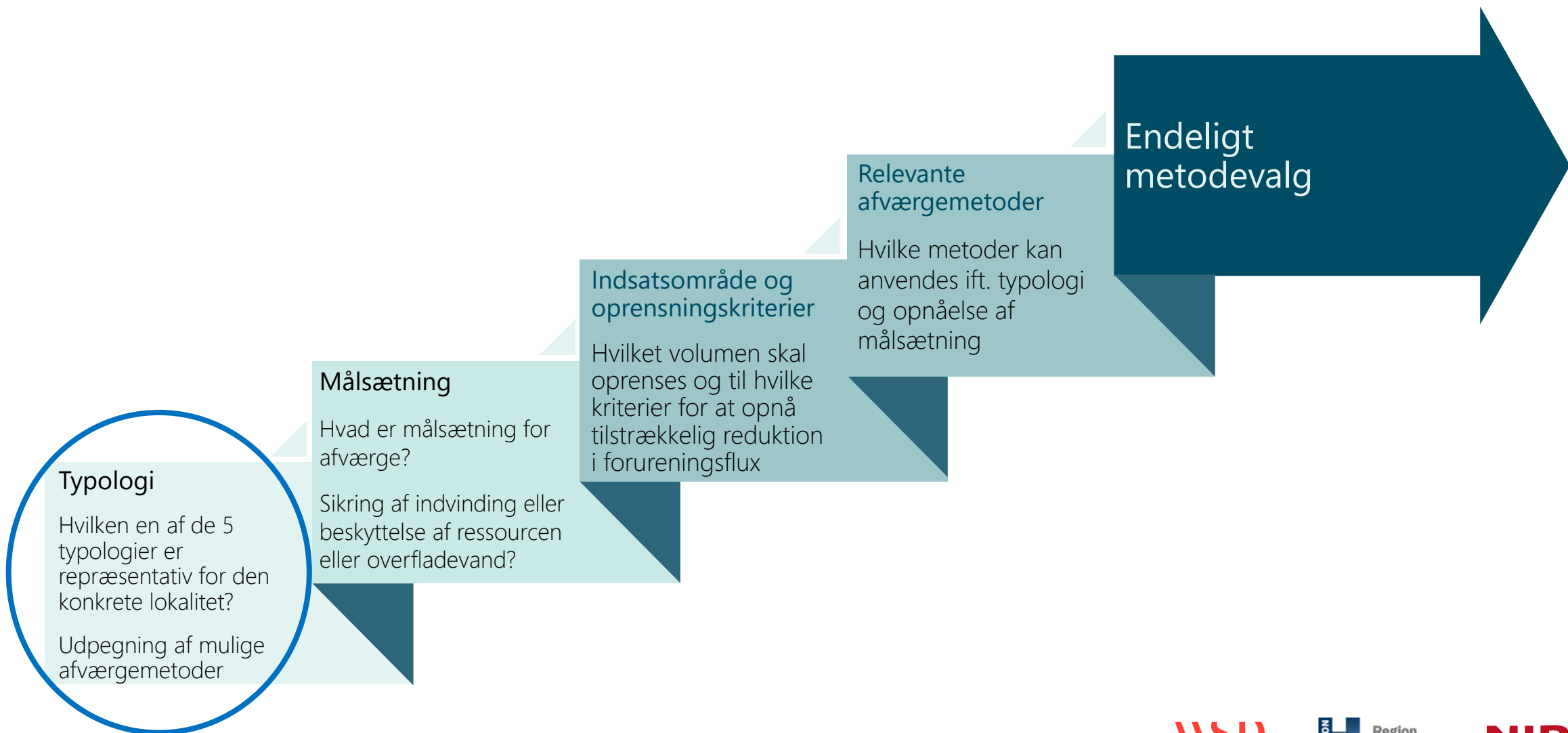
Typologier (4-5)

Typologi	Karakteristika – geologi og hydrogeologi	Karakteristika – forureningsfane
Typologi 4 	• Moræneler med indslag af sand med terrænnært grundvand • Underlejret af umættet sand • Sandlag med frit sekundært grundvandsmagasin • Herunder ler, underlejres af sand og kalk • Mættet sand- og kalklag, som udgør primært magasin • Trykniveau står i overliggende lerlag	• Fanen i det sekundære magasin minder om typologi 1 • Typisk bred og lang fane pga. spredning i sandlinser i ler og fordampning i umættet zone i sandlag • Nedre lerlag fungerer ofte som barriere mod spredning til primært magasin • Opmærksomhed ift. forureningsspredning til underliggende primære magasin og evt. tilbagediffusion fra underliggende lerlag
Typologi 5 	• Moræneler med indslag af sand med terrænnært grundvand • Underlejret af mættet sandlag, som udgør et sekundært magasin med trykniveau i øverste lerlag • Herunder ler, underlejres af sand og kalk • Mættet sand- og kalklag, som udgør primært magasin • Trykniveau står i øverste lerlag	• Fanen i det sekundære magasin minder om typologi 3 • Typisk smalle faner • Fanen kan være større pga. horisontal og vertikal spredning i sandlinser i leret • Nedre lerlag fungerer ofte som barriere mod spredning til primært magasin • Opmærksomhed ift. forureningsspredning til underliggende primære magasin og evt. tilbagediffusion fra underliggende lerlag

Opbygning af guiden



Opbygning af guiden



Vurdering af afværgemetoder i typologier

For hver af de 5 typologier

- Overvejelser og opmærksomhedspunkter ift. afværgemetoder
- Vurdering af afværgemetodernes egnethed
- Vurderinger af egnethed samlet i tabel:
 - Egnethed angivet som:
 - Ikke anvendelig
 - Dårlig
 - Middel
 - God
 - Bemærkninger:
 - Konklusioner, som danner grundlag for vurderingen af egnetheden af metoderne
 - Uddybende beskrivelser følger efter hver tabel

Eksempel på uddrag af tabel for typologi 1

Afværge- metode	Implemen- tering	Eg- nethed	Bemærkninger
HRX	Afskæ- rende løs- ning	Middel	Kan være udfordret af fanens geometri. Vil afhænge af en vurdering af det nødvendige antal borer. Vil kunne anvendes som afskærende løsning, men har en meget lang oprensningstid svarende til P&T. Ikke tidligere anvendt i Danmark.
DGR	Hele eller dele af fa- nen	God	Relativt lang oprensningstid, dog svarende til ca. 1/3 del af P&T. Ikke tidligere anvendt i Danmark.
P&T	Afskæ- rende løs- ning	God	Vil kunne anvendes som afskærende løsning, men har en meget lang oprensningstid. I udgangspunktet omkostningseffektiv, dog meget følsom overfor den interne rente i nutidsværdibetragtning pga. af meget lange driftstider.

Vurdering af afværgemetoder i typologier

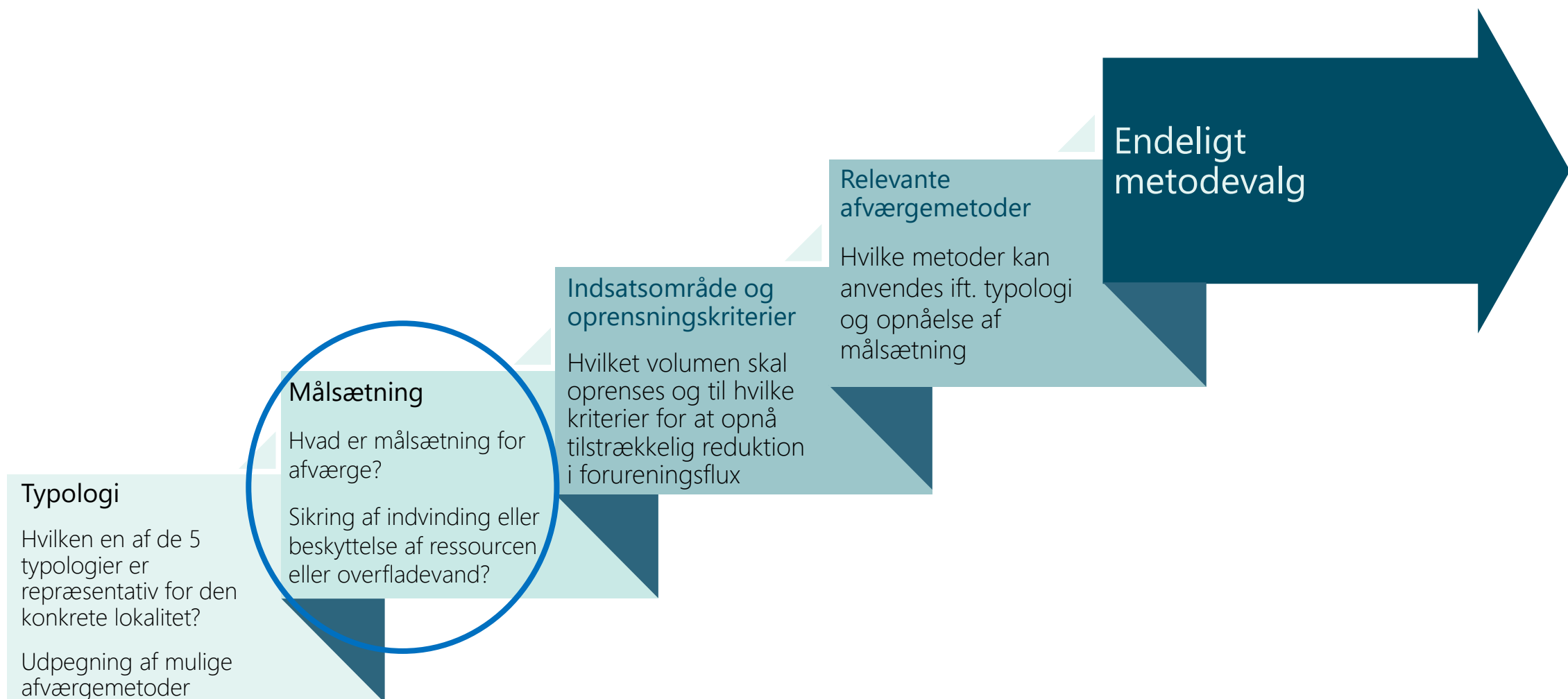
Kommentar vedr. reaktantbaserede afværgemetoder

- Mulige injektionsmetoder ved anvendelse på:
 - Hele fanen
 - Recirkulation og injektioner
 - Dele af fanen
 - Recirkulation og injektioner
 - Transekter
 - Injektioner i transekter på tværs af fanen
 - Reaktiv væg/barriere
 - Nedgravet væg
 - Afskærende barriere nedstrøms fanen
 - Direkte injektioner
 - Semi-passiv metode ved periodevise recirkulationer

Eksempel på uddrag af tabel for typologi 1

Afværge-metode	Implemen-tering	Eg-nethed	Bemærkninger
Stimuleret reductiv dechlorering - SRD	Hele fanen	God	Kan implementeres ved recirkulationsløsning ved anvendelse af et let-omsætteligt substrat.
		Middel	Arealdækkende direkte injektioner formentligt ikke omkostningseffektive på store og potentielt dybe faner. Til gengæld er levetiden af de langsomsættelige substrater typisk lang (5-6 år), hvorfor det formentligt kun vil være nødvendigt med få reinjektioner.
	Del af fanen	God	Kan implementeres ved recirkulationsløsning ved anvendelse af et let-omsætteligt substrat.
		God	Kan implementeres ved arealdækkende direkte injektioner. Samme overvejelser som ovenfor vedr. behandling af hele fanen. Dog vil etablering i en del af fanen kræve færre injektionspunkter, og dermed kan behandling af en del af fanen være omkostningseffektivt.
	Transekter	God	Kan implementeres ved direkte injektioner eller ved en recirkulationsløsning i transekter. Samme overvejelser som ovenfor vedr. behandling af hele fanen. Dog vil etablering i transekter kræve færre injektionspunkter. Transekter vil også kunne etableres som en semi-passiv løsning med et langsomt-omsætteligt substrat.
Reaktiv væg - nedgravet	Reaktiv væg - nedgravet	Ikke anvendelig	Vurderes ikke anvendelig pga. dybden.
	Reaktiv væg - barriere	God	Samme overvejelser som ovenfor vedr. transekter. Vil formentlig reducere etableringsomkostningerne yderligere, men til gengæld forøge oprensningstiden og dermed omkostningerne til antal nødvendige reinjektioner.

Opbygning af guiden

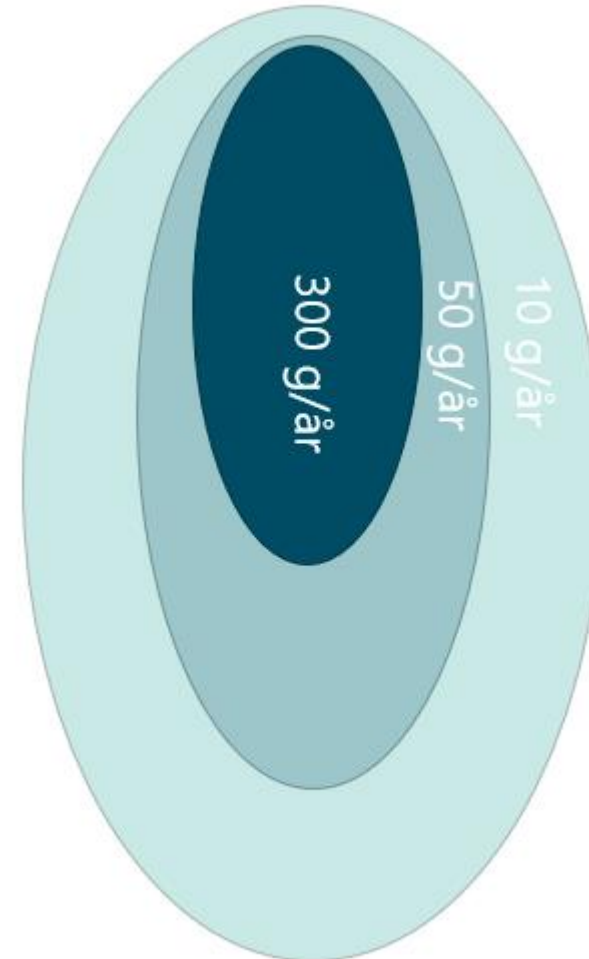


Fluxbaserede målsætninger for afværg

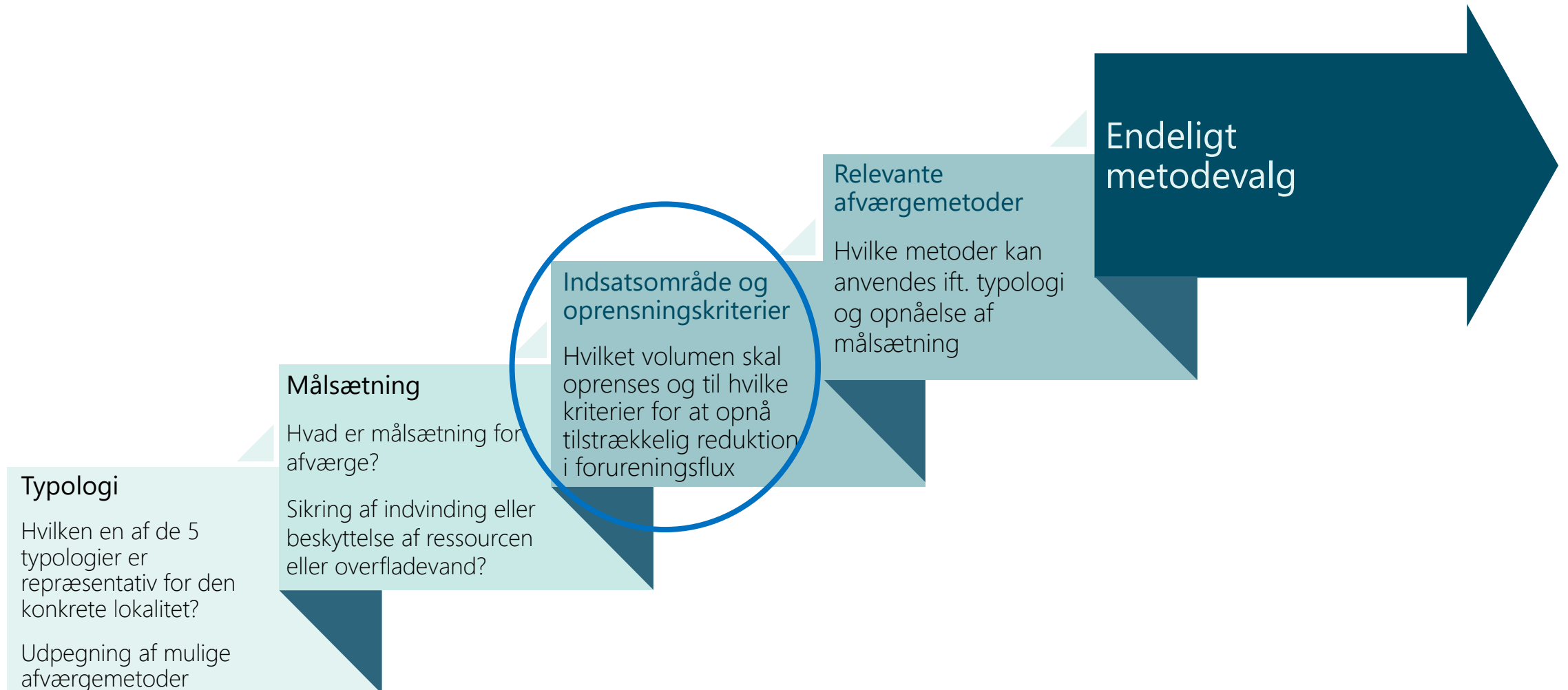
Målsætninger

Målsætninger for afværg-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
 - Risiko-flux for fx TCE 200 g/år



Opbygning af guiden



Indsatsområde og oprensningskriterier

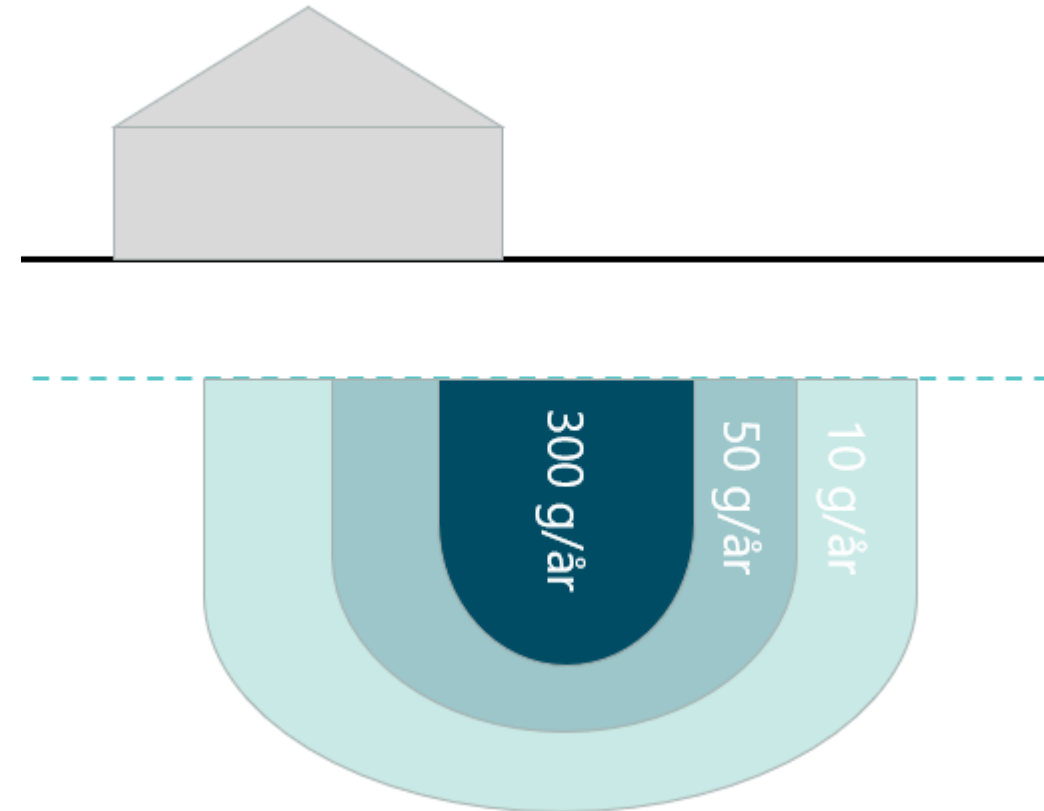
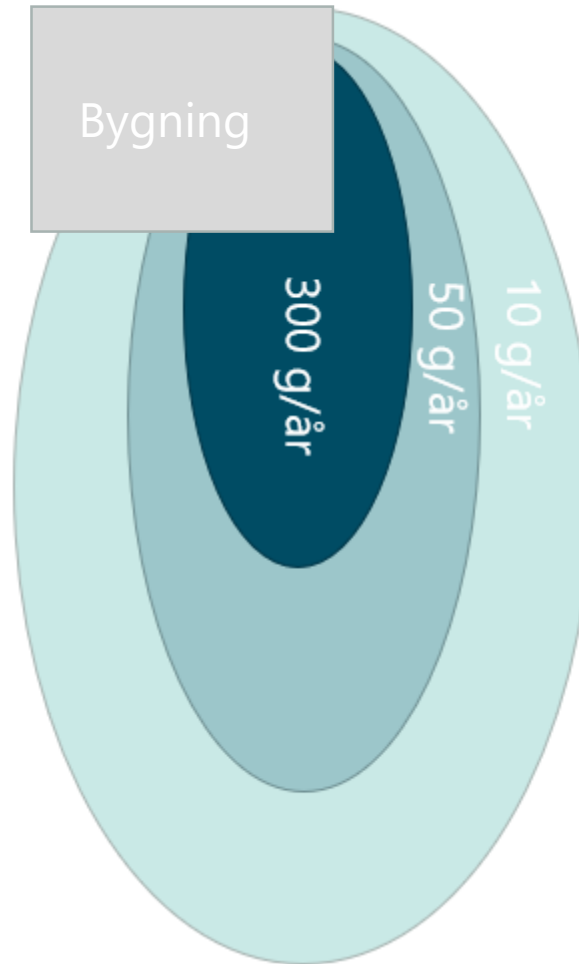
Reduktion af forureningsflux til risiko-flux ved afværgelse:

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

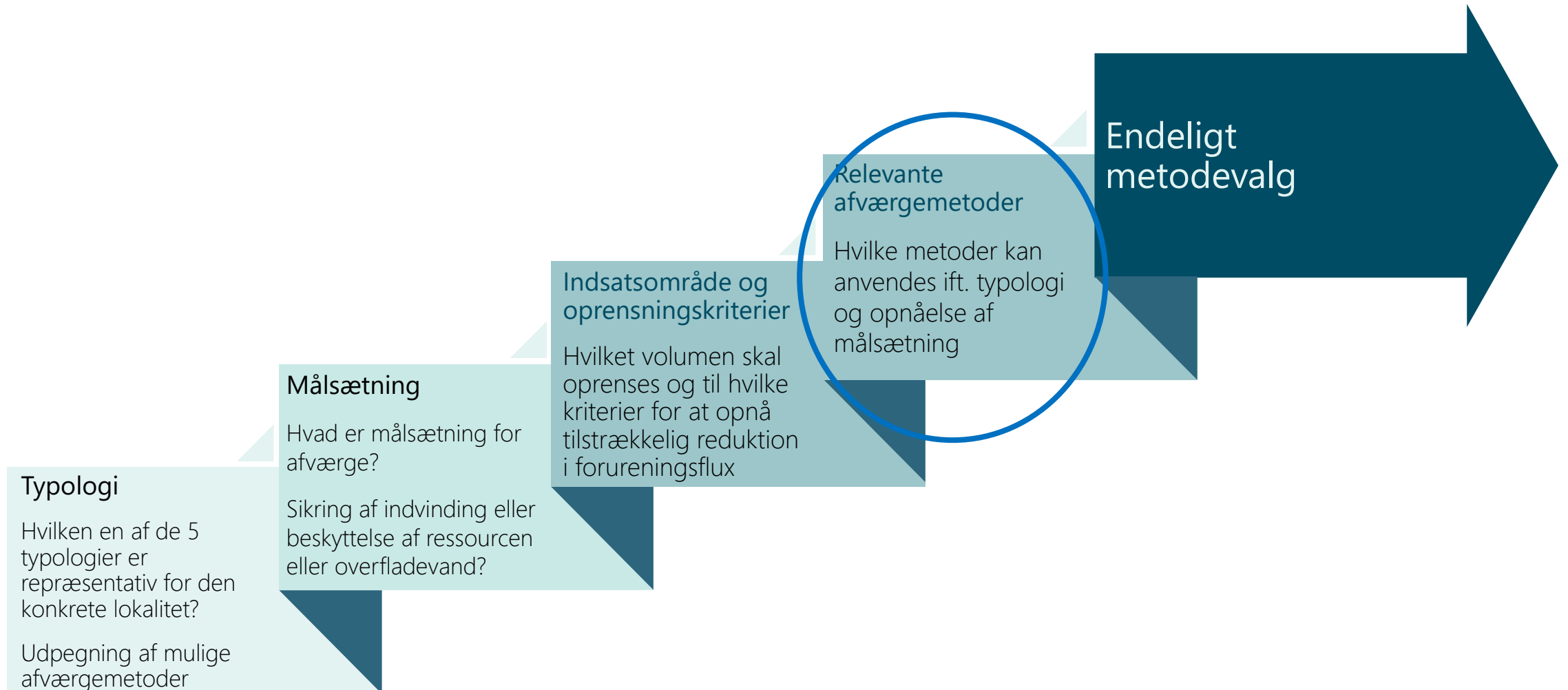
Iterationer for fastlæggelse:

- Risiko-flux → oprensningsvolumen og oprensningsskriterier
- Oprensningsvolumen og oprensningsskriterier → risiko-flux

Forskellige scenarier inden endelig fastlæggelse

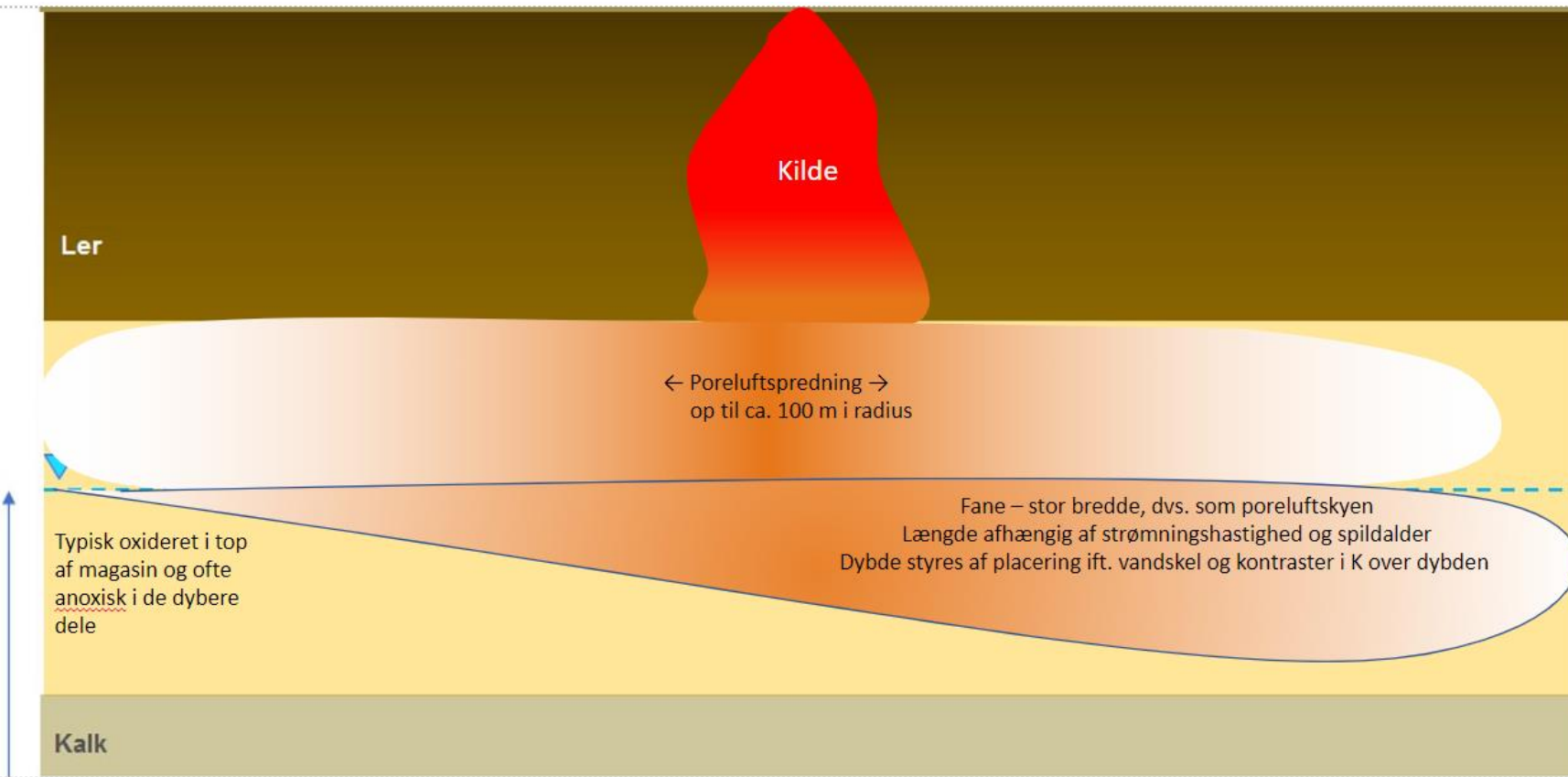


Opbygning af guiden



Intro anvendelse af guide i typologi 1

Eksempel på anvendelse af guide i typologi 1



Karakteristika:

- Dybden til grundvandsspejlet kan være ret stor (fx 15-20 m)
- Der kan være 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

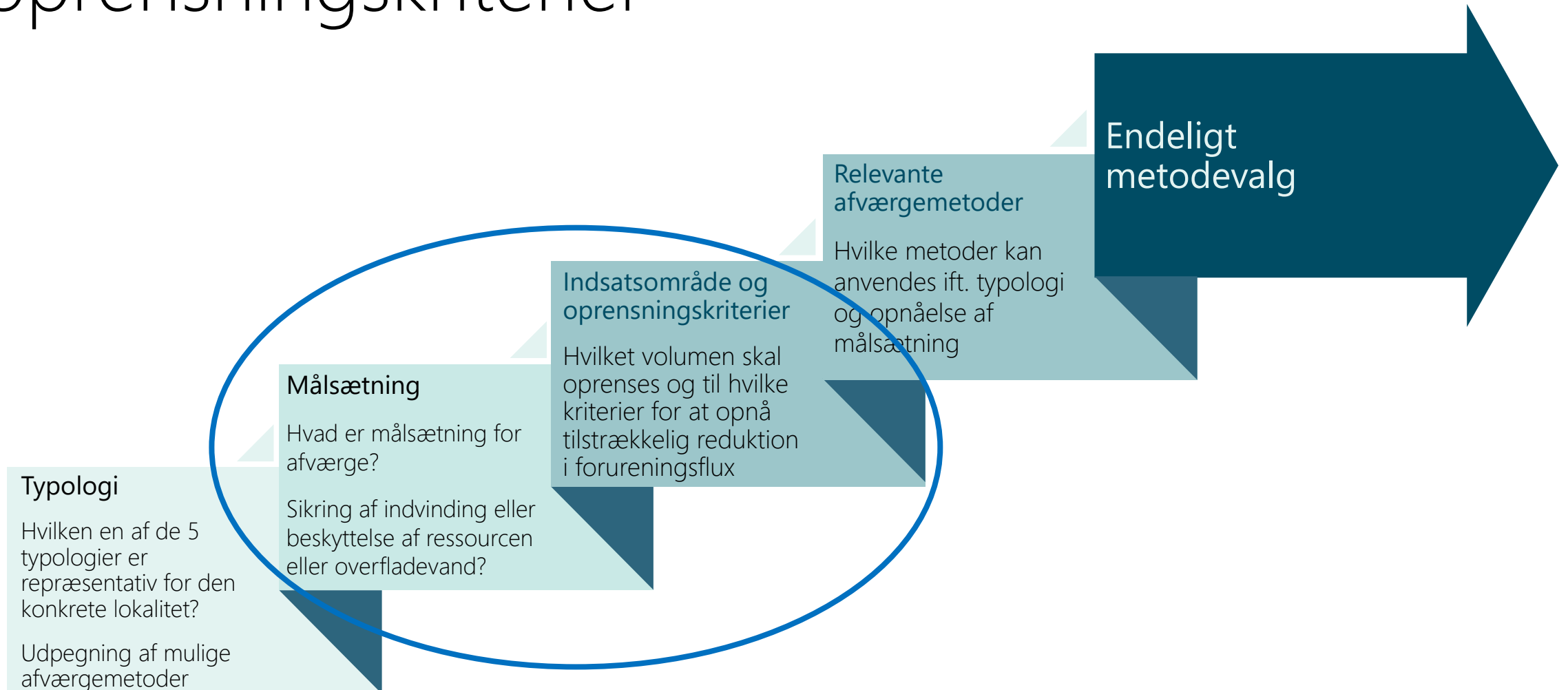
Eksempel på anvendelse af guide i typologi 1

Relevante afværgemetoder med vurderet "god" egnethed

Afværgemetode	Egnethed - Hele fanen		Egnethed - Del af fanen		Egnethed - Transekt		Egnethed - Reaktiv zone	
	Recirkulation Aktiv	Injektioner Passiv	Recirkulation Aktiv	Injektioner Passiv	Recirkulation Semi-passiv	Injektioner Passiv	Recirkulation Semi-passiv	Injektioner Passiv
Kemisk oxidation								
Kemisk reduktion				✓		✓		✓
Reduktiv dechlorering	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sorption kombineret med ISCR eller SRD				✓		✓		✓

Øvrige metoder	Egnethed
HRX	
DGR	✓
P&T	✓

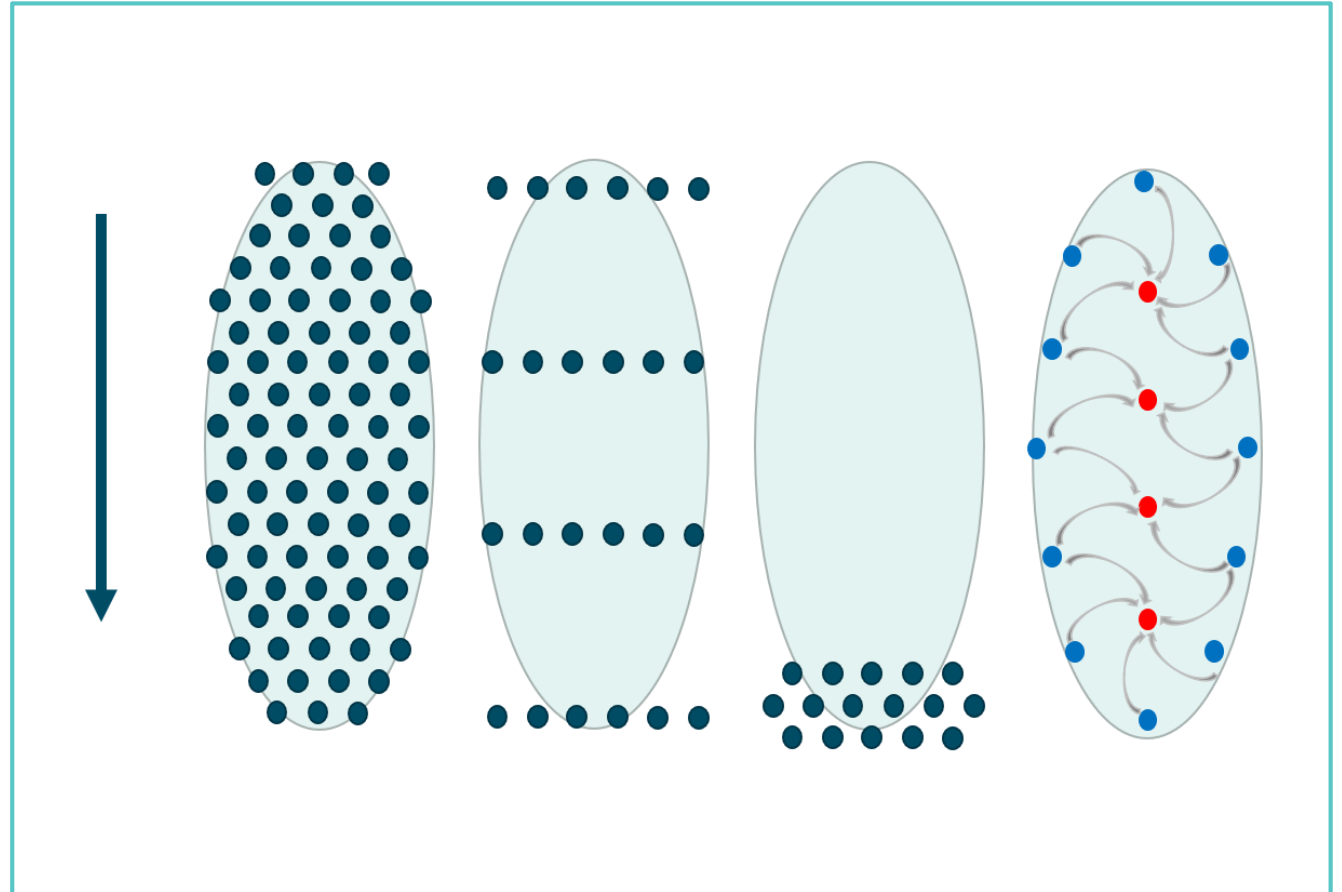
Fastlæggelse af målsætning, indsatsområde og oprensningskriterier



Udvælgelse af relevante afværgemetoder i typologi 1

Konceptuelle overvejelser -injektionsmetoder

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



Udvælgelse af relevante afværgemetoder i typologi 1

Konceptuelle overvejelser - reaktanter

Recirkulationsløsning på hele fanen:

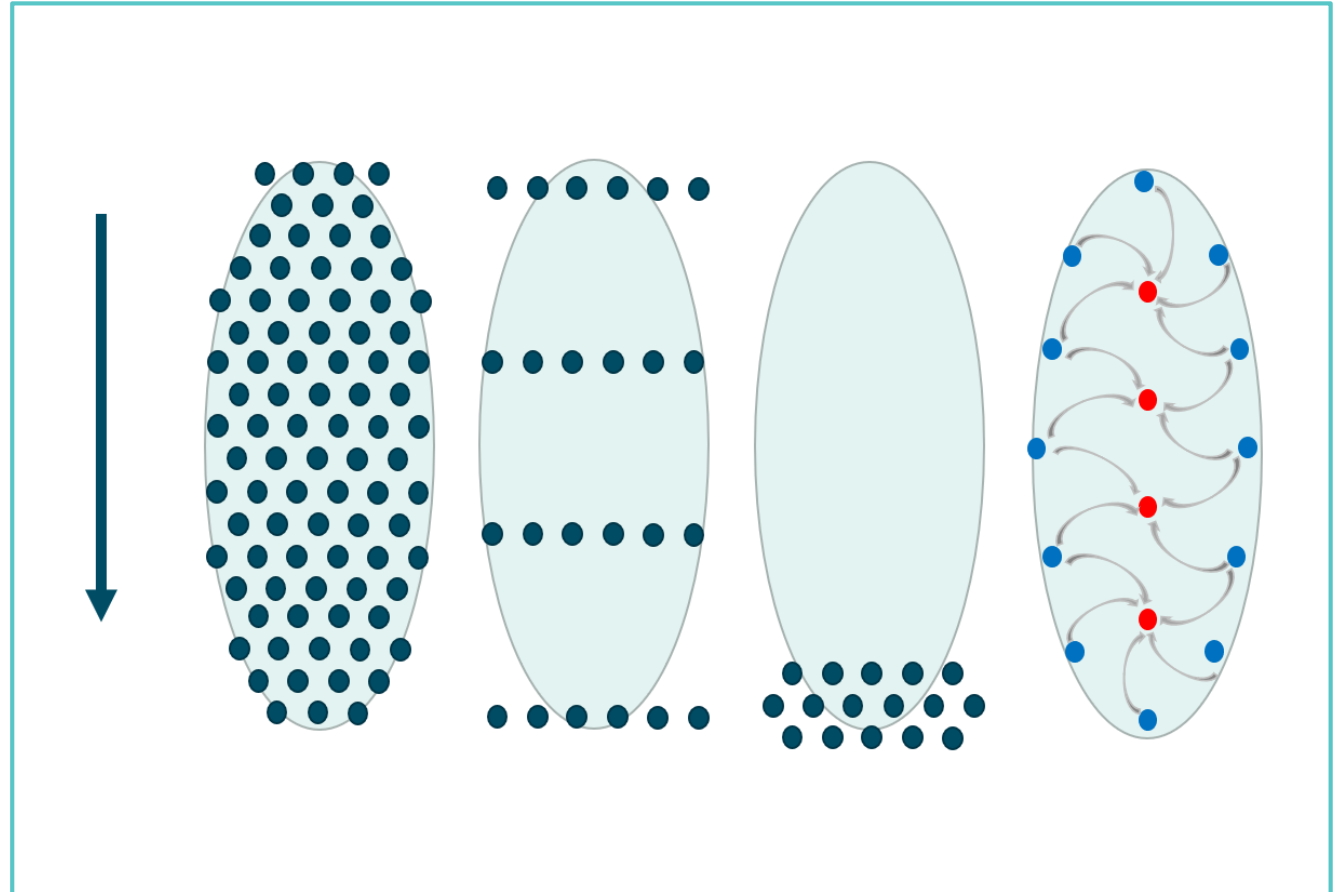
- Letomsætteligt substrat og bakteriekultur

Direkte injektioner:

- Langsamt-omsætteligt substrat og bakteriekultur samt mZVI

Udgår:

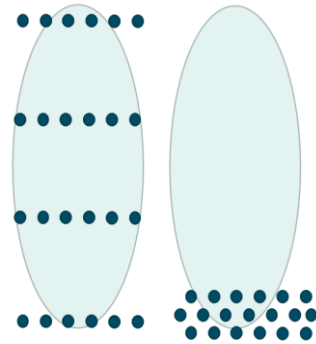
- ISCO:
 - Reducerede redoxforhold
 - Udfordringer med tilstrækkelig fordeling
 - Følsom over for tilbagediffusion
- Sorbenter:
 - Kun i kombination med SRD eller ISCR



Udvælgelse af relevante afværgemetoder i typologi 1

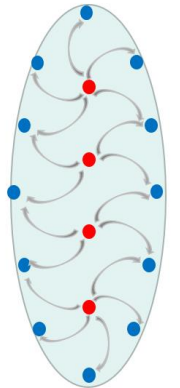
Passivt system - Direkte injektioner: Transekter eller barriere nedstrøms

- 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 (måske høje)

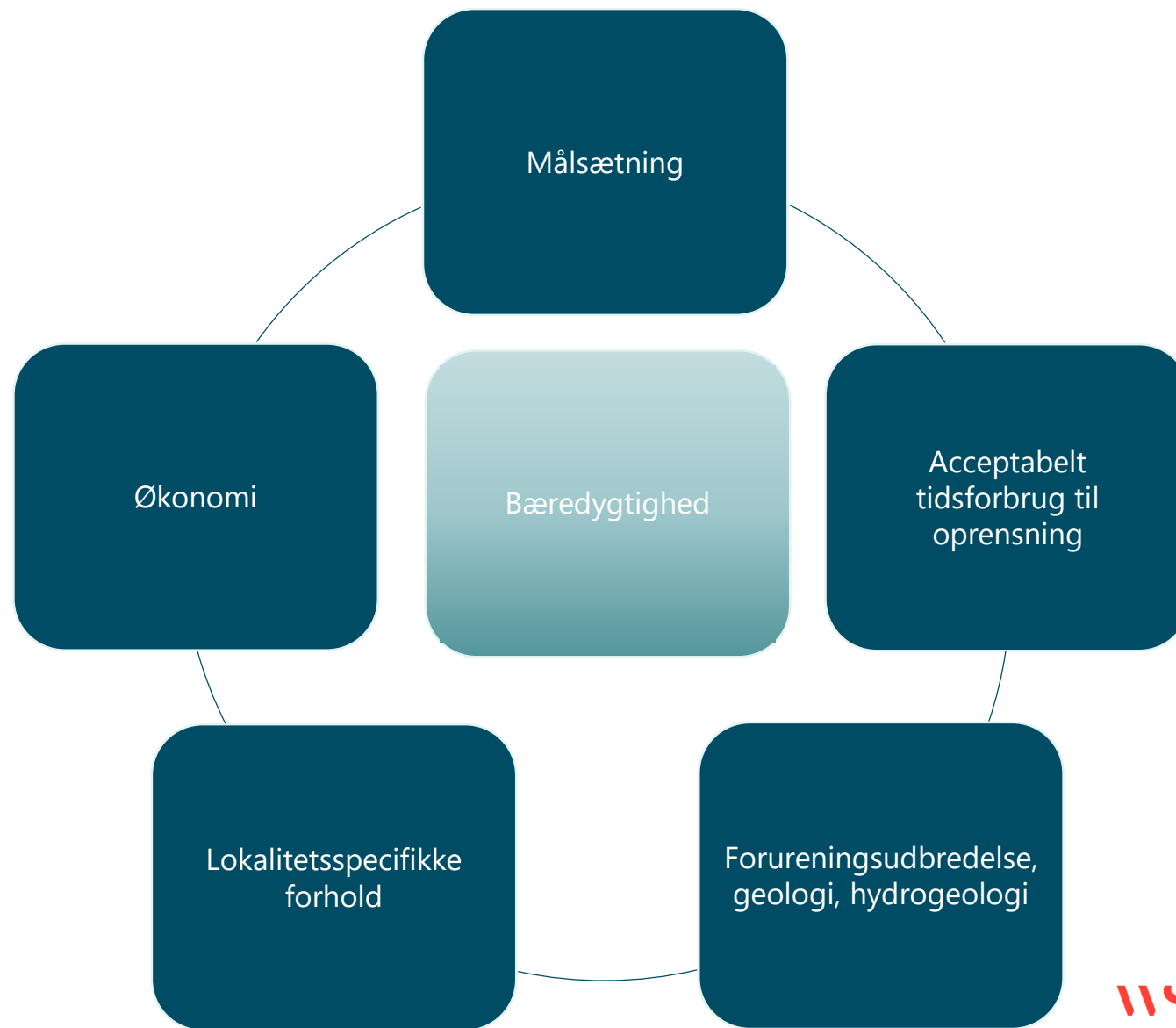


Aktivt system - Recirkulationsløsning: Hele behandlingsvoluminet

- Indledende design
 - Injektionsboringer, ekstraktionsboringer
 - Boreddybder
 - Behandlingsanlæg
 - Reaktant: Letomsætteligt substrat/bakteriekultur
- Vurdering af driftstid
- Vurdering af omkostninger:
 - Etableringsomkostninger (høje)
 - Driftsomkostninger (lave)
 - Herunder vurdering af tiltag ift. tilbagediffusion



Endeligt metodevalg



TAK for opmærksomheden