



Afværge af jordforureninger der truer overfladevand: Litteraturstudie og erfaringsopsamling

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Philip Binning WSP Danmark

Katerina Tsitonaki WSP Danmark

ISBN: 978-87-7564-084-3

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

Forord 6

Summary 7

Sammenfatning 12

1.	Baggrund og formål	17
1.1	Baggrund	17
1.2	Formål og delaktiviteter	18
1.2.1	Kategorisering af jordforureningslokaliteter	19
1.2.2	Kortlægning af mulige afværgeteknologier/-løsninger	19
1.2.3	Vurdering af forureningslokaliteter	19
1.2.4	Afværgestrategi	20
1.3	Grænseværdier og miljøkvalitetskrav	20
2.	Kategorisering af lokalitetstyper	21
2.1	Kategorisering af lokaliteterne	21
2.2	Væsentlige typer af forureningslokaliteter	23
3.	Afværgeteknologier til jordforurening, der påvirker overfladevand	24
3.1	Overblik over afværgeteknologier	24
3.2	Relevante afværgeteknologier for hver lokalitetstype	27
4.	Beslutningsstøtte	30
4.1	Relevante faktorer for valg af afværge	30
4.2	Hjælpeværktøjer til valg af afværgeteknologi	31
4.3	Bæredygtighed	32
5.	Vurdering af forureningslokaliteter	34
5.1	Forslag til vurderingskriterier	34
5.2	Brug af forureningsflux som vurderingskriterie	36
5.3	Demonstration af brugen af vurderingskriterier ved hjælp af udvalgte eksempler fra regionernes undersøgelser	37
5.4	Helhedsvurdering	44
5.5	Hvornår er en risikovurdering tilstrækkelig til at træffe beslutning om afværge?	45
6.	Supplerende feltundersøgelser	46
6.1	Supplerende feltundersøgelser	46
7.	Input til strategi for regionernes videre indsats	49
8.	Anbefalinger	51
8.1	Anbefalinger til bedre risikoscreening	51
8.2	Anbefalinger til supplerende undersøgelser	51
8.3	Anbefalinger til vurdering af risiko	52

8.4	Anbefalinger til afværgе	53
9.	Konklusion	54
10.	Referencer	56
11.	Bilag A: Kategorisering af lokaliteterne	61
11.1	Kategoriseringsparametre	61
11.2	Kategorisering af lokaliteterne	61
11.2.1	Kildetyper	61
11.2.2	Branche	62
11.2.3	Stoftyper	62
11.2.4	Afstand til overfladevand	65
11.2.5	Overfladevandstype	67
11.2.6	Vandføring i vandløb	68
11.3	Andre væsentlige forhold	69
11.3.1	Jordforureningens sammensætning og geometri	69
11.3.2	Forureningens masseflux	71
11.3.3	Geologi og hydrogeologi	72
11.3.4	Fysiske forhold (dræn, kloakker mm.)	73
11.3.5	Ripariske (Hyporreisk) zone	74
12.	Bilag B: Afværgeteknologier til jordforurening som påvirker overfladevand	76
12.1	Beskrivelse af mulige afværgeteknologier	76
12.1.1	Dæklag og spunsvæg	79
12.1.2	Udgravning	80
12.1.3	Håndtering af lossepladspærkat	81
12.1.4	Afværgepumpning og behandling af grundvand	82
12.1.5	Permeabel Reaktiv Væg	83
12.1.6	Bioremediering (biologisk nedbrydning)	85
12.1.7	Fytoremediering	86
12.1.8	In-situ kemisk oxidation (ISCO)	87
12.1.9	Termisk oprensning	88
12.1.10	Overvåget naturlig nedbrydning	90
12.2	Eksempler på afværgе på danske lokaliteter	91
12.2.1	Collstropgrunden, Esrum Sø	93
12.2.2	Grindsted Å	94
12.2.3	Høfde 42	97
12.2.4	Stige Ø Losseplads	98
12.2.5	Vejen Losseplads	99
12.3	Erfaringer med afværgе fra udenlandske lokaliteter	100
12.3.1	Chalk stream, UK	101
12.3.2	Haugesund Lufthavn, Norge	102
12.3.3	Levin Landfill, New Zealand	105
13.	BILAG C: Lokaliteter og afværgе	107
13.1	Lossepladser ved vandløb	107
13.1.1	Eksempel I: Spang Vade Losseplads	107
13.1.2	Eksempel II: Kommunal Losseplads I, Nykøbing F	109
13.2	Industri­lokaliteter ved kyster/fjorde	111
13.2.1	Eksempel: Limfjordsvej 21, Region Nordjylland	111
13.3	Lokaliteter ved søer eller vandløb med lav vandføring	113
13.3.1	Eksempel I: Losseplads Leby, Region Syddanmark	113

13.3.2	Eksempel II: Mortonsvej, Region Hovedstaden	115
13.3.3	Eksempel III: Søvej 1, Region Midtjylland	116
13.3.4	Eksempel IV: Maskinfabrikken Ferritslev Jernvarefabrik A/S ved Nyborgvej 29, Ferritslev	117
13.4	Jordforureninger med stor afstand til overfladevand	119
13.4.1	Eksempel: Gentoftegade 32	119
13.5	Stor vandføring (og industrigrund ved vandløb)	121
13.5.1	Eksempel: Raadvad knivfabrik, Region Hovedstaden	121
13.6	Tvivl om forureningsoprindelse	122
13.6.1	Eksempel: Skerrijsvej 4, Brande	122
13.7	PFAS	124
13.7.1	Eksempel I: Esbjerg Brandskole	124
13.7.2	Eksempel II: Kuwait Petroleum	126
13.8	Pesticidforurening	128
13.8.1	Eksempel: Måde Losseplads	128

Forord

Dette projekt er udført med midler fra Miljøstyrelsens teknologiudviklingspulje. Puljen har til formål at støtte teknologiudviklingen inden for undersøgelser og oprensning af jordforureninger.

Det skal bemærkes, at offentliggørelse af rapporten ikke nødvendigvis betyder, at Miljøstyrelsen er enig i rapportens indhold og konklusioner, men sker udelukkende med henblik på at dele viden om teknologiudviklingen på jordforureningsområdet.

Forfatterne vil gerne anerkende væsentlige input/bidrag fra en styregruppe bestående af følgende medlemmer:

John Flyvbjerg (Region Hovedstaden)
Jesper Schiøtt Jensen (Miljøstyrelsen)
Ann Steen Nikolajsen (Region Nordjylland)
Helle Larson (Region Midtjylland)
Heidi Hinge Krogsgaard (Region Syddanmark)
Lotte Tombak (Region Sjælland)
Helle Overgaard (Region Hovedstaden)
Cecilie Fisker Ottosen (DTU Sustain)

Summary

The five Danish Regions conducted field investigations at approximately 400 sites with soil contamination in 2021-2022, following an agreement with the Ministry of the Environment. These sites were assessed as potentially posing a risk to nearby surface water. The purpose of these investigations was to clarify whether risk sites identified using the Danish EPAs screening tool affected surface water, and to provide a basis for gathering experience on the issue. The results of the investigations showed that 117 of the investigated sites (about 30%) may pose a risk to surface water—either as the sole source of contamination or in combination with other sources.

The overall purpose of this project is to describe a strategy for the regions' continued efforts at sites where soil contamination can affect nearby surface water. The sub-objectives are:

- To describe when a risk assessment is sufficient to determine whether remediation measures should be implemented regarding nearby surface water.
- To map possible existing methods that can be used as remediation measures for contaminated sites affecting surface water.
- To identify knowledge gaps regarding data for risk assessment, available remediation solutions, etc.
- To describe an approach for assessing whether a site should be prioritised for remediation.

The report is based on scientific literature and experiences from the five regions' investigations, exemplified by 117 contaminated sites that have been assessed to pose a risk to surface water.

The project included the following activities

Categorization of site types

Based on the 117 identified sites, a systematic categorization was performed using several parameters, including site history (industry), types of detected contaminants, and distance to surface water. This approach resulted in a classification of sites into different types. The analysis shows that sites with the greatest impact on surface water are typically located in immediate proximity to the water. The most common "industry" is historical landfills, as these—unlike modern landfill sites—are not designed to prevent the spread of pollution. PFAS is the most frequently registered contaminant, found at 62% of the investigated sites. At about one-third of these, the site is considered the primary source of PFAS contamination in surface water. Based on the categorization parameters, the most common site types are described with specific examples illustrating the most frequent issues.

Possible Remediation Solutions

The project reviewed Danish and international literature to identify possible remediation solutions. Several suitable remediation methods exist, most originally developed to clean contaminated soil and groundwater. Applying these techniques near surface water is relatively new, especially in Denmark. The report discusses advantages and disadvantages of each method for relevant site types. Proximity to surface water leads to space constraints for remediation choices. In some cases, technical solutions for source treatment can be implemented, for example, on industrial sites where the source is well-defined and defined within a small area. In other cases, such as older landfills, the size of the contaminated area may mean that the most appropriate approach is to limit leachate discharge and/or collect and treat the leachate.

Site evaluation

In determining which sites to prioritize for remediation, the regions conduct assessments using key criteria such as contaminant concentrations in surface water relative to environmental quality standards, sustainability considerations, and the anticipated impact of the intervention.

This report proposes further systematizing the process by introducing supplementary evaluation criteria, which enable the comparison of sites and help identify knowledge gaps that require additional investigation.

These supplementary evaluation criteria include:

- Exceedance factor of the threshold value in surface water
- Contaminant mass discharge from the source to surface water
- Distance to surface water
- Purpose of site use, including synergies (e.g., with climate adaptation measures)
- Status of surface water, including: ecological status, Danish fish index, bird protection areas, climate lowland soils, Natura 2000
- Mixing/evaporation/degradation in surface water
- Length of affected watercourse section
- Cost of remediation
- Presence of other sources polluting the surface water

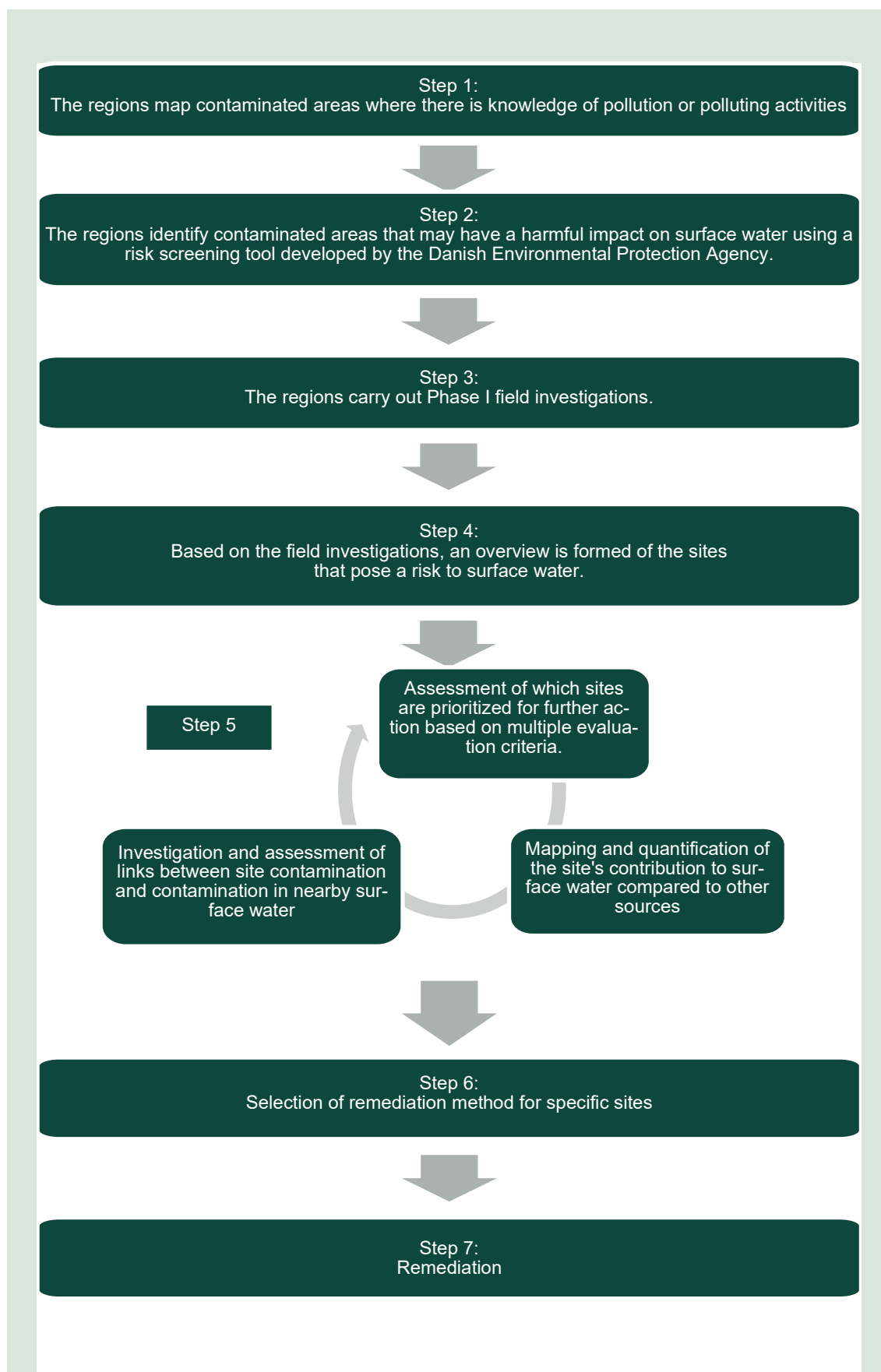
The initiation of remediation measures is determined by regional authorities. It is advisable that this decision-making process be conducted in collaboration and consultation with relevant stakeholders who have the requisite expertise to achieve the most effective outcomes.

Need for Additional Field Investigations

Conducting field investigations and collecting essential information is vital for supporting risk assessments and guiding decisions on remediation efforts. Additional investigations may be necessary to ensure there is enough data to design and choose appropriate remediation solutions. This report outlines the kinds of investigations generally needed before making decisions about remediation.

Process for the regions efforts regarding contaminated sites that pose a threat to surface water:

The report presents a comprehensive process for the regions continuing efforts dealing with contaminated sites threatening surface water, summarised in seven steps. Steps 1-4 describe existing and partially completed processes. Steps 5-7 are the result of this project and describe the continued effort regarding surface water. The purpose of the process is to support the regions in prioritizing which sites should proceed to remediation.



Process for the regions' efforts regarding contaminated sites that threaten surface water. Steps 1–4 describe existing and partially completed processes. Steps 5–8 describe proposals for further action and are elaborated in this report.

The purpose of the process is to support the regions in prioritizing which sites should proceed to remediation. The process consists of seven steps: Steps 1-4 are continuously carried out as part of the regions' efforts (Sørensen, et al., 2023). Steps 5-7 are the result of this project and describe the continued effort regarding surface water.

Step 5: This stage involves a cyclical process comprising three sub-steps. Initially, evaluation criteria are applied to determine which sites should advance to further investigation or remediation. Subsequent investigations focus on: (a) assessing the relative contribution of each site to pollution within the catchment area, and (b) analyzing the connection between the site and surface water—an aspect not covered during the initial investigations in Step 3. Finally, the evaluation criteria are reviewed again to facilitate an informed decision regarding the necessity of remediation.

Step 6: Selection and design of the remediation effort. The report describes remediation options, their pros and cons, and methods for choosing the right remediation method. The knowledge gathered in Step 5 can be used for selecting the remediation method, along with further assessment of the expected effect.

Step 7: Implementation of the remediation measures.

Recommendations:

The project has resulted in the following specific recommendations for the regions' efforts regarding all steps, from risk screening to investigations, assessment, and remediation. It is recommended to:

1. **Expand the Danish Environmental Protection Agency's risk screening tool to also include PFAS.** In addition, it is recommended to initiate a special effort to assess the consequences of PFAS soil contamination on surface water, due to the extent of diffuse pollution.
2. **Conduct supplementary investigations at relevant sites, in order to further clarify the connection between contamination and surface water.** This includes better mapping of the connection between contamination in groundwater and nearby surface water through the collection of coherent data. The supplementary investigations should also include examination of any direct, near-surface contamination that spreads through ditches and drains. Furthermore, it is recommended to carry out further investigations of contamination in sediment, as this can constitute a long-term source of surface water pollution, especially for PFAS and heavy metals.
3. **Consider whether non-target analyses should be included in field investigations** to identify unknown or overlooked substances, including pharmaceuticals.
4. **Work systematically to identify other sources of surface water contamination,** so that the total load on surface water and the effect of remediation can be better assessed.
5. **Gather experience with the evaluation criteria necessary to support a decision on remediation.** These include: the extent of surface water contamination, characterization of soil contamination, hydrogeological and hydrological mapping, geological investigations, mapping of contaminant plumes discharging to surface water, diffusion between bottom sediment and water, seasonal variation in groundwater contaminant flux, mapping of other sources of contamination, ecological conditions and ecological risk assessment, and physical conditions for surface water. It is recommended that

the evaluation criteria are continuously assessed and adapted based on experience. Assessments should be carried out in close dialogue with stakeholders who possess the necessary professional competencies to evaluate them.

6. **Initiate a targeted effort against old landfills**, e.g., with leachate collection and capping, and develop clear guidelines for their management.
7. **Test and further develop new remediation technologies under Danish conditions**, and prepare a national guideline on monitored natural attenuation as an alternative to active remediation for contaminated sites that threaten surface water.
8. **The current resources for handling soil contamination affecting surface water are insufficient**. Therefore, it is recommended to seek synergies with other green agendas and collaborate on resources, for example with climate and lowland projects, to strengthen efforts against the impact of soil contamination on surface water.

Sammenfatning

Regionerne gennemførte i 2021-2022, efter aftale med Miljøministeriet feltundersøgelser ved ca. 400 lokaliteter med jordforurening, som var vurderet til at kunne udgøre en risiko for målsat overfladevand. Formålet med disse undersøgelser var at afklare, om risikolokaliteter udpeget med Miljøstyrelsens screeningsværktøj reelt påvirkede overfladevand samt danne grundlag for en erfaringsopsamling om problematikken. Resultaterne af undersøgelserne viste, at 117 af de undersøgte lokaliteter (ca. 30 %) kan udgøre en risiko for overfladevand – enten som den eneste forureningskilde eller i kombination med andre forureningskilder.

Det overordnede formål med nærværende projekt er at beskrive en strategi for regionernes videre indsats på lokaliteter, hvor det er konstateret, at jordforurening kan påvirke nærliggende overfladevand.

Projektet har herunder følgende delformål:

- At beskrive, hvornår en risikovurdering er tilstrækkelig til at vurdere, om der skal gennemføres afværgeforanstaltninger i forhold til nærliggende overfladevand.
- at kortlægge mulige eksisterende metoder, der kan anvendes som afværgeforanstaltninger ift. jordforureningers påvirkning af overfladevand.
- at kortlægge videnshuller i forhold til data til risikovurdering, tilgængelige afværgeløsninger mm.
- At beskrive en tilgang til, hvordan det kan vurderes, om en lokalitet skal prioriteres til afværge.

Rapporten bygger på den faglige litteratur og erfaringer fra de 5 regioners undersøgelser. Denne erfaring eksemplificeres igennem de 117 undersøgte jordforureninger, hvor det er vurderet, at de udgør en risiko overfor overfladevand.

Projektet har omfattet følgende aktiviteter:

Karakteristika og lokalitetstyper for jordforureninger, der udgør en risiko for overfladevand:

På baggrund af de 117 identificerede lokaliteter er der foretaget en systematisk kategorisering baseret på flere parametre, herunder lokaliteternes historik (branche), typer af påviste forureningsstoffer samt lokaliteternes afstand til overfladevand. Denne tilgang har resulteret i en klassificering af lokaliteterne i forskellige typer.

Analysen viser, at lokaliteter med størst indvirkning på overfladevandet typisk befinder sig i umiddelbar nærhed af vandet. Den mest udbredte aktivitet relateret til jordforurening, som påvirker overfladevand, er historiske lossepladser, idet disse – i modsætning til moderne deponi-anlæg – ikke er konstrueret til at forhindre spredning af forurening. PFAS er den hyppigst registrerede forureningstype og findes ved 62 % af de undersøgte lokaliteter. På ca. 1/3 af disse vurderes lokaliteten at være den primære kilde til PFAS forurening i overfladevandet.

Baseret på kategoriseringsparametrene er de mest almindelige lokalitetstyper beskrevet med tilhørende konkrete eksempler, som illustrerer de mest hyppige problemstillinger. Den mest udbredte lokalitetstype er gamle lossepladser nær vandløb eller kyster.

Mulige afværgeløsninger overfor jordforureninger, der udgør en risiko ift. overfladevand:

Projektet har gennemgået dansk og international litteratur med det formål at identificere mulige afværgeløsninger. Der findes flere egnede afværgemetoder, hvoraf de fleste oprindeligt blev udviklet til at rense forurenede jord og grundvand. Implementeringen af disse teknikker til overfladevand er relativt ny, især i Danmark. Samtlige metoder har både fordele og ulemper, hvilket rapporten belyser ved at vurdere dem for relevante lokalitetstyper. Lokaliteterne er ofte beliggende nær overfladevand, hvilket medfører pladsrestriktioner for valg af afværgeløsning. I visse tilfælde kan tekniske løsninger til kildebehandling implementeres, eksempelvis på industrigrunde, hvor kilden er veldefineret og har et mindre areal. I andre tilfælde, som ved ældre lossepladser, kan størrelsen af det forurenede areal betyde, at den mest hensigtsmæssige tilgang er at begrænse perkolatudslip og/eller indsamle og rense det udsivende perkolat.

Evaluerings af lokaliteterne : I forbindelse med planlægningen af hvilke lokaliteter, der skal afværges, foretager regionerne en vurdering. Denne vurdering baseres på flere centrale kriterier, herunder koncentrationen af miljøfarlige stoffer i overfladevandet ift. gældende miljøkvalitetskrav og kvalitetskriterier, bæredygtigheden samt den forventede effekt af indsatsen.

Rapporten foreslår en yderligere systematisering af denne proces ved at bruge en række supplerende vurderingskriterier. Metoden tillader sammenligning af lokaliteter på tværs, samt afdækker videnshuller, hvor supplerende undersøgelser er nødvendige.

Disse supplerende **vurderingskriterier** er:

- Overskridelsesfaktor af grænseværdien i overfladevand
- Forureningsflux fra kilden til overfladevandet
- Afstand til overfladevand
- Anvendelsesformål for lokaliteten, herunder synergieffekter (fx med klimatilpasning)
- Overfladevandets status herunder: Økologisk tilstand, Dansk fiskeindeks, Fuglebeskyttelses områder, Klimalavbundsgrunde, Natura 2000.
- Opblanding/afdampning/nedbrydning i overfladevand
- Længde af påvirket vandløbsstrækning
- Pris på afværge
- Tilstedeværelse af andre kilder, der forurener overfladevandet

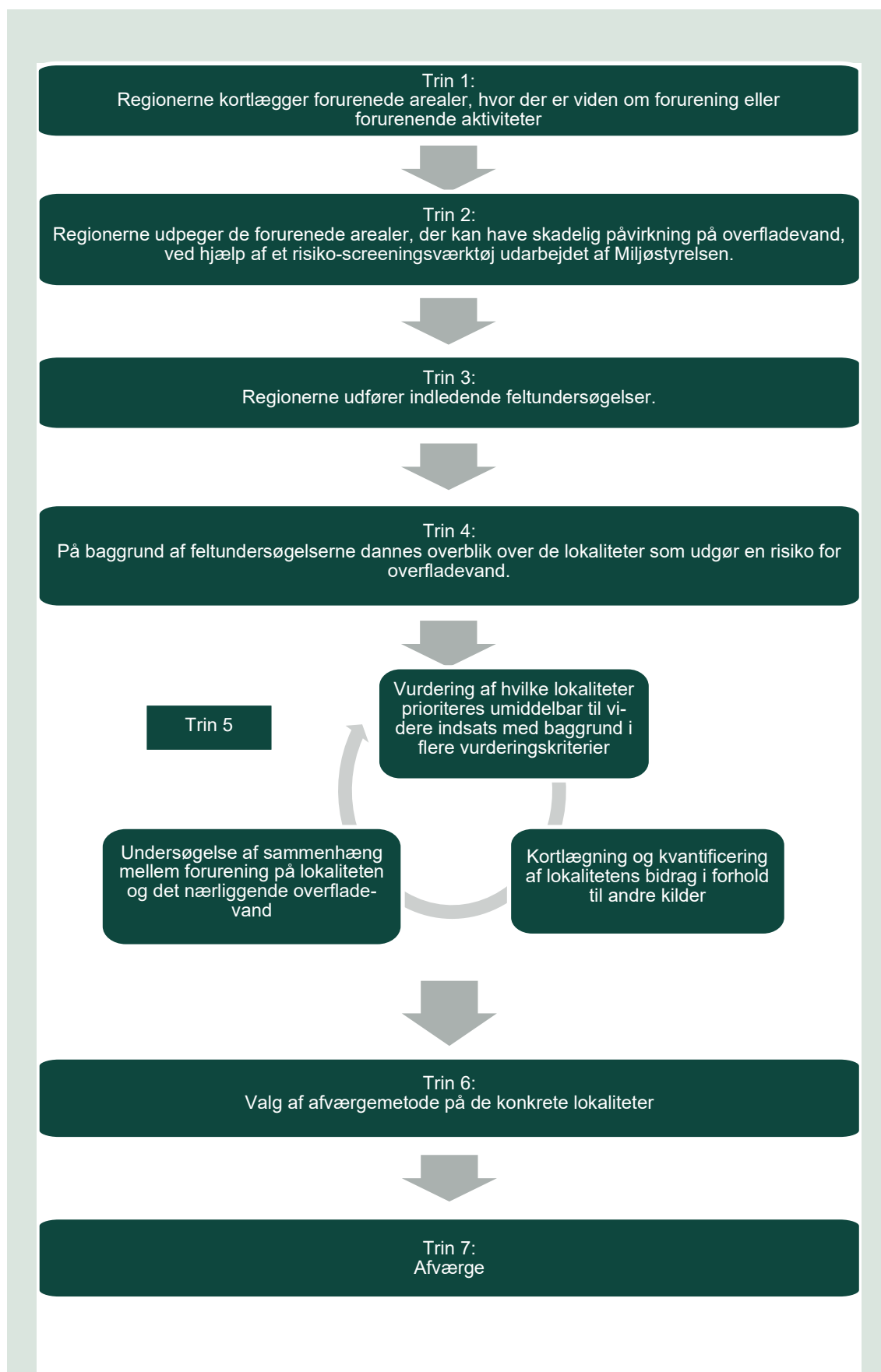
Beslutningen om igangsættelse af afværgeforanstaltninger træffes af regionerne: Det anbefales, at beslutningsprocessen sker i tæt dialog og samarbejde med relevante interessenter, der besidder de nødvendige faglige kompetencer til at sikre optimale løsninger.

Behov for supplerende feltundersøgelser:

At gennemføre feltundersøgelser og indsamle den nødvendige viden er afgørende for at understøtte risikovurderinger og beslutninger om afværgeindsats. For at arbejde videre mod design og valg af konkrete afværgeløsninger kan det være nødvendigt at udføre yderligere feltundersøgelser for at give et tilstrækkeligt grundlag for beslutninger om afværgeforanstaltninger. Rapporten giver et overblik over de undersøgelsestyper, der typisk vil være nødvendige, før der kan tages beslutninger om afværgeindsatser.

Proces for regionernes videre indsats:

Rapporten præsenterer en samlet proces for regionernes indsats med jordforureninger der truer overfladevand, som opsummeres af følgende 7 trin.



Proces for regionernes indsats med jordforureninger der truer overfladevand. Trin 1-4 beskriver eksisterende og delvist gennemførte processer. Trin 5-8 beskriver forslag til den videre indsats og uddybes i denne rapport.

Formålet med processen er at understøtte regionerne i prioritering af, hvilke lokaliteter der skal videre til afværge.

Processen består af syv trin:

Trin 1-4 bliver løbende gennemført som en del af regionernes indsats (Sørensen, et al., 2023).

Trin 5-7 er dette projekts resultat og beskriver den videre indsats ift. overfladevand:

Trin 5 består af en cirkulær proces med tre deltrin. Først kan der ved hjælp af vurderingskriterier prioriteres hvilke lokaliteter, der skal udføres en videre indsats på i form af supplerende undersøgelser eller afværge. Derefter skal der udføres supplerende undersøgelser for a) at kortlægge forureningens bidrag i forhold til evt. andre forureningskilder i oplandet og b) undersøge sammenhængen mellem lokaliteten og overfladevandet, noget der ikke er udført i de indledende undersøgelser udført i Trin 3. Derefter kan vurderingskriterierne atter evalueres og en beslutning om behov for afværge kan træffes.

Trin 6 handler om udvalg og design af afværgeindsatsen. Rapporten beskriver afværgemulighederne, deres fordele og ulemper, og metoder til at vælge den rette afværgemetode. Den indsamlede viden under undersøgelserne ved Trin 5 kan bruges til valg af afværgemetoden, sammen med en yderligere vurdering af afværgens forventede effekt.

Trin 7 Selve afværgeforanstaltningerne udføres.

Anbefalinger:

Projektet er kommet frem til følgende konkrete anbefalinger til regionernes indsats vedr. alle trin, fra risikoscreening, til undersøgelser, vurdering og afværge.

Det anbefales at:

1. Udvide Miljøstyrelsens risikoscreeningsværktøj til også at omfatte PFAS. Derudover anbefales det at iværksætte en særlig indsats for at vurdere konsekvensen af PFAS jordforurening over for overfladevand, grundet omfang af den diffuse forurening.
2. Udføre supplerende undersøgelser på relevante lokaliteter, især for at afklare sammenhængen mellem forurening og overfladevand. Det indebærer en bedre kortlægning af forbindelsen mellem forurening i grundvandet og nærliggende overfladevand gennem indsamling af sammenhængende data. De supplerende undersøgelser bør også omfatte undersøgelse af evt. direkte, overfladenær forureningsspredning gennem grøfter og dræn, der forbinder den forurenede lokalitet med overfladevandet. Derudover anbefales det at udføre videre undersøgelser af forurening i sediment, da det kan udgøre en langvarig kilde til forurening af overfladevand, især for PFAS og tungmetaller.
3. At overveje om non-target analyser skal inddrages i feltundersøgelser for at identificere ukendte eller oversete stoffer, herunder også lægemidler.
4. At arbejde systematisk med opsporing af andre kilder til forurening af overfladevandet, så man bedre kan vurdere de samlede belastninger af overfladevand og effekten af afværge
5. At erfaring opbygges med de vurderingskriterier som er nødvendige for at underbygge en beslutning om afværge: Omfanget af overfladevandsforureningen, karakterisering af jordforureningen, hydrogeologisk og hydrologisk kortlægning, geologiske undersøgelser, kortlægning af forureningsfaner som udløber til overfladevand, diffusion mellem bundsediment og vand, sæsonvariation af grundvandets forureningsflux, kortlægning af andre kilder til forurening, økologiske forhold og økologisk risikovurdering, fysiske forhold for overfladevand. Det anbefales, at der foretages en løbende evaluering af vurderingskriterierne, så de tilpasses erfaringer og bedst muligt

understøtter indsatsen. Vurderingerne skal foretages i tæt dialog med de interessenter, som besidder de nødvendige faglige kompetencer til at vurdere dem.

6. At iværksætte en målrettet indsats mod ældre lossepladser, f.eks. med perkolatopsamling og dæklag, og udarbejde klare retningslinjer for håndteringen.
7. At afprøve og videreudvikle nye afværgeteknologier under danske forhold samt udarbejde en national vejledning om overvåget naturlig nedbrydning som alternativ til aktiv afværgeindsats.
8. De nuværende ressourcer til håndtering af jordforureninger, der påvirker overfladevand, er ikke tilstrækkelige. Derfor anbefales det at opsøge synergier med andre grønne dagsordener og samarbejde om ressourcer, for eksempel med klima- og lavbundsprojekter, for at styrke indsatsen mod jordforurenings påvirkning af overfladevand.

1. Baggrund og formål

1.1 Baggrund

Med en ændring i jordforureningsloven i 2013, blev jordforureninger, der udgør en risiko overfor overfladevand og natur en del af regionernes indsats. På denne baggrund gennemførte regionerne i 2014-2018 en risiko-screening af samtlige ca. 38.000 kortlagte lokaliteter med jordforureninger på landsplan. Dette resulterede i, at godt 1.200 lokaliteter blev udpeget som mulige risikolokaliteter i forhold til overfladevand. Det skal bemærkes, at den gennemførte risiko-screening ikke omfattede PFAS-forbindelser. Det reelle antal risikolokaliteter må derfor forventes at være noget større. De centrale principper i risikoscreeningsværktøjet beskrives i faktaboks 1.

Faktaboks om Miljøstyrelsens risikoscreeningsværktøj (Miljøstyrelsen, 2025)

For at sikre sammenhæng og ensartethed har Miljøstyrelsen sammen med regionerne, konsulenter og DTU Miljø opstillet et screeningsprincip for udpegning af jordforureninger, der kan true overfladevand.

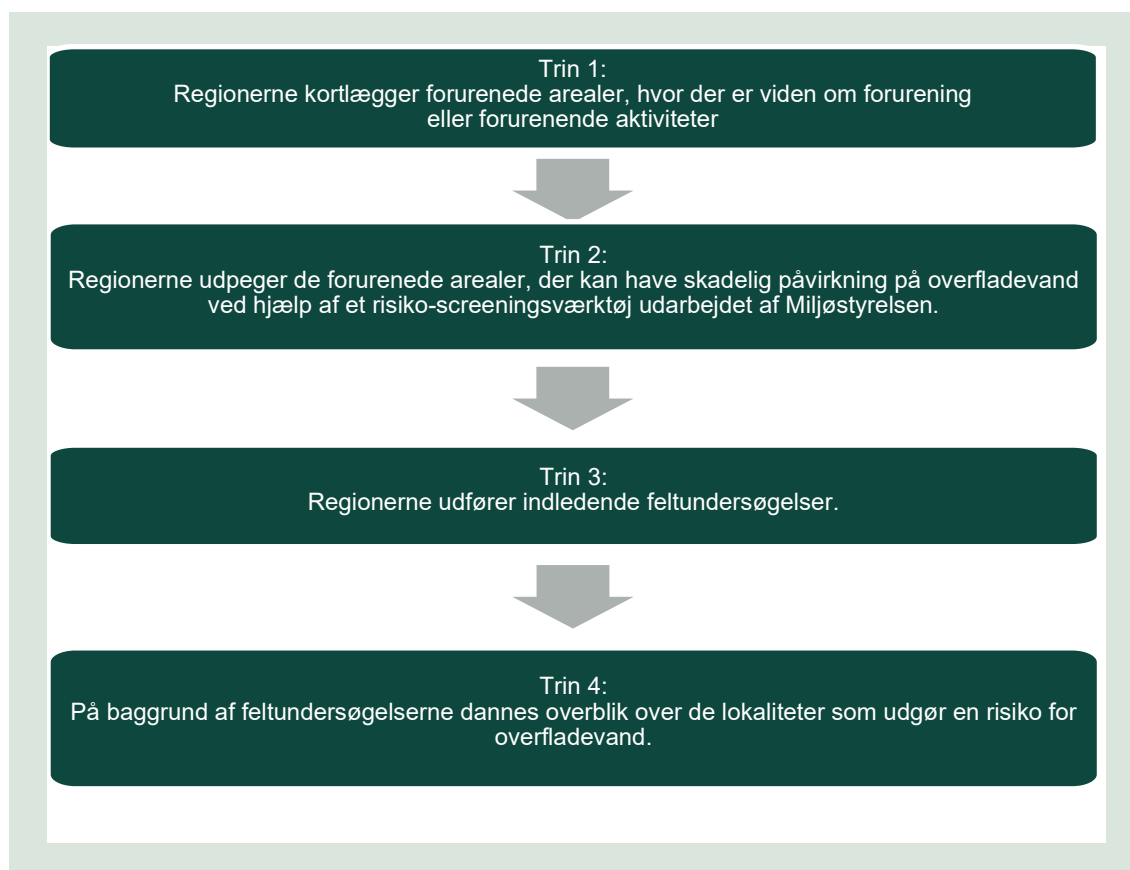
Regionerne kan ved hjælp af screeningsværktøjet vurdere kortlagte jordforureningers risiko for overfladevand og fastlægge den offentlige indsats overfor overfladevand.

Miljøstyrelsens risikoscreeningsværktøj bygger på 4 centrale principper.

1. Kritisk afstand: Det vurderes, om den afstand, der er mellem forureningskilden og det nærliggende vandområde, er kritisk
 2. Forureningskilde: Derefter beregnes koncentrationen af den forurening, der siver ud fra det kortlagte område
 3. Opblanding og fortynding: Så bestemmes graden af forureningskoncentration, når den opblandes og fortyndes med vandet i det nærliggende vandområde
 4. Risiko: Til sidst sammenlignes forureningskoncentrationen (kapitel 3) med miljøkvalitetskravet for vandområdet, og der bestemmes en overskridelsesfaktor
- Kilde: Miljøstyrelsen (2025): Screeningsprincip for jordforureninger der kan true overfladevand.

I denne rapport betegnes en jordforurening som et område, der omfattes af jordforureningsloven af 2017 (LBK nr. 282 af 27/03/2017). Dvs. et forurenet område som kan have skadelig virkning på grundvand, overfladevand, naturbeskyttelsesområder eller mennesker på et areal med bolig, børneinstitution eller offentlig legeplads. En kortlagt lokalitet er et areal, hvor der findes en jordforurening eller er mistanke om jordforurening.

Regionernes hidtidige indsats siden 2013 i forhold til jordforureninger, der kan true overfladevand, kan sammenfattes i en proces beskrevet i trin 2-4 i FIGUR 1.



FIGUR 1. Regionernes nuværende proces for jordforureninger, der truer overfladevand

Regionerne gennemførte i 2021-2022 efter aftale med Miljøministeriet feltundersøgelser ved 388 af de godt 1.200 risikolokaliteter, som blev udpeget på baggrund af risikoscreeningerne. Formålet med disse undersøgelser var at afklare, om lokaliteter udpeget med screeningsværktøjet reelt påvirkede overfladevand samt danne grundlag for en erfaringsopsamling om problematikken. Resultaterne af undersøgelserne viste, at forurening ved 117 af de undersøgte lokaliteter (ca. 30 %) kan udgøre en risiko for overfladevand – enten som den eneste forureningskilde eller i kombination med andre forureningskilder.

Det skal understreges, at de 117 lokaliteter ikke udgør samtlige kortlagte områder, der potentielt kan påvirke overfladevandet, da kun en del af de lokaliteter, som regionerne ved hjælp af screeningsværktøjet har identificeret som risikolokaliteter i forhold til overfladevand, er blevet undersøgt. Der er således ca. 800 risikolokaliteter (primært V1-lokaliteter), som endnu ikke er blevet undersøgt i forhold til, om de udgør en risiko for overfladevand. Desuden kan screeningsværktøjet ikke regne på PFAS-risiko, så der er lokaliteter med PFAS-risiko overfor overfladevand, som endnu ikke er lokaliserede. De knap 400 lokaliteter, som indgik i undersøgelser, blev dog undersøgt for PFAS risiko i det omfang det blev vurderet, at lokaliteten kunne udgøre en risiko for påvirkning af det aktuelle overfladevand med PFAS.

1.2 Formål og delaktiviteter

Det overordnede formål med denne rapport er at foreslå en strategi for regionernes videre indsats på lokaliteter, hvor det er konstateret, at jordforurening kan påvirke nærliggende overfladevand.

Projektet har herunder følgende delformål:

- At beskrive, hvornår en risikovurdering er tilstrækkelig til at vurdere, om der skal gennemføres afværgeforanstaltninger i forhold til nærliggende overfladevand.

- at kortlægge mulige eksisterende metoder, der kan anvendes som afværgeforanstaltninger ift. jordforureningers påvirkning af overfladevand.
- at kortlægge videnshuller i forhold til data til risikovurdering, tilgængelige afværgeløsninger mm.
- At beskrive en mulig tilgang til, hvordan det kan vurderes, om en lokalitet skal prioriteres til afværgeindsats.

Rapporten er baseret på et litteraturstudie og regionernes erfaringsopsamling. Her er der især fokus på de indtil videre 117 lokaliteter hvor der er en påvirkning af overfladevand over grænseværdien (Sørensen, et al., 2023).

Rapporten omfatter nedenstående delaktiviteter.

1.2.1 Kategorisering af jordforureningslokaliteter

Der er udført en kategorisering af de 117 lokaliteter, der i forbindelse med regionernes undersøgelser i 2021-2022 blev vurderet at kunne udgøre en risiko for overfladevand. Kategoriseringen er baseret på data omkring branche, stoftyper, afstand til overfladevand, overfladevands-type, vandføring i vandløb mm. Resultatet af kategoriseringen er identificering af nogle væsentlige lokalitetstyper, som bruges til at eksemplificere rapportens arbejde med evaluering af lokaliteter og valg af afværgeteknologier.

Resultatet af kategoriseringen er beskrevet i kapitel 2.

1.2.2 Kortlægning af mulige afværgeteknologier/-løsninger

På baggrund af et litteraturstudie er potentielle afværgeteknologier/-løsninger, der kan anvendes på de mest almindelige typer af lokaliteter, der påvirker overfladevand, blevet kortlagt. På mange af lokaliteterne vil det sikkert være muligt at anvende afværgemetoder, der er god erfaring med ift. forurenet grundvand. Her tænkes bl.a. på jordforureninger, der ligger i en vis afstand fra overfladevand, og/eller hvor en velafgrænset forureningsfane bevæger sig fra jordforureningen og via grundvandet ud til overfladevandet. I flere tilfælde vil der dog være brug for at tænke i andre løsninger. Det gælder bl.a. jordforureninger, der ligger tæt på eller helt ned til overfladevandet og som også kan have en længere udstrækning langs overfladevandet. Et typisk eksempel er lossepladser, beliggende i et engareal langs et vandløb eller en gammel industrigrund med stort kildeareal, som ligger langs en kyststrækning.

I denne rapport fokuseres der på afværgeteknologier og problemstillinger specifikt for grundvandsbåren forurening, der påvirker overfladevand. Danske og internationale eksempler på anvendelser af afværgeteknologierne er beskrevet for de mest relevante teknologier.

De mulige afværgeteknologier ift. Jordforureninger, der påvirker overfladevand er beskrevet i kapitel 3.

For at konkretisere problemstillingerne i valg af afværgemetoder, er eksempler på jordforureninger for hver lokalitetstype præsenteret i Bilag C (Kapitel 13) med en diskussion af mulige afværgeløsninger, manglende data og brug for videregående feltundersøgelser samt hvor der er videnshuller.

Et overblik over beslutningsstøttende værktøjer til valg af mulige afværgemetoder er præsenteret i kapitel 4.

1.2.3 Vurdering af forureningslokaliteter

På baggrund af erfaringerne fra lokalitetstyperne, og den indsamlede viden om afværgeløsninger, bliver en række kriterier til vurdering af lokaliteterne præsenteret. Et overblik over

relevante vurderingskriterier præsenteres sammen med deres anvendelse på lokalitetstyperne (kapitel 5).

1.2.4 Afværgestrategi

Rapporten afsluttes ved at præsentere en samlet afværgestrategi med en uddybende forklaring af beslutningsprocesserne (kapitel 7).

1.3 Grænseværdier og miljøkvalitetskrav

I Danmark er der fastsat krav i henhold til gældende bekendtgørelser, samt kriterier i henhold til vejledninger fra Miljøstyrelsen. Overfladevand reguleres af bekendtgørelser, der stiller juridisk bindende miljøkvalitetskrav for en række stoffer. Det er anderledes end for grundvand, som ofte reguleres af vejledninger fra Miljøstyrelsen igennem kvalitetskriterier. En diskussion af lovgivningen findes i (Tsitonaki, et al., 2023) som præsenterer et overblik over de forskellige typer af grænseværdier for PFAS stoffer. Det bemærkes at der i regionernes undersøgelser/risikovurdering overfor overfladevand er anvendt værdier for grundvand eller skønnede værdier for de stoffer, hvor der ikke findes kvalitetskrav for overfladevand (Sørensen, et al., 2023).

Denne rapport bruger det overordnede begreb 'grænseværdier' til at omfavne både miljøkvalitetskrav og kvalitetskriterier.

Når forurenede lokaliteter risikovurderes, gøres det i forhold til disse grænseværdier. Dvs. at ved en lokalitet hvor der er en høj risiko, vil der være en betydelig overskridelse af grænseværdierne i overfladevandet, samt en vurdering, at lokaliteten bidrager væsentligt til disse overskridelser.

For en nærmere beskrivelse af fremgangsmåden for risikovurdering ifm. regionernes undersøgelse af vandløb, søer og kystvande henvises til Sørensen et al. (2023).

2. Kategorisering af lokalitetstyper

Kategorisering af lokaliteter og identificering af en række lokalitetstyper for jordforureninger der påvirker overfladevand

2.1 Kategorisering af lokaliteterne

For at opnå et overblik over de lokaliteter, der påvirker overfladevandet, er det hensigtsmæssigt at have kendskab til deres karakteristika. Resultaterne anvendes til at definere forskellige lokalitetstyper, som typisk relateres til forurening af overfladevand.

Her tager vi udgangspunkt i de 117 hidtil identificerede lokaliteter, som er grundlag for denne rapport. De kan kategoriseres efter en række parametre: Kildetype, branche, stoftype, afstand til overfladevand, overfladevandstype og vandføring.

Her skal det bemærkes at de 117 lokaliteter ikke nødvendigvis er repræsentative for alle jordforureningstyper, fx var PFAS-stoffer ikke en del af screeningen ved Trin 2 af sagsbehandlingsprocessen (FIGUR 1).

Et overblik over kategoriseringen vises i TABEL 1. Her vises kun et resume af resultaterne, som er uddybet i Bilag A: Kategorisering af lokaliteterne.

TABEL 1. Kategorisering af lokaliteter med overfladevandsrisiko

Kategori	Kendetegn
Kildetype	Ved 67 af de 117 lokaliteter er lokaliteten den primære årsag til forureningen af det nærliggende overfladevand. På de resterende lokaliteter er lokaliteten delvist årsag, dvs. der er/kan være andre kilder til forurening.
Branche	- Den mest hyppige lokalitetsbranche, som påvirker overfladevand, er lossepladser (48%) - Andre væsentlige brancher er metalvarefabrikker (9%), maskinfabrikker (8%), brandøvelsespladser (5%), kemisk industri og renserier (begge dele 3%). OBS: kun få brandøvelsespladser er blevet undersøgt ved rapportens udgivelse.
Stofstype	- Den hyppigste forurening, der udgør en risiko, er PFAS-stoffer (62%), som findes ved lossepladser (43% af PFAS lokaliteterne) og brandøvelsespladser (14%). PFAS konstateres desuden ved flere af de øvrige brancher. - De andre hyppige forureningstyper er lossepladsstoffer (38%), tungmetaller (24%), BTEX/kulbrinter (12%), tjærestoffer (11%) og pesticider (10%). - Enkelte lokalitet/overfladevand kan være forurenede af flere stofgrupper.
Afstand	Lokaliteterne ligger typisk meget tæt på overfladevand, 49% lige ud til overfladevand, og 27% mellem 1-50 m fra.
Overfladevandstype	De fleste lokaliteter ligger ved et vandløb (77%).
Vandføring i vandløb	Over halvdelen af lokaliteterne er placeret ved vandløb, der på undersøgelsestidspunktet havde en lav vandføring på under 10 l/s. Regionernes indledende feltundersøgelser var tilrettelagt for at måle på tidspunkter med lav vandføring i vandløbene.
Andre væsentlige forhold	- Jordforureningens sammensætning og geometri. Forureningskilderne er typisk spredt på længere strækninger langs vandløbene. - Forureningsflux er en nyttig indikator på forureningens omfang. - Geologien har en afgørende betydning for forureningstransporten, og en grundig forståelse af de geologiske forhold er nødvendig for at vælge den rette afværgemetode. I denne sammenhæng bør der rettes særlig opmærksomhed mod de overfladenære transportveje, især i områder, hvor der forekommer lerdækning. - Fysiske forhold som dræn og kloakker er en væsentlig transportvej til overfladevandet. - Riparian zones, som er den biologisk aktive zone med en høj organisk stoffraktion i overgangen til overfladevand, har en stor betydning for forureningen og dens nedbrydningsprocesser.

2.2 Væsentlige typer af forureningslokaliteter

På baggrund af gennemgang af de 117 lokaliteter i datasættet og deres karakteristika ift. kilde-type, branche, de stoftyper, som findes, afstand til overfladevand, overfladevandstype, og vandføring (ved vandløb), er der foretaget en gruppering af lokaliteterne i en række væsentlige lokalitetstyper. Resultatet vises i (TABEL 2). Disse lokalitetstyper er hyppigt forekommende og har fælles karakteristika, som med fordel kan anvendes i en diskussion af, hvordan en lokalitet skal håndteres og en afværgeindsats designes.

I TABEL 2 gennemgås de enkelte lokalitetstyper i detaljer. Afværgemulighederne for hver type diskuteres i afsnit 3.2.

TABEL 2. Beskrivelse af lokalitetstyper

Lokalitetstype	Beskrivelse
Lossepladser ved vandløb	(Bjerg, et al., 2014) viste, at der findes 3.000 fyld- og lossepladser på landsplan, hvoraf ca. 700 ligger inden for 50 m fra nærliggende overfladevand. Denne rapport's datasæt omfatter 56 lossepladser, hvoraf 35 stk. ligger i en afstand på 0-50 m fra et vandløb. 21 af disse udleder miljøfarlige stoffer til et vandløb hvor vandføringen på undersøgelsestidspunktet var mindre end 10 l/s.
Industrilokaliteter ved kyster/fjorde	I denne rapport's datasæt findes 20 lokaliteter med jordforureninger, som udleder til kyst/fjord. 15 af disse har en afstand på mindre end 50 m. På 7 lokaliteter har der været større erhverv, som f.eks. en kunstgødningsfabrik eller kemisk industri.
Lokaliteter ved søer eller vandløb med meget lav vandføring	Der findes i datasættet mange lokaliteter ved søer eller vandløb med meget lav vandføring. Der findes 7 lokaliteter med jordforureninger, som truer en sø. 31 af de 117 lokaliteter i datasættet ligger ved en å med en vandføring på mindre end 2 l/s ved måletidspunktet.
Jordforureninger med længere afstand til overfladevand	Der er 14 lokaliteter i datasættet med jordforureninger, som ligger i en afstand på mere end 150 m fra overfladevand.
Vandløb med vandføring >10 l/s	Blandt de 90 lokaliteter i datasættet som ligger inden for 50 m af en vandløb, er det kun 37 lokaliteter, der ligger ved et vandløb med en vandføring større end 10 l/s.
Tvivl om forurenings oprindelse i overfladevandet	Der er tvivl om kilden til forureningen ved 50 lokaliteter, dvs. hvorvidt lokaliteten er den primære årsag til forureningen.
Lokaliteter med PFAS som den mest kritiske stofgruppe	Ved 73 af lokaliteterne i datasættet påvises PFAS (PFOS) over grænseværdien i overfladevand. På 28 af disse er lokaliteten vurderet at være den primære årsag til forureningen. Af dem er 6 brandøvelsespladser.
Pesticidforurening	Blandt de 117 lokaliteter i datasættet er 12 lokaliteter forurenede med pesticider, hvoraf 6 vurderes at være den primære årsag til forurening af overfladevand.

3. Afværgeteknologier til jordforurening, der påvirker overfladevand

Overblik over afværgeteknologier, der er relevante for jordforureninger, som påvirker overfladevand

Dette kapitel tager udgangspunkt i velkendte afværgemetoder og beskriver deres anvendelse i forhold til jordforurening, der påvirker overfladevand med inddragelse af litteratur og cases.

3.1 Overblik over afværgeteknologier

Et overblik over relevante afværgeteknologier vises i **TABEL 3**. De teknologier, der i projektet er fundet veldokumenteret til anvendelse ved overfladevand, vises i den øverste del af tabellen og uddybes i Bilag B: Afværgeteknologier til jordforurening som påvirker overfladevand. Derudover er der i Faktaboks 2 listet en række andre teknologier, der vurderes relevante, men det har ikke været muligt at finde erfaringer med dem. Desuden bliver eksempler på anvendelser på danske lokaliteter uddybet i Bilag B. Hjelpeværktøjer til valg af afværgeteknologi diskuteres i kapitel 4, med udgangspunkt i parametre som omkostninger, stoftype mm. Endelig bliver valg af afværgemethode diskuteret for hver lokalitetstype i BILAG C: Lokaliteter og afværge.

TABEL 3. Relevante Afværgeteknologier samt fordele og ulemper ved anvendelse på forurenede lokaliteter, som påvirker overfladevand.

Teknologi	Fordele	Ulemper
Dæklag (capping) og spunsvæg (vertical engineered barriers) <i>Forhindrer strømning af vand igennem forureningskilden</i>	• Hurtig etablering • Effektiv løsning • Lave etableringsomkostninger	• Fjerner ikke forureningen eller kilden • Vertikale barrierer forhindrer horisontal spredning, men ikke spredning i dybden (vertikalt).
Udgravning (Excavation) <i>Fjerner forureningskilden ved udgravning</i>	• Kildefjernelse	• Bortskaffelse af den forurenede jord • Risici i forhold til arbejdsmiljø ved håndtering af jord • Supplerende afværge oftest nødvendig uden for det udgravede område • Uegnet til forureningsfaner • Upraktisk til større jordforureninger som lossepladser samt forureninger med en stor vertikal udbredelse

Teknologi	Fordele	Ulemper
Håndtering af lossepladssperkolat (Landfill leachate management) <i>Opsamling med dræn og behandling af lossepladssperkolat</i>	• Simpel og effektiv ved etablering af nye pladser • Veletableret i praksis	• Svært at etablere dræn under en gammel losseplads. • Fjerner ikke jordforureningen • Der kan være udfordringer med rensning af specifikke stoffer såsom PFAS • Udladningstilladelse er nødvendig • Risiko for utilstrækkelig hydraulisk kontrol
Afværgepumpning og behandling af forurenede grundvand (Pump and treat) <i>Forhindrer udsivning af grundvand til en overfladevandsrecipient</i>	• Veletableret teknologi • Hurtig etablering • Kan anvendes til hydraulisk kontrol af både kilde og forureningsfane	• Kan være svært at anvende tæt på overfladevand, da op-pumpning kan risikere at trække overfladevand ind • Har svært ved at fjerne sorberede stoffer og stoffer i fri fase og har derfor lange driftsperioder, medmindre teknologien kombineres med kildefjernelse. • Kræver oprensning af afværgvand og udladningstilladelse • Kræver god hydraulisk kontakt, dvs. egnet til vandførende lag, men ikke til lavpermeable aflejringer. • Bedst egnet til vandopløselige stoffer. Fjerner ikke stoffer fra den umættede zone. • Langvarig drift
Permeabel reaktiv væg (Permeable reactive barriers) <i>Reaktiv barriere som nedbryder/optager forurening før det når til en overfladevandsrecipient</i>	• Let at installere i sandformationer • Fleksibel i forhold til placering og skala • Fleksibel: Bredt udvalg af aktive materialer til at fjerne diverse stoffer • Velkendt teknologi • Lave driftsomkostninger efter etablering • Mulighed for etablering af sekventielle vægge med forskellige reaktanter til behandling af forureninger med blandede stoffer • Ingen affaldsstrøm •	• De aktive stoffer kan påvirke overfladevand under injektion • Bedst egnet til terrænnære forureninger • Behov for langvarig monitoring • Behov for reinjektion, hvis der ikke sker kildefjernelse
Bioremediering (bioremediation) <i>Tilførsel af bakterier for at fremme mikrobielle nedbrydningsprocesser til fjernelse af grundvandsforurening</i>	• Ingen affaldsstrøm • Lavt ressourceforbrug • Udnyttelse af naturlige processer • Velegnet til nedbrydelige stoffer • Hyporheisk zone har typisk kulstofholdige	• Komplex styring af næringsstoffer, mikrober mm. Det kan være svært at fordele bakterierne i jordmatricen for at opnå den ønskede effekt. • Lange afværgeperioder • Nogle forureningstyper kræver specialiserede

Teknologi	Fordele	Ulemper
	sedimenter, som fremmer mikrobielle processer	mikroorganismer (fx chlorede opløsningsmidler) • Dannelse af uønskede nedbrydningsprodukter • Kan være svært at opnå et lavt koncentrationsniveau • På nuværende tidspunkt ikke muligt for PFAS
Fytoremediering (Phytoremediation) <i>Brug af planter til at optage eller fjerne grundvandsforurening</i>	• Billig, passiv in-situ teknologi • Bæredygtig, udnytter naturlige processer	• Stadig på forsøgsstadiet i Danmark • Lang afværgeperiode. Kan ikke anvende lokaliteten til andre formål, mens træerne vokser på lokaliteten. • Kan være pladskrævende, men giver god mening langs vandløb. • Kan kun anvendes ved terrænnær forurening. Dog er forurening typisk terrænnær ved overfladevand • Vækst er afhængig af de rette miljø- og klima-forhold • Manglende plantevækst igennem vinterhalvåret • Biokoncentration i træer kan skabe nye eksponeringsveje og dermed øge risikoen for eksponering til mennesker og andre økosystemer
In-situ kemisk oxidation (In-situ chemical oxidation (ISCO)) <i>Injektion af et kemisk oxidationsmiddel for at nedbryde en grundvandsforurening</i>	• Meget effektiv hvis der opnås kontakt • Velafprøvet • Kan anvendes både i kilden og i fanen • Forureningen er behandlet in-situ • Kan implementeres som permeabel reaktiv væg	• Fare for at oxidationsmidlet ender i overfladevandet eller mobilisering af andre forureninger, eks. metaller. • Kan anvende kemikalier der kan skade vandmiljøet • Ikke effektiv overfor PFAS • Mulighed for rebound, hvis ikke oxidanten er tilstrækkelig eller hvis der ikke opnås en god fordeling i jorden. • Kan være svært at fordele oxidanten i moræner.
Termisk oprensning (Thermal) <i>Opvarmning med henblik på termisk nedbrydning af forureningen</i>	• Hurtig og effektiv teknologi. • Virker mod mange stoftyper • Kan anvendes under bygninger og andet infrastruktur • Metoden virker i lavpermeable materialer	• Mest egnet til hotspots • Kan være meget dyr ved større arealer eller dybe jordforureninger • Høje vandindhold fordyrer og forlænger processen. Etablering af spuns og dræning er oftest nødvendig. • Jordens egenskaber spiller en rolle, fx forurening sorberet på organisk stof • Kan ikke bruges til alle typer af forurening, egner sig fx ikke

Teknologi	Fordele	Ulemper
		til de fleste tungmetalforureninger • Opvarmning af nærliggende overfladevand bør undgås for at beskytte sensitive økosystemer • Dyrt i etableringsomkostninger, så uegnet til mindre forureninger samt høje energiomkostninger
Overvåget naturlig nedbrydning (Monitored Natural Attenuation (MNA)) <i>Hvor monitoring foretages for at dokumentere at naturlige nedbrydningsprocesser er nok til at fjerne en grundvandsforurening</i>	• En passiv strategi som udnytter naturlige processer til at attenuere udledning til overfladevand.	• Omfattende monitoring og dokumentation • Manglende danske protokoller og erfaringer med MNA. • Ikke effektiv overfor stoffer som PFAS

Faktaboks 2: Andre afværgemuligheder

Andre afværgemuligheder som ikke uddybes i denne rapport omfatter:

Jordspuling/jordvask (Soil flushing/washing)

Brug af gennemstrømmende vand (muligvis med opløsningsmiddel) til at fjerne forurening

Sediment bionedbrydning (Sediment biodegradation)

Fremme af mikrobielle nedbrydningsprocesser i bundsediment i overfladevand. Typisk anvendt på udgravet sediment

Modificerede sedimentafdækninger (Amended sediment caps)

En barriere placeret på bunden af overfladevandet, for at forhindre udsivning og nedbryde forurening med et tilføjet aktivt middel

Luftventilering/luftindsprøjtning (Air venting/sparging)

Injektion af luft for at fjerne en flygtig forurening (fx chlorerede opløsningsmidler).

Naturbaserede løsninger (Nature based solutions)

Forbedret overfladevandskvalitet ved at fremme naturlige processer, fx genslyngning af vandløb, etablering af lavbundsområder

In-situ kemisk fiksering (Chemical Fixation)

Tilføjelse af kemiske midler for at immobilisere forurening i forureningskilden.

Dredging

Udgravning af bundsediment fra overfladevand for at fjerne forurening. Se udgravning

Ændret arealanvendelse (Land Management Changes)

Ændret arealanvendelse for at forhindre infiltration og mobilisering af forurening

3.2 Relevante afværgeteknologier for hver lokalitetstype

Et overblik over de mest relevante erfaringer og afværgeteknologier for de forskellige lokalitetstyper vises i TABEL 4. De særlige karakteristika for lokalitetstyperne er inddraget i forslaget til afværgeteknologier. Her er det dog vigtigt at pointere at valg af afværgetiltag afgøres af lokaliteternes individuelle karakteristika (som forureningstype, geologi etc.), og derfor er det svært at komme med en generel vejledning til afværgevalg. Inspiration kan med fordel hentes fra de lokaliteter, som er omtalt i BILAG C: Lokaliteter og afværge, hvor der præsenteres en

række eksempler for hver lokalitetstype. Her diskuteres blandt andet fordele og ulemper i valg af afværgeteknologi for lokaliteterne.

TABEL 4. Relevante afværgeteknologier for de forskellige lokalitetstyper.

Lokalitetstype	Relevante afværgeteknologier
Lossepladser ved vandløb	Lossepladslokaliteter, som påvirker overfladevand, er typisk gamle, ukontrollerede lossepladser. Det er derfor oplagt at overveje indkapsling og dræn med perkolationssamling/behandling til disse lokaliteter.
Industrilokaliteter ved kyster/fjorde	Typisk meget komplekse forureningskilder, med forekomst af flere stoftyper. Valg af afværge kan ikke generaliseres. Hvis forurening sker over en stor strækning, vil afskæringsteknikker som fx permeabel reaktiv barriere være relevante.
Lokaliteter ved søer og lokaliteter ved vandløb med meget lav vandføring	Ved søer og vandløb med lav vandføring, kan selv en mindre forureningsflux have en stor betydning for vandkvaliteten. Her stilles størst krav til oprensningseffektiviteten, da der er begrænset fortynding, og selv en mindre forureningsflux kan udgøre et problem for vandkvaliteten. Det vil i de fleste tilfælde udelukke de passive afværgeteknologier (såsom fyto-remediering), og pege mere i retning af mere sikre teknikker som afværgepumpning mm.
Jordforureninger med længere afstand til overfladevand	Når en lokalitet påvirker overfladevand, på trods af en stor afstand til dette, ses det i de 117 lokaliteter i denne rapport at der typisk findes en betydelig forureningskilde. I sådanne tilfælde vil fokus være at fjerne forureningskilden og håndtere fanen som en typisk jordforurenings- eller grundvandssag.
Vandløb med stor vandføring	Når grænseværdierne overskrides i et større vandløb, indikerer det tilstedeværelsen af en betydelig forureningskilde. Afstanden til kilden vil være afgørende for valget af afværgeforanstaltninger. Teknikker, der fokuserer på kildefjernelse, samt metoder, der forhindrer spredning af stoffer, som eksempelvis permeable reaktive barrierer, vil være relevante.
Tvivel om forurenings oprindelse	Der findes mange lokaliteter, hvor der kan forekomme andre kilder til forurening af overfladevandet. Fokus vil her være på at afklare forureningsforholdene og opspore andre kilder i oplandet. Afværgeforanstaltninger kan dog være nødvendige ved større forureninger, uanset om der er usikkerhed omkring bidrag fra andre forureningskilder. Her vil der være fokus på monitoring for at sikre en kobling mellem afværgeindsatsen og en målt reduktion af risikoen for påvirkning af overfladevand. Inden valg af afværge er en nærmere vurdering nødvendig for at afveje om en indsats ved lokaliteten vil gøre en forskel for overfladevandets kvalitet.
Lokaliteter med PFAS forurening som den mest kritiske stofgruppe	Håndtering af PFAS forurening er kompleks på grund af de mange kilder til forureningen og de ekstremt lave grænseværdier. De lave grænseværdier medfører høje krav til fjernelsen af forureningen. De største kilder til PFAS forurening findes ved brandøvelsespladser, hvor kildebehandling og håndtering af forureningsfanen er central. Lossepladser repræsenterer en betydelig udfordring på grund af de store og forskellige forureningskilder. Traditionelle strategier som indkapsling og perkolationssamling kan imidlertid være effektive. Der er en specifik problematik i forbindelse med håndtering af perkolatvand, hvilket stiller store krav til vandbehandlingen. Der findes eksempler på afværgeteknologier, der med succes forhindrer PFAS-forurening i at spredes (se permeabel reaktiv barriere ved Haugesund Lufthavn, Norge, afsnit 11.3.1).

Lokalitetstype	Relevante afværgeteknologier
Lossepladser ved vandløb	Lossepladslokaliteter, som påvirker overfladevand, er typisk gamle, ukontrollerede lossepladser. Det er derfor oplagt at overveje indkapsling og dræn med perkolationssamling/behandling til disse lokaliteter.
Industrilokaliteter ved kyster/fjorde	Typisk meget komplekse forureningskilder, med forekomst af flere stoftyper. Valg af afværge kan ikke generaliseres. Hvis forurening sker over en stor strækning, vil afskæringsteknikker som fx permeabel reaktiv barriere være relevante.
Lokaliteter ved søer og lokaliteter ved vandløb med meget lav vandføring	Ved søer og vandløb med lav vandføring, kan selv en mindre forureningsflux have en stor betydning for vandkvaliteten. Her stilles størst krav til oprensningseffektiviteten, da der er begrænset fortynding, og selv en mindre forureningsflux kan udgøre et problem for vandkvaliteten. Det vil i de fleste tilfælde udelukke de passive afværgeteknikker (såsom fyto-remediering), og pege mere i retning af mere sikre teknikker som afværgepumpning mm.
Jordforureninger med længere afstand til overfladevand	Når en lokalitet påvirker overfladevand, på trods af en stor afstand til dette, ses det i de 117 lokaliteter i denne rapport at der typisk findes en betydelig forureningskilde. I sådanne tilfælde vil fokus være at fjerne forureningskilden og håndtere fænen som en typisk jordforurenings- eller grundvandssag.
Vandløb med stor vandføring	Når grænseværdierne overskrides i et større vandløb, indikerer det tilstedeværelsen af en betydelig forureningskilde. Afstanden til kilden vil være afgørende for valget af afværgeforanstaltninger. Teknikker, der fokuserer på kildefjernelse, samt metoder, der forhindrer spredning af stoffer, som eksempelvis permeable reaktive barrierer, vil være relevante.
Pesticidforurening	De mest almindelige grupper af pesticidforurenede lokaliteter er lossepladser (se anbefalingerne for håndtering af lossepladser).

4. Beslutningsstøtte

Hjælpe- og udvælgelsesværktøj til valg af afværgeteknologi

Dette kapitel giver et overblik over de vigtigste overvejelser i forbindelse med planlægning og valg af afværgeteknologi for lokaliteter der påvirker overfladevand. Desuden introduceres hjælpe- og udvælgelsesværktøjer, der kan understøtte valget af effektive afværgeteknologier.

4.1 Relevante faktorer for valg af afværge

Der er en række faktorer, som bør overvejes i forbindelse med planlægning af afværgeforanstaltninger overfor en jordforurening, som påvirker overfladevand:

- **Kort afstand** mellem jordforurening og overfladevand. (Sørensen, et al., 2023) viser, at hovedparten af de jordforureninger som påvirker vandkvaliteten i overfladevand, ligger tæt på. Den korte afstand begrænser antallet af mulige afværgeløsninger.
- **Fanebredde.** Mange forurenede lokaliteter ligger op ad overfladevand, og har brede faner, fx lossepladser og større industrilokaliteter.
- På grund af **pladsmangel** på arealer nedstrøms den forurenede lokalitet, kan monitoring være en udfordring.
- **Vejrforhold** kan være anledning til større udfordringer med feltarbejde, fx på Vestkysten.
- En betydelig **vertikal (opadrettet) grundvandsgradient** til overfladevandet kan forventes. Ved dybereliggende grundvand med kraftig opadrettet gradient, kan det være vanskeligt at "fange" fanen.
- **Forureningsfane under overfladevand** Da grundvandsmagasiner kan række langt ud under overfladevand, kan det blive nødvendigt at gennemføre afværgeforanstaltninger under overfladevand. Et eksempel på det ses ved Himmark Strand (se afsnit 12.1.2 om udgravning).
- **Overfladevandsdynamik** Projektering af afværge skal tage hensyn til, at vandstanden i overfladevand kan være meget varierende (oversvømmelse, tidevand, grøde, fysiske forhold mm.).
- **Dræn og kloak** På grund af et højtliggende grundvandsspejl ved overfladevand, findes der typisk dræn eller kloak ved lokaliteterne, som kan udgøre en væsentlig transportvej for forureningen.
- **Riparisk og hyporheisk zone** kan indtænkes som en del af en afværgestrategi (se afsnit 11.3.5 i Bilag A) ved at udnytte det høje organiske indhold og dermed potentielle for nedbrydning og sorption i disse zoner.
- **Organisk stof.** Sedimenter ved overfladevand har typisk et højere indhold af organisk stof. Dette kan både være en fordel til immobilisering af forureningsstoffer og en ulempe i forhold til teknikker, der baserer sig på kemisk destruktion eller forceret udvaskning.

- **Påvirkning af overfladevand og tilhørende flora og fauna.** Nogle teknologier kan forventes at påvirke økosystemet, hvis de anvendes i nærheden af overfladevandet. For eksempel anvendes stærke kemiske midler ved kemisk oxidation, som kan påvirke økosystemet i overfladevand.
- **Påvirkning af grundvandskvalitet.** Nogle teknologier kan have en negativ påvirkning på grundvandsressourcen, fx saltvandsindtrængning ved afværgepumning ved kyster. Saltvandsindtrængning kan også påvirke afværgens effektivitet (Mali, 2024).
- **Sediment.** Risikoen for overfladevand handler udover stofkoncentrationer i vandfasen også om forurening af sedimentet, både med hensyn til økosystemer, men også toksicitet over for mennesker (fx børn som leger ved en sandstrand).
- **Særlige hensyn ift. arealanvendelse og lokalitetsejeren.** Der kan være mange hensyn over for lokalitetsejeren og kommende arealanvendelser.
- **Natura 2000 og andre fredede områder** Nogle afværgeteknologier kan være uegnede i nærheden af fredede naturområder, pga. risiko for støj, kemikalieudslip eller andet. Det kan være vanskeligt at få tilladelse til foretage afværgeforanstaltninger ved fredede områder
- **Offentlig adgang.** Der er ofte offentlig adgang omkring overfladevand. Fx er der typisk offentlig adgang til kystområder.
- **Myndighedernes ansvarsfordeling.** Kommuner har hovedansvar for vandløb, udledning mm. Kystdirektoratet har myndighedsopgaven for havet, og regionerne har ansvar for forurenede lokaliteter. Denne ansvarsfordeling kan komplicere oprensninger, idet forskellige myndigheder skal involveres og give relevante tilladelser. Samtidig kan overfladevand strække sig tværs over kommunale og regionale grænser, hvilket også tilføjer et ekstra lag af kompleksitet i forvaltning af disse lokaliteter.

4.2 Hjælpeværktøjer til valg af afværgeteknologi

Der findes en række værktøjer og guides, som kan bruges til at vælge mellem de potentielle afværgeteknologier. Disse spænder fra grundvandsorienterede guides til vejledninger om afværge af sedimenter i vandmiljøet og afværge i den hyporheiske zone. Disse guides forholder sig til de tekniske muligheder på baggrund af stoftype, økonomi, tidsramme, teknisk modenhed mm. Et overblik er vist i TABEL 5.

TABEL 5. Overblik over internetsider med information og hjælpeværktøjer til valg af afværgeteknologi.

Beskrivelse	Kilde	Link
Beslutningsmatrice for valg af afværgeteknologi, på baggrund af stoftype, hydrogeologi, tidsramme, økonomi, teknisk modenhed.	Videncenter for Jordforurening	Beslutningsmatrix for afværgeteknologier ved jord- og grundvandsforureninger
49 afværgeteknologier med vurdering af anvendelsesmuligheder for stoftyper, teknisk modenhed, økonomi, tidsramme.	US Federal Remediation Technologies Roundtable	https://frtr.gov/matrix/default.cfm
Overblik over afværgemuligheder, karakterisering, og monitoreringsteknologier.	US Contaminated site Clean-up information	https://www.clu-in.org/products/techpers/gw/matrix.htm
Community Guides til afværge teknologier	US Contaminated site Clean-up information	https://clu-in.org/cguides/
Valg af afværgeteknologi til sediment	US Contaminated site Clean-up information	https://clu-in.org/issues/default.focus/sec/Sediments/cat/Remediation/
Valg af løsninger til rensning af sediment	USEPA	https://archive.epa.gov/water/archive/polwaste/web/pdf/remediation.pdf
The Hyporheic Handbook A handbook on the ground-water–surface water interface and hyporheic zone for environment managers	UK Environment Agency	https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7cb90140f0b65b3de0ac46/scho1009brdx-e-e.pdf

4.3 Bæredygtighed

En vigtig overvejelse i valg af afværgemetode er bæredygtighed. Dette er fortsat et nyt område, som gennemgår betydelig udvikling. Desuden findes der ikke meget litteratur specifikt til jordforureninger, som påvirker overfladevand. Et lille udpluk af litteraturen, som omhandler bæredygtighed ifm. afværge ift. overfladevand er vist i TABEL 6.

TABEL 6. Bæredygtighedsvurdering i valg af afværgeteknologi.

	Beskrivelse	Reference
Metode til bæredygtighedsvurderinger	Miljøstyrelsens rapport	(Lemming, et al., 2022)
Bæredygtighedsvurdering af afværg	Valg af afværgeteknologi til Høfde 42	(Lemming, et al., 2014)
Bæredygtighedsvurdering af afværg	Marine sediment Bioremediering	(Dell'Anno, et al., 2020)
Lossepladspærkat og gassystemer	LCA og økonomisk evaluering.	(Damgaard, et al., 2011)

5. Vurdering af forureningslokaliteter

Her præsenteres en række kriterier, der kan anvendes til prioritering af den videre indsats og til valg af afværgeløsning

5.1 Forslag til vurderingskriterier

Den væsentlige faktor i en risikovurdering er koncentrationen af stoffer i vand og sediment i overfladevand. Hvis disse koncentrationer overstiger de fastsatte grænseværdier, betragtes det ifølge lovgivningen som en risiko. Et overblik over mulige vurderingskriterier, som kan understøtte prioritering af lokaliteter i forhold til risiko for overfladevand, præsenteres i TABEL 7.

TABEL 7. Beskrivelse af vurderingskriterierne.

Primære vurderingskriterier	Beskrivelse
Koncentration i overfladevand (overskridelsesfaktor)	Metode til måling og vurdering af koncentrationen i overfladevand beskrives af (Roost, et al., 2015). Oftentimes anvendes en overskridelsesfaktor: Den målte/estimerede koncentration i overfladevandet normeret med grænseværdien.
Koncentration i bundsediment (overskridelsesfaktor)	Koncentrationen i bundsediment må ikke overskride grænseværdierne for sediment med henblik på at sikre overfladevandets økosystemer. Regionerne har suppleret vurderingen med udvalgte grænseværdier for jord for stoffer, hvor der ikke findes grænseværdier for sediment (Sørensen, et al., 2023).
Øvrige vurderingskriterier	
Forureningsflux fra kilden	Beskriver hvor stor en forureningsbelastning der er til overfladevand (Roost, et al., 2015). En uddybet beskrivelse af hvordan forureningsflux kan anvendes i risikovurdering af overfladevand beskrives i afsnit 5.2.
Afstand til overfladevand	I Regionernes risiko-screening (trin 2 i FIGUR 1) er der defineret en kritisk afstand mellem forureningskilden og det nærliggende vandområde for forskellige stoftyper. Lokaliteter med større afstand er frasorteret. De stofs specifikke afstandskriterier var bl.a. defineret på baggrund af nedbrydning og andre attenueringsprocesser (Sørensen, et al., 2023). I enkelte tilfælde er konkrete lokaliteter medtaget på trods af frasortering efter Trin 2 på baggrund af en konkret vurdering fra Regionerne.
Anvendelsesformål for matriklen, herunder synergieffekter (fx med klimatilpasning)	Udover at beskytte overfladevand kan en afværgeindsats tjene flere formål. For eksempel kan oprensning af forurening i et kystområde kombineres med et kystsikringsprojekt. Her kan det være relevant at vurdere, om der er sammenhæng med andre regionale initiativer. Hvis regionen alligevel planlægger tiltag vedrørende grundvand eller arealanvendelse, kan det være fordelagtigt at prioritere en indsats, hvis forureningen også påvirker overfladevand - og vice versa.
Målsat overfladevand	Der tages udgangspunkt i målsat overfladevand jf. vandplanerne. Dvs. fund i tilløb eller andet, som ikke medfører overskridelser af vandkvalitetskriterier i det målsatte overfladevand, er ikke en del af den offentlige indsats.

Primære vurderingskriterier	Beskrivelse
Vandløbs status herunder: * Økologisk tilstand * Dansk fiskeindeks * Fuglebeskyttelses-områder * Klimalavbundslande * Natura 2000.	Status for overfladevand kan inddrages, herunder bl.a. disse parametre: Økologisk tilstand beskriver de biologiske kvalitetselementer herunder smådyr, fisk, vandplanter og alger i henhold til EU's Vandrammedirektiv. Dansk Fiskeindeks beskriver vandløbs status som fiskehabitat (Kristensen, et al., 2014) (https://kort.fiskepleje.dk/). En generel betragtning er, at et vandløb er væsentligt for fiskegydning, hvis det har en grusbund, er iltet, og ikke løber igennem søer. Fuglebeskyttelsesområder udpeges af Naturstyrelsen for at fugle har steder at overleve og formere sig. Klimalavbundslande er kulstofholdige områder ved vandløb, som er beskyttet på grund af klimahensyn. Natura 2000 er beskyttede naturområder udpeget af EU og er oprettet for at bevare og beskytte naturtyper og vilde dyre- og plantearter, som er sjældne, truede eller karakteristiske for EU-landene

Primære vurderingskriterier	Beskrivelse
Opblanding/afdamning/nedbrydning i overfladevand	Koncentrationen af flygtige og nedbrydelige stoffer kan henfalde nedstrøms fra en jordforurening (Sonne, et al., 2017).
Længde af påvirket vandløbsstrækning	For at opnå den mest effektive miljøbeskyttelse kan der argumenteres for, at forureninger som ligger mest opstrøms og dermed påvirker en længere strækning af et vandløb, bør tillægges højere prioritet. I den sammenhæng spiller forureningsfluxen også en væsentlig rolle, idet det må forventes at kun lokaliteter med en større forureningsflux vil udgøre en risiko. Mindre forureningsfluxe vil oftest attenueres som resultat af fortynding. Et mere nuanceret vurderingskriterie kunne være længden af den vandløbsstrækning, hvor jordforureningen medfører overskridelser af grænseværdierne i vandløbet.
Pris på afværge	For at forbedre vandmiljøets tilstand kan målrettede afværgeindsatser være afgørende. Det er væsentligt at vurdere disse indsatser i forhold til både de økonomiske omkostninger og de ressourcemæssige krav, der er forbundet med oprensningen. En løsning, der er omkostningseffektiv og hurtigt kan implementeres, vil ofte være fordelagtig.
Andre jordforureninger	Der kan være flere jordforureninger, som påvirker et givet overfladevand. Det er afgørende at få et overblik over disse forureninger samt baggrundsniveauet for vandkvaliteten i området. Her kunne indsatsen prioriteres på lokaliteter, hvor jordforureningen ser ud til at være den primære kilde til påvirkning af overfladevand.
Andre forhold som påvirker et vandløb	Mange faktorer påvirker tilstanden af overfladevand: Fx fysisk tilstand som bundsedimenttype, geometrien af vandløbet, dynamikken i vandføringen, konstruktioner som dæmninger og kunstige søer, overfladeafstrømning, forureningsinput (andet end grundvand). Overfladevand kan have en dårlig tilstand uagtet påvirkning fra en jordforurening. I så fald vil en oprydningssindsats kun give en begrænset forbedring af vandløbets generelle tilstand. Derfor vil det være nyttigt at få et overblik over den samlede påvirkning.
Andre faktorer, herunder særlig betydning for miljøet eller lokal-samfundet	Ved vurdering af en jordforurening kan der indgå andre forhold end de rent miljøtekniske. Eksempelvis kan der være politisk opmærksomhed omkring specifikke vandløb, søer, fjorde eller kyststrækninger, hvilket kan medføre, at en lokalitet tillægges særlig betydning. Det er vigtigt at understrege, at de er udtryk for en politisk prioritering og ikke en faglig eller juridisk klassificering. Ifølge gældende lovgivning er alle målsatte overfladevandsområder principielt lige vigtige.
Bæredygtighed	Dette kriterie uddybes i afsnit 4.3

5.2 Brug af forureningsflux som vurderingskriterie

For at kunne sammenligne de mange forskellige forureningslokaliteter, kan forureningsfluxen (masseflux) anvendes.

Massefluxen $J = \text{masseflux}$ (med enhed masse/tid, $[M/T]$) kan normaliseres i forhold til grænseværdien $c_k [M/L^3]$, hvilket vil resultere i en ratio, der identificerer de mest forurenede lokaliteter. Ved vandløb kan massefluxen estimeres i selve vandløbet, og ved søer, kyster og fjorde, kan massefluxen beregnes ved overgangen fra grundvandet til overfladevandet (Roost, et al., 2015).

Nogle kommentarer:

- Bemærk at forureningsfluxen J i vandløb kan beregnes som

$$J = Q_m * c_m$$

Q_m er den målte vandføring og c_m er den målte koncentration i vandløbet, hvor der forventes fuld opblanding. For at estimere fluxen præcist, skal vandføringsmåling og vandprøven være udtaget i nærheden af hinanden.

- Forholdet $\frac{J}{c_k} = \frac{Q_m c_m}{c_k} = Q_m \cdot \text{overskridelsesfaktor}$ beskriver den nødvendige vandføring (l/s) for at fortynde forureningsflux J , ned til grænseværdien c_k . Dvs. den ekstra mængde vand, der skal tilføjes til at fortynde koncentrationen til et niveau under grænseværdien.
- I hav, fjorde og kyster er den fortyndede forureningskoncentration i overfladevand i regionens undersøgelser beregnet på baggrund af grundvandsfluxen, men for undersøgelser ved vandløb er der derimod tale om målte koncentrationer (se TABEL 14). Det betyder, at det ikke er muligt direkte at sammenligne lokaliteter, der påvirker nærliggende vandløb med lokaliteter, som ligger ved hav, fjorde og kyster.
- Inspiration til vurderinger kan findes i tilgangen ved grundvandsforurening, hvor Grund Risk rangerer lokaliteterne baseret på overskridelsesfaktoren (Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer; Madsen, Catharina Simone Nisbeth, 2023). For vandløb anbefales en kombination af overskridelsesfaktoren og vandføringen.

5.3 Demonstration af brugen af vurderingskriterier ved hjælp af udvalgte eksempler fra regionernes undersøgelser

For at opnå en forståelse af, hvordan kriterierne kan anvendes ved vurdering af jordforureninger i nærheden af overfladevand, præsenteres et overblik i TABEL 8. Her har forfatterne til denne rapport udvalgt 14 lokaliteter fra regionernes undersøgelser, samt nogle af de vurderingskriterier, som er relevante for alle lokaliteter. Lokaliteterne er udvalgt for at eksemplificere forskellige lokalitetstyper og er ikke et udtryk for at netop disse 14 lokaliteter er særligt prioriteret i regionernes jordforureningsindsats.

Formålet er at illustrere anvendelsen af de relevante kriterier. Kriterier, der indikerer iværksættelse af afværgeforanstaltninger, angives med grøn markering. Kriterier, der taler imod dette, fremhæves med enten orange eller rød. Argumenter for igangsættelse af afværge kan fx være en stor forureningsflux (relativ til grænseværdien), tilstedeværelse af beskyttede områder ved forureningen (Natura 2000 mm.) eller at overfladevand er i god økologisk tilstand.

Eksemplerne illustrerer de udfordringer, der er forbundet med vurderingen, idet de enkelte kriterier kan pege i modstridende retninger. Derudover kan der være andre parametre, der skal tages i betragtning, såsom klimasikring og understøttelse af vandplaner.

En sammenligning af forureningsfluxen, normaliseret med grænseværdien for de fire lossepladser i TABEL 8, illustrerer udfordringen ved en sammenligning på tværs af lokaliteter. Det er vigtigt at bemærke, at en direkte sammenligning af fluxen for vandløb (Spang Vade Losseplads, Kommunal Losseplads Leby, Kommunal Losseplads I) og hav (Mådevej) ikke kan foretages, da disse er beregnet på forskellige grundlag. For eksempel er vinylchlorid det afgørende stof for Spang Vade Losseplads, mens jern er det kritiske stof for Kommunal Losseplads Leby. Disse stoffer er meget forskellige forureningstyper, hvilket gør det vanskeligt at sammenligne lossepladserne udelukkende på baggrund af massefluxen. Dette understreger udfordringen ved at anvende overskridelsesfaktoren som det eneste vurderingskriterium.

Et lignende dilemma opstår ved sammenligning af Raadvad Knivfabrik med Ferritslev Jernvarefabrik, som begge er metalvarefabrikker. Ved Raadvad Knivfabrik er der en betydelig forureningsflux af klorerede opløsningsmidler i grundvandet, fortyndet af en stor vandføring i

vandløbet. Dette resulterer i en lav overskridelsesfaktor i vandløbet og en moderat høj flux. Ved Ferritslev Jernvarefabrik er der målt en høj flux (af zink) i vandløbet på grund af en meget høj koncentration af zink og på trods af en lav vandføring. Hvis der udelukkende ses på fluxen som vurderingskriterie, vil konklusionen være, at Raadvad Knivfabrik har en større påvirkning på overfladevandet, da den er 17 gange større end for Ferritslev Jernvarefabrik. Kigges der derimod på overskridelsesfaktor for koncentrationen, er risikoen større ved Ferritslev Jernvarefabrik. Desuden er klorerede opløsningsmidler flygtige stoffer, der kan afdampe (afhængig af opblandingsforholdet i vandløbet), mens zink forbliver i vandløbet. Herved skal der foretages en kompleks vurdering, selvom der sammenlignes to eksempler inden for samme branche.

En bredere sammenligning på tværs af flere brancher og kriterier kan være endnu mere udfordrende.

TABEL 8. Anvendelse af vurderingskriterier. Det skal understreges, at eksemplerne i tabellen ikke er udtryk for, at disse 14 lokaliteter er prioriteret blandt regionernes øvrige lokaliteter, men bruges her for at eksemplificere anvendelsen af vurderingskriterierne.

Farverne viser et skøn på vurderingskriteriets betydning for den enkelte lokalitet. Kriterier, der indikerer iværksættelse af afværgeforanstaltninger, angives med grøn markering. Kriterier, der taler imod dette, fremhæves med enten orange eller rød. Farverne skal forstås som en kvalitativ vurdering af kriteriet, med det formål at give overblik på tværs af kriterier og jordforureninger. Vandføringen er angivet ved undersøgelsestidspunktet.

De angivne vandføringer er de målte vandføringer på prøvetagningstidspunktet.

Grund	Branche	Forureningsstof Overfladevands- koncentration/ grænseværdi Overskridelse Masseflux	$\frac{J}{c_k}$ (l/s)	Af- stand	Overfladevand (Vandføring l/s eller fortynding)	Vandløb status Økologisk status Målsatte vandløb Klimalavbundslande Natura 2000	Placering af lokali- tet i for- hold til vandlø- bets- munding	Bemærkninger
Spang Vade Losseplads, (537-03706 Spang) Region Syddanmark.	Losseplads	Vinylchlorid 0,74 µg/l / 0,05 µg/l Overskridelse 15 Flux 348 g/år	221 l/s	0 m	Vadebæk 15 l/s	Dårlig økologisk tilstand op- og nedstrøms (forudsat at den dårlige tilstand skyldes andre forhold end den foru- renede lokalitet), restaure- ringsindsats.	500 m	Den dårlige økologiske til- stand af vandløbet og den korte afstand til havet, hvor der er større fortynding, taler imod at prioritere lokaliteten højt.
Kommunal Losseplads Leby, (493-00002) Region Syddan- mark	Losseplads	Jern 33 mg/l / 0,5 mg/l Overskridelse: 66 Flux 1.155 kg/år PFOS 9,0 ng/l / 0,65 ng/l Overskridelse: 14 Flux 303 mg/år	Jern 73 l/s PFOS 15 l/s	66 m	Skydsbæk 1,11 l/s	Moderat økologisk tilstand Natura 2000	1000 m	En oprydning ved et mindre vandløb med kort afstand til kysten taler imod at priori- tere en afværgeindsats højt.

Grund	Branche	Forureningsstof Overfladevands- koncentration/ grænseværdi Overskridelse Masseflux	$\frac{J}{c_k}$ (l/s)	Af- stand	Overfladevand (Vandføring l/s eller fortynding)	Vandløb status Økologisk status Målsatte vandløb Klimalavbundsplan Natura 2000	Placering af lokali- tet i for- hold til vandlø- bets- munding	Bemærkninger
Kommunal Losseplads I, B1921 Klubhus (depot 369-4) V./Østre Allé, 4800 Nykøbing Falster, Guldborgsund Kom- mune, Region Sjælland (369- 00004)	Losseplads	Jern 0,57 mg/l / 0,1 mg/l Overskridelse 5,7 Flux: 76 kg/år PFAS 2,0 ng/l, 2,02 ng/l Overskridelse: 1 Flux: 266 mg/år	Jern 24 l/s PFAS 4,23 l/s	22 m	Bjørup Bæk 4,23 l/s	Dårlig økologisk tilstand Ikke god kemisk tilstand Natura 2000	2000 m	Der er en igangværende re- staureringsindsats. Vandløbet har en dårlig til- stand og forureningsfluxen $\frac{J}{c_k}$ er mindre end ved andre lokaliteter.
Mådevej 113C, 91C og 93, 6705 Esbjerg Ø (561-00201) Region Syddanmark	Losseplads	Sum pesticider 1,30 µg/l / 0,5 µg/l Overskridelse 2,6 Flux: 12,7 kg/år PFOS 0,28 ng/l / 0,13 ng/l Overskridelse: 2,1 Flux: 2,7 g/år	Pesticider 805 l/s	30 m	Vesterhavet meget stor fortynding	Natura 2000.	30 m	En beskeden overskridelse ved Vesterhavet, hvor der er en meget stor fortynding.

Grund	Branche	Forureningsstof Overfladevands- koncentration/ grænseværdi Overskridelse Masseflux	$\frac{J}{c_k}$ (l/s)	Af- stand	Overfladevand (Vandføring l/s eller fortynding)	Vandløb status Økologisk status Målsatte vandløb Klimalavbundsplan Natura 2000	Placering af lokali- tet i for- hold til vandlø- bets- munding	Bemærkninger
Raadvad knivfabrik (173-05036) Region Hovedstaden	Metalvarefabrik	Vinylchlorid 0,11 µg/l / 0,05 µg/l Overskridelse: 2.2 Flux: 1.298 g/år	818 l/s	0 m	Mølleåen 372 l/s	Godt økologisk potentiale Natura 2000	1830 m	Et stort vandløb Hotspot under fredet bygning
Ferritslev Jernvarefabrik, Nyborgvej 29, Ferritslev, (497-00004) Region Syddanmark	Metalvarefabrik	Zink 310 µg/l / 7,8 µg/l Overskridelse: 44 Flux: 9,4 kg/år	47,1 l/s	0 m	Stokbæk 1,07 l/s	Moderat økologisk tilstand	17 km	En betydelig forurening ved en lang vandløbsstrækning. Igangværende erhverv gør oprensning af kilden svær.
Limfjordsvej 21, (851-00047) Region Nordjylland	Kunstgødningsfabrik	Arsen 7,3 µg/l / 0,6 µg/l Overskridelse 12 Flux 220 kg/år	11.626 l/s	0 m	Limfjorden -	Ringe økologisk tilstand, ikke god kemisk tilstand	0 m	Allerede gennemført en kildeindkapsling
Gentoftegade 32/Mitchellsstræde 8, Region Hovedstaden (157-00067)	Renseri	PFOS 2,84 ng/l / 0,65 ng/l Overskridelse: 4,4 Flux: 0,3 g/år	14 l/s	213m	Gentofte sø (faktor 1899)	Dårlig økologisk tilstand Ikke god kemisk tilstand Natura 2000	-	Kilde allerede fjernet

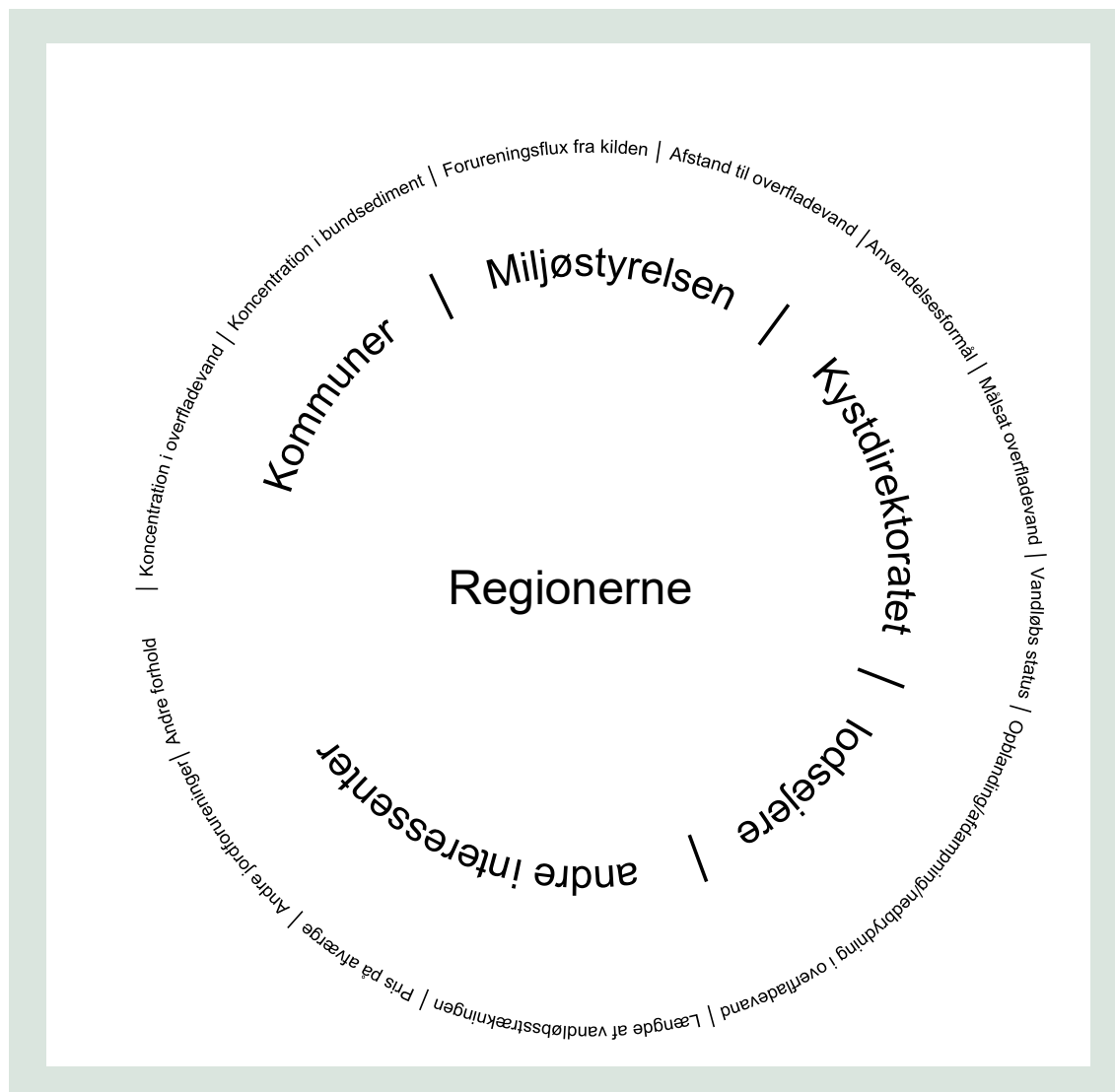
Grund	Branche	Forureningsstof Overfladevands- koncentration/ grænseværdi Overskridelse Masseflux	$\frac{J}{c_k}$ (l/s)	Af- stand	Overfladevand (Vandføring l/s eller fortynding)	Vandløb status Økologisk status Målsatte vandløb Klimalavbundslande Natura 2000	Placering af lokalitet i forhold til vandløbsmunding	Bemærkninger
Esbjerg Brandskole, Uglviggårdsvej 3, 6705 Esbjerg (561-99023), Region Syddanmark	Brandøvelsesplads	6:2 FTS (PFAS) 1.600 ng/l / 4,4 ng/l (24 PFAS) Overskridelse: 250 PFOS 290 ng/l / 0,65 ng/l Overskridelse: 338.000 Flux: 541 g/år (SUM PFAS)	1.286.000 l/s	6.500 m til målsat kyst	Uglvig bæk 5,9 l/s (ikke målsat)	Dårlig økologisk tilstand. Vandløbet udstrømmer til Vadehavet National Park		En meget stor forureningskilde, som ligger opstrøms fra en nationalpark.
Kuwait Petroleum – Gulf Rafinaderiets brandøvelsesplads, Holtengårdsvej 25, 4230 Skælskør, Slagelse (331-00014) Region Sjælland	Brandøvelsesplads	PFAS Kan ikke beregnes	-	700 m	0 l/s (tør)	Ikke kortlagt vandløb 700 m til Natura 2000.	700 m	Meget høje koncentrationer ved kilden, men undersøgelsesgrundlaget er mangelfuldt, så der kan ikke vurderes en risiko.
Mortonsvej 11-25, 2800 Kgs. Lyngby (173-00105) Region Hovedstaden	Plastvarefabrik og gardinfabrik	PFOS 9,0 ng/l / 0,65 ng/l Overskridelse: 14 Flux: 15 g/år	732 l/s	16 m	Lyngby Sø (faktor 72)	Sø med dårlig økologisk tilstand. Ringe økologisk potentiale, beskyttet efter naturbeskyttelseslovens § 3	Lyngby Sø + 10 km Mølleå	Tvivlsomt hvad der opnås med en oprydning ved Lyngby Sø, da der er andre meget væsentlige forureningskilder til søen.

Grund	Branche	Forureningsstof Overfladevands- koncentration/ grænseværdi Overskridelse Masseflux	$\frac{J}{c_k}$ (l/s)	Af- stand	Overfladevand (Vandføring l/s eller fortynding)	Vandløb status Økologisk status Målsatte vandløb Klimalavbundsplan Natura 2000	Placering af lokali- tet i for- hold til vandlø- bets- munding	Bemærkninger
Søvej 1, 8600 Silkeborg (743-00012) Region Midtjylland	Gasværk	Naphthalen 31 µg/l / 2 µg/l Overskridelse: 16 Flux: 1.319 g/år Cyanid 154 µg/l / 50 µg/l Overskridelse: 2,9 Flux: 6.556 g/år Kulbrinter 110 µg/l / 9 µg/l Overskridelse: 12 Flux: 4.688 g/år	Naphthalen 20,9 l/s Kulbrinter 16,9 l/s	23 m	Silkeborg Langsø	Moderat økologisk tilstand, Natura 2000 Beskyttet efter naturbeskyt- elseslovens §3	Silkeborg Langsø + 290 km Gudenå.	Et velkendt vandløb Forureningen ligger under Silkeborg Rådhus.
Skerrisvej 4, Brande (653-90088) Region Midtjylland	Tekstilindustri	PFOS 0,75 ng/l / 0.65 ng/l Flux: 8,5 g/år Overskridelse: 1.4	414 l/s	140m	Brande Å 360 l/s	God økologisk tilstand	52 km	Potentiale for at forebygge en forurening inden den spredes i et langt og vel- kendt vandløb.

5.4 Helhedsvurdering

Det foregående afsnit (5.3) illustrerer, at det er udfordrende at sammenligne lokaliteter baseret på enkelte kriterier, da lokaliteterne har meget forskellig karakter. Derfor anbefales det, at Regionerne anvender en proces, der inddrager regionernes ekspertise i en helhedsvurdering, i dialog med andre aktører, baseret på en overordnet overvejelse af kriterierne (FIGUR 2). Denne dialog kan understøttes af et oversigtsdokument med de enkelte kriterier, som vist i TABEL 8.

Lokaliteter vurderes flere gange i regionernes beslutningsprocesser. Efter de indledende undersøgelser i trin 3 og trin 4 (FIGUR 1) vil det blive vurderet om der skal foretages supplerende feltundersøgelser (Trin 5, se FIGUR 3 i afsnit 7), og derefter endnu en vurdering og design af afværge (Trin 6, se FIGUR 3 i afsnit 7).



FIGUR 2. Vurderingsproces forankret hos Regionerne (myndighed for grundvandsforurening), med inddragelse af andre aktører (første kreds) og vurderingskriterier (anden kreds)

5.5 Hvornår er en risikovurdering tilstrækkelig til at træffe beslutning om afværge?

Den centrale komponent i en risikovurdering er sammenligningen mellem målte eller beregnede koncentrationer i overfladevand og sediment og de gældende grænseværdier.

Her er det flere faktorer fra TABEL 7, som skal afklares:

- Udgør jordforureningen den primære kilde til forureningen i overfladevandet? Hvis ikke, hvor stor er dens andel? Regionerne har vurderet, om der er andre kilder end den aktuelle jordforurening, der påvirker overfladevandet. Men om disse andre kilder er opstrøms jordforureningen, spildevandsudløb, dræn eller andet er ikke undersøgt.
- Hvilke tidsmæssige variationer ses der i koncentrationsniveauerne?
- Er der foretaget målinger både i overfladevand og i bundsediment? I vandløb er der typisk taget prøver af både vand og sediment. Dette er ikke tilfældet for søer, fjord og kyst hvor der kun er udtaget prøver fra det nærliggende grundvand.

Da disse spørgsmål har direkte betydning for risikovurderingen, skal de afklares før beslutning om afværge kan tages.

Ud over de nævnte problemstillinger vil det være relevant at forholde sig til øvrige vurderingskriterier, da disse alle kan have indflydelse på beslutningen om afværgeforanstaltninger. Dette indebærer ofte, at det er nødvendigt at iværksætte yderligere feltundersøgelser (se kapitel 6). Omfanget af sådanne undersøgelser fastlægges typisk på baggrund af en løbende risikovurdering samt betydningen af forureningen for det nærliggende overfladevand.

6. Supplerende feltundersøgelser

I dette kapitel beskrives forslag til supplerende feltundersøgelser.

6.1 Supplerende feltundersøgelser

En god karakterisering af forureningssituationen er afgørende for valg af afværgeteknologi. De feltundersøgelser der er foretaget af Regionerne i 2021-2022 under Trin 3 (FIGUR 1) af sagsbehandlingsprocessen har haft til formål at afgøre om en jordforurening på en lokalitet udgør en risiko overfor det nærliggende overfladevand. Undersøgelserne har været tilrettelagt således at der enten er udført målinger i overfladevand for lokaliteter beliggende ved vandløb eller i grundvandet for lokaliteter, beliggende ved søer, fjorde og kyster.

Det næste trin i processen er en beslutning, om, hvorvidt det er nødvendigt med afværgeforanstaltninger. Dertil kræves en langt større viden om forureningen og et overblik over de relevante overvejelser vedrørende forureningskilder, fanen, overfladevand, hydrogeologien og transportveje (TABEL 9).

Derudover er der ofte tvivl om, hvorvidt forekomsten af en overfladevandsforurening skyldes den pågældende lokalitet. Det er vigtigt at afklare, om jordforureningen er den primære årsag til overskridelse af grænseværdierne ved overfladevand.

TABEL 9. Forslag til forhold der bør afklares i en supplerende feltundersøgelse inden beslutning om afværge

Feltundersøgelser	Begrundelse
Omfanget af overfladevandsforureningen	Da risikoen i overfladevand vurderes ud fra overskridelse af grænseværdier, er det relevant at kvantificere problemets omfang ved at bestemme længden af den vandløbsstrækning, hvor grænseværdierne overskrides – eller arealet, hvis der er tale om sø, fjord eller hav. Denne type data er imidlertid sjældent tilgængelig for de fleste jordforureninger.
Karakterisering af jordforureningen	Lokaliteter ved trin 4 af risikovurderingsprocessen er oftest kortlagt på vidensniveau 2. Undersøgelsen, som er grundlaget for V2-kortlægningen er ikke tilstrækkelig til at igangsætte en afværge, da kildestyrke og kildeudbredelse oftest ikke er velafgrænset.
Hydrogeologisk og hydrologisk kortlægning	Det er vigtigt, at de hydrauliske forhold kendes mellem lokaliteten og det nærliggende overfladevand. Dette er bl.a. strømmingen i det terrænnære grundvand mod overfladevand, gradient og hydraulisk kontakt. Såfremt, der ikke er en strømming mod overfladevand og/eller hydraulisk kontakt, bør afværge ikke foretages ved lokaliteten. De hydrogeologiske forhold kan hjælpe med at

	afklare tidshorisonten og prioriteringen af en remediering. Fx kan en høj strømningshastighed begrænse effekten af naturlig nedbrydning. For afværgemetoder baseret på tilsætning af mobile reaktanter, kan opholdstiden i systemet være begrænsende.
Geologiske undersøgelser	Karakterisering af geologien er afgørende for forståelsen af transportveje og dermed valg og design af egnet afværge.
Kortlægning af forureningsfane	Hvis der er stor afstand mellem lokaliteten og overfladevandet, er det væsentligt at kende udbredelsen af forureningsfanen.
Udstrømningszone til overfladevand	Det er vigtigt at kortlægge den/de zone(r), hvor det terrænnære grundvand fra lokaliteten siver ud til overfladevandet. Det kan være vanskeligt, men der er erfaringer med temperaturmålinger, piezometre mm, som kan give indikation på dette. På nogle lokaliteter kan grundvandet strømme hen til vandløbet på en meget lille strækning, på trods af forureningsfanens større bredde.
Diffusion mellem bundsediment og vand	Bundsediment bør undersøges med henblik på at vurdere om det kan udgøre kilden til de indhold, som konstateres i overfladevandet. Det skal afklares, hvorvidt sedimentet evt. har en større påvirkning af vandkvaliteten i forhold til den forurening, der transporteres til overfladevandet via det terrænnære grundvand.
Sæsonvariation af grundvandets forureningsflux	Ved de fleste lokaliteter er der kun udført en enkelt målerunde. Regionernes indledende undersøgelser blev foretaget ved en lav vandføring om sommeren. Det kunne tænkes at der på nogle lokaliteter forekommer en højere flux ved en højere infiltrationsrate om vinteren, fx ved lossepladser. Tidspunktet med lav vandføring blev valgt baseret på hypotesen, at under tørre forhold ville vandføringen primært stamme fra grundvandsstrømninger, hvilket resulterer i de højeste koncentrationer i overfladevandet, hvis forureningen er grundvandsbåren. Det kan dog forventes, at grundvandsforureningsfluxen øges i våde perioder. Derudover er der faktorer relateret til drænsystemerne, som sandsynligvis også er tørre om sommeren, hvilket kunne indikere, at belastningen fra dem er betydeligt højere i perioder med stor nedbør.

Kortlægning af andre kilder til forurening	Der kan forekomme andre jordforureninger opstrøms for lokaliteten, og deres bidrag til den samlede forureningsflux ved lokaliteten bør indgå i vurderingen. Der kan desuden være forureningsbidrag, der ikke relaterer sig til jordforurening. Dette kan bl.a. være tilløb fra spildevand, regnvand, overfladeafstrømning mm. Disse bør inddrages i forhold til vurdering af den samlede påvirkning i forhold til betydningen af påvirkningen fra den nærliggende jordforurening (Roost, et al., 2018).
Økologiske forhold og økologisk risikovurdering	Det er væsentligt at kende den økologiske tilstand af overfladevandet, og dermed de økologiske risici. Vil en afværgeindsats forbedre tilstanden?
Fysiske forhold for overfladevand	Fysiske forhold for overfladevand og blandingsforhold kan undersøges. Det kan være karakteren af bundsedimentet, om vandløbet er slynget mm.

7. Input til strategi for regionernes videre indsats

Et overordnet forslag til strategi for regionernes videre indsats vedrørende jordforureninger, der truer overfladevand, vises i FIGUR 3.

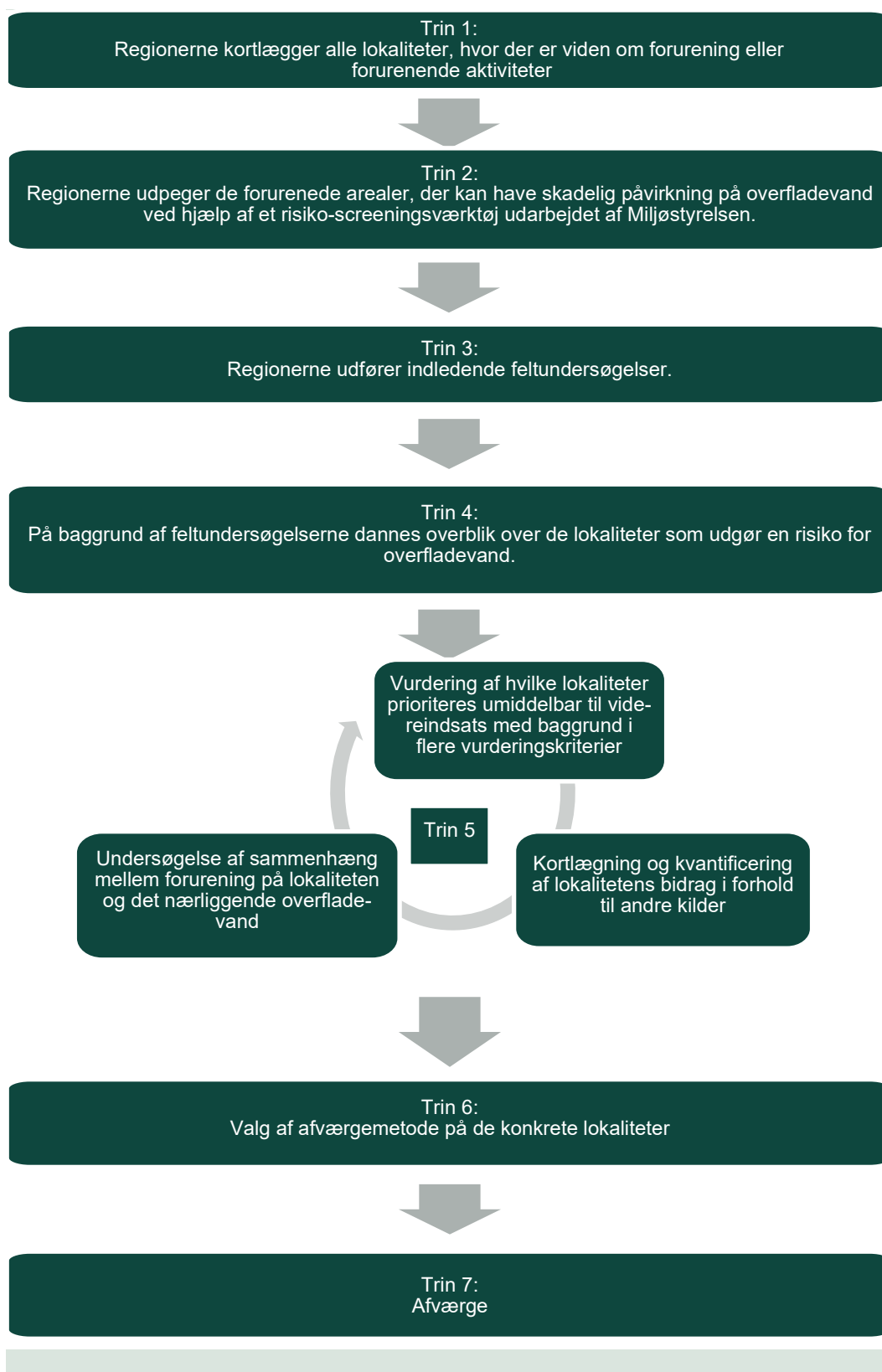
Øverst i processen findes flere tusinde forurenede lokaliteter, hvor de fleste er utilstrækkeligt belyst med hensyn til påvirkning af overfladevand og derved mangler feltundersøgelser. Der er ikke tilstrækkelige ressourcer til at gennemgå alle lokaliteterne, idet omkostningerne stiger løbende gennem processen, og endelige afværgeforanstaltninger er typisk meget omkostningskrævende. Derfor er det nødvendigt at udvikle en strategi, der trinvis udvælger lokaliteter for at sikre, at afværgeindsatsen fokuseres der, hvor behovet og den miljømæssige effekt er størst.

Processens 4 første trin beskriver Regionernes hidtidige indsats og er uddybet af (Sørensen, et al., 2023) , og de nye trin (5-7) er beskrevet i denne rapport.

Trin 5 består af en cirkulær proces med tre deltrin. Først kan der ved hjælp af vurderingskriterier prioriteres hvilke lokaliteter, der umiddelbart skal med i den videre indsats. Derefter skal der udføres supplerende undersøgelser, for a) at kortlægge forureningens bidrag i forhold til evt. andre forureningskilder i oplandet, og b) undersøge sammenhængen mellem forurening på lokaliteten og overfladevandet, noget der ikke er udført i de indledende undersøgelser udført i Trin 3. Derefter kan vurderingskriterierne atter evalueres og en beslutning om behov for afværge kan træffes.

Trin 6 handler om udvalg og design af afværgeindsatsen. Denne rapport beskriver afværagemulighederne, deres fordele og ulemper, og metoder til at vælge den rette afværgeteknologi. Den viden, der indsamles i undersøgelsen ved Trin 5, kan bruges til valg af afværgemetode samt en yderligere vurdering af afværgens forventede effekt.

Trin 7 Selve afværgeforanstaltninger udføres under det sidste trin.



FIGUR 3. Input til strategi for regionernes videre indsats over for forurenede lokaliteter, som påvirker overfladevand.

8. anbefalinger

Denne rapport indeholder forslag til vurderingskriterier og input til strategi for regionernes videre indsats for jordforureninger, der truer overfladevand. I dette kapitel gives en række konkrete anbefalinger til det videre arbejde.

Anbefalinger dækker over alle trin i regionernes indsats. Der gives anbefalinger til udvidelse af screeningsværktøjet med PFAS, til supplerende feltundersøgelser, til vurdering af lokaliteterne og til udvikling af afværgeteknologier.

8.1 Anbefalinger til bedre risikoscreening

Udbyg Miljøstyrelsens risikoscreeningsværktøjet med PFAS og følg ny viden

Det anbefales, at screeningsværktøjet, der anvendes i Trin 3, udbygges, så det også kan screene for PFAS, og at der foretages en screening af alle kortlagte lokaliteter for PFAS-risiko.

- Screeningsværktøjet for overfladevand i trin 2 omfatter ikke PFAS. Lokaliteterne, hvor regionerne har udført overfladevandsundersøgelser, er derfor prioriteret pga. andre stofgrupper end PFAS, men der er analyseret for PFAS, hvor det blev vurderet relevant ud fra brancher og aktiviteter.
- Der er derfor behov for en opsamling på lokaliteter, hvor der er en mulig PFAS-brancher/aktivitet eller en konstateret PFAS forurening, som ikke er medtaget i screeningsværktøjet som potentiel risikolokalitet.
- I forbindelse med udvidelse af screeningsværktøjet skal udvikling i analysepakker og grænseværdier tages i betragtning. Der findes mange flere PFAS stoffer, end der analyseres for. Allerede i dag analyseres der for flere stoffer end der gjorde for få år siden (Region Hovedstaden; Howitz, Rikke Vinten; Overgaard, Helle, 2024). Miljøstyrelsen har i november 2023 fastsat et nyt miljøkvalitetskriterie for PFAS i overfladevand på 4,4 ng/L for summen af 24 PFAS-stoffer, beregnet som PFOA-ækvivalenter. Dette supplerer det eksisterende miljøkvalitetskrav for PFOS på 0,65 ng/L i ferskvand og 0,13 ng/L i havvand. I regionernes undersøgelser er der typisk analyseret for 22 PFAS. Selvom Regionerne har udført en analyse af deres fund, som umiddelbart viser, at ændring af analysepakken ikke har haft stor betydning for risikobilledet, anbefales det at følge den hastige vidensopbygning omkring PFAS, med henblik på tilpasning af den nuværende tilgang. Da der løbende udvikles ny viden om PFAS-forurening, anbefales det at følge denne udvikling tæt og tilpasse analysepakker og tilgang efter behov.

8.2 Anbefalinger til supplerende undersøgelser

Det anbefales, at der udføres supplerende undersøgelser på de identificerede lokaliteter og fremtidige undersøgelser tilpasses som beskrevet i Trin 5 med fokus på:

- at undersøge sammenhængen mellem forurening på lokaliteten og overfladevandet, noget der ikke er udført i de indledende undersøgelser udført i Trin 3.
- at have mere fokus på sedimentet
- at undersøge for flere forureningsstoffer
- at kortlægge forureningens bidrag i forhold til evt. andre forureningskilder i oplandet

Udfør en bedre kortlægning af sammenhængen mellem forurening i grundvand og det nærliggende overfladevand

Det er nødvendigt at udføre en række supplerende undersøgelser, hvor der skaffes sammenhængende data mellem forurening på lokaliteten og overfladevandet, noget der ikke er udført i de indledende undersøgelser udført i Trin 3. Derefter kan vurderingskriterierne atter evalueres og en beslutning om behov for afværge kan træffes.

Undersøg forurening i sediment og dens betydning for overfladevandets kvalitet.

Det anbefales, at der øges opmærksomhed på forurening i sediment, især for stoffer som tungmetaller og PFAS, der har tendens til at sorbere til sedimentet. I Regionernes feltundersøgelser af vandløb i 2021-2022 blev der udtaget sedimentprøver på vandløbsstrækninger, hvor der var begrundet mistanke om udvaskning af hydrofobe stoffer fra den aktuelle jordforurening. Lignende sedimentprøver blev ikke indsamlet ved søer, fjorde og kyster. Bundsediment i overfladevand fungerer ofte som ophobningssted for mange typer forurening og kan udgøre en betydelig risiko for bundorganismer samt være en langvarig kilde til forurening af vandfasen. Det er vigtigt at kortlægge dette for at vurdere effekt af en evt. afværge og for at vurdere om indhold i vandfasen stammer fra eksisterende jordforurening eller fra frigivelse fra sedimentet.

Overvej inddragelse af non-target analyser i feltundersøgelser

Det anbefales at overveje, om non-target analyser skal inddrages i analyseprogrammerne i forbindelse med undersøgelser af jordforureningers påvirkning af overfladevand. Da der findes næsten 30.000 stoffer i EU's REACH-database, og nuværende analysepakker kun dækker et lille udvalg, kan non-target analyser bruges som start på et større arbejde med at risikovurdere miljøfremmede stoffer, herunder medicinske stoffer, i danske vandløb.

Indfør systematisk opsporing af andre forureningskilder

Det anbefales, at videregående undersøgelser systematisk inkluderer opsporing af alle væsentlige forureningskilder, som bidrager til belastningen af et givet overfladevandsområde. Det indebærer at afklare spørgsmål som: Hvor meget påvirker den konkrete jordforurening vandkvaliteten i overfladevandet? Er der andre kilder, herunder diffuse, der påvirker samme overfladevand? Findes der op- eller nedstrøms kilder, som kan reducere effekten af en lokal afværgeindsats? Samtidig bør der udvikles en metodik til vurdering af effekten af afværgeindsatser i områder, hvor flere kilder bidrager med de samme stoffer til overfladevandet. I forbindelse med de udførte undersøgelser har regionerne vurderet, om den aktuelle jordforurening er den primære kilde til overskridelser i overfladevandet, men der er ikke foretaget en undersøgelse af, hvilke andre kilder der kan være, eller hvad effekten af en kommende afværge vil være for overfladevandets kvalitet.

Udfør en systematisk erfaringsopsamling af undersøgelser

Erfaringerne fra kommende videregående feltundersøgelser bør registreres og anvendes til at optimere og eventuelt justere den fremtidige tilgang, så undersøgelserne anvendes mest effektivt.

8.3 Anbefalinger til vurdering af risiko

Fastlæg grænseværdier for pesticider i overfladevand

Det anbefales at fastsætte grænseværdier for pesticider i overfladevand, således at det kan vurderes om en pesticidforurening, der overskrider grundvandskvalitetskriteriet, truer kvaliteten i overfladevand. Visse grænseværdier opretholdes ved den gældende BEK nr. 796 (Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2023). Men der findes fx. ikke en grænseværdi for 4-CPP, som er det pesticid, der er målt i de højeste koncentrationer ved en af de lokaliteter, som regionerne har

undersøgt (Mådevej 113C). En opgørelse over forekomsten af pesticider i overfladevand og manglende grænseværdier diskuteres af (Nilsson, et al., 2019).

Implementér og evaluer vurderingskriterierne løbende

Det anbefales, at regionerne tager udgangspunkt i de vurderingskriterier og metoder, der fremlægges i denne rapport, som grundlag for prioritering af ressourcer og afværgeindsatser. Kriterierne bør afprøves i praksis og løbende evalueres og justeres baseret på erfaringer, så de bedst muligt understøtter den fremadrettede indsats.

8.4 Anbefalinger til afværge

Iværksæt målrettet indsats mod ældre lossepladser

Det anbefales, at der igangsættes en målrettet og ensartet indsats over for ældre lossepladser, som ofte er en væsentlig kilde til forurening af overfladevand. Dette kan eksempelvis ske gennem installation af monitorerede perkolatopsamlingssystemer og uigennemtrængelige dæklag, der kan kontrollere og mindske perkolat. Der er behov for klare retningslinjer for håndtering af gamle lossepladser.

Afprøv og videreudvikl nye afværgeteknologier under danske forhold

Det anbefales, at relevante afværgeteknologier til jordforurening, der påvirker overfladevand, afprøves under danske forhold, med særligt fokus på gamle lossepladser. Der bør hentes inspiration fra udenlandske erfaringer og teknikker, som endnu ikke er testet i Danmark, såsom modificerede sedimentafdækninger og naturbaserede løsninger. Valget af afværgeteknologier bør uddybes i relation til de lokalitetstyper, der er identificeret i rapporten. Helt konkret anbefales det at arbejde videre med implementering af afværge på gamle lossepladser.

Udarbejd vejledning om overvåget naturlig nedbrydning

Det anbefales, at der udarbejdes en national vejledning om overvåget naturlig nedbrydning som alternativ til aktiv afværgeindsats. Der mangler en protokol for denne metode i Danmark, selvom den er udbredt i andre lande. En sådan vejledning vil kunne styrke brugen af overvåget naturlig nedbrydning som et relevant værktøj i den samlede indsats.

Søg aktivt synergier med andre grønne dagsordener

Det anbefales, at regionerne målrettet opsøger og udnytter synergier med andre samfundsdagsordener, hvor der allerede afsættes ressourcer til grøn omstilling. De nuværende ressourcer, der er afsat til håndtering af jordforureninger, som påvirker overfladevand, er utilstrækkelige i forhold til opgavens omfang. For at adressere dette ressourcegab bør der indgås samarbejder med eksisterende og planlagte initiativer inden for klima-lavbundsprojekter, klimasikringsprojekter, udvikling af tidligere industrilokaliteter (brownfields), samt etablering af minivåd-områder i landbrugsarealer med henblik på forbedring af overfladevandskvaliteten. Det er væsentligt at integrere denne tilgang tidligt i beslutningsprocesserne, da det kan have en betydelig effekt på vurderingen og udvælgelsen af lokaliteter.

9. Konklusion

Rapporten identificerer med udgangspunkt i regionernes landsdækkende undersøgelse af jordforureningers påvirkning af overfladevand fra 2021-2022 de mest udbredte typer af forurening, der påvirker overfladevand: Gamle Lossepladser er den type jordforurening, der hyppigst påvirker overfladevand (ca. 50% af jordforureninger, der påvirker overfladevand er lossepladser). PFAS er den stofgruppe, der hyppigst giver anledning til overskridelser af grænseværdier i overfladevand (ca. 63%). Ca. 77% af jordforureninger, der påvirker vandløb, ligger nær vandløb. En række konkrete eksempler på typiske lokaliteter præsenteres i rapporten, som danner grundlaget for definition af vurderingskriterier og forslag til afværgeteknologier samt forslag til supplerende undersøgelser.

Rapporten identificerer og vurderer en række afværgeteknologier, som enten er blevet testet eller udviser lovende resultater under danske forhold. Derudover fremhæves internationale erfaringer, der potentielt kan overføres til danske forhold. Erfaringsopsamlingen viser, at en kombination af løsninger ofte er nødvendig for at adressere både kilden og forureningsfanen effektivt.

Rapporten præsenterer en række specifikke eksempler på lokaliteter og diskuterer relevante afværgeteknologier; disse kan tjene som inspiration til lignende initiativer andre steder. Udviklingen af nye metoder, såsom naturbaserede løsninger og modificerede sedimentafdækninger, kan yderligere styrke håndteringen af jordforurening, der påvirker overfladevand i Danmark.

Rapporten fremlægger forslag til vurderingskriterier, der kan anvendes til at målrette den videre indsats for jordforurening som påvirker overfladevand. Disse kriterier er udarbejdet ud fra miljømæssige, tekniske og økonomiske faktorer.

Rapporten præsenterer et forslag til en 7- trins proces for Regionernes indsats overfor jordforureninger, der truer overfladevand. Processen understøtter og bygger videre på den systematiske tilgang som Regionerne allerede anvender over for overfladevandstruende jordforureninger. Et centralt element i den videre indsats er behovet for supplerende undersøgelser for at identificere de forureninger, hvor afværge vil gøre størst gavn for miljøet.

Derudover gives der følgende konkrete anbefalinger til regionernes indsats vedr. alle trin, fra risikoscreening, til undersøgelser, vurdering og afværge.

Det anbefales at:

- 1 Udvide Miljøstyrelsens risikoscreeningsværktøj til også at omfatte PFAS. Derudover anbefales det at iværksætte en særlig indsats for at vurdere konsekvensen af PFAS jordforurening over for overfladevand, grundet omfang af den diffuse forurening.
- 2 Udføre supplerende undersøgelser på relevante lokaliteter, især for at afklare sammenhængen mellem forurening og overfladevand. Det indebærer en bedre kortlægning af forbindelsen mellem forurening i grundvandet og nærliggende overfladevand gennem indsamling af sammenhængende data. Derudover anbefales det at udføre videre undersøgelser af forurening i sediment, da det kan udgøre en langvarig kilde til forurening af overfladevand, især for PFAS og tungmetaller.
- 3 At overveje om non-target analyser skal inddrages i feltundersøgelser for at identificere ukendte eller oversete stoffer, herunder også lægemidler.

- 4 At arbejde systematisk med opsporing af andre forureningskilder, så man bedre kan vurdere de samlede belastninger af overfladevand og effekten af afværge.
- 5 At erfaring opbygges med de vurderingskriterier, som er nødvendige for at underbygge en beslutning om afværge: Omfanget af overfladevandsforureningen, karakterisering af jordforureningen, hydrogeologisk og hydrologisk kortlægning, geologiske undersøgelser, kortlægning af forureningsfaner som udløber til overfladevand, diffusion mellem bundsediment og vand, sæsonvariation af grundvandets forureningsflux, kortlægning af andre kilder til forurening, økologiske forhold og økologisk risikovurdering, fysiske forhold for overfladevand. Det anbefales, at der foretages en løbende evaluering af vurderingskriterierne, så de tilpasses erfaringer og bedst muligt understøtter indsatsen. Vurderingerne skal foretages i tæt dialog med de interessenter, som besidder de nødvendige faglige kompetencer til at vurdere dem.
- 6 At iværksætte en målrettet indsats mod ældre lossepladser, f.eks. med perkolatopsamling og dæklag, og at udarbejde klare retningslinjer for håndteringen.
- 7 At afprøve og videreudvikle nye afværgeteknologier under danske forhold samt udarbejde en national vejledning om overvåget naturlig nedbrydning som alternativ til aktiv afværgeindsats.
- 8 De nuværende ressourcer til håndtering af jordforureninger, der påvirker overfladevand, er ikke tilstrækkelige. Derfor anbefales det at opsøge aktivt synergier med andre grønne dagsordener og samarbejd om ressourcer, for eksempel med klima- og lavbundsprojekter, for at styrke indsatsen mod jordforurening i overfladevand.

10. Referencer

- Aisopou, A., Th. Sonne, A., Bjerg, P. L. & Binning, P., 2014. *Jordforureningers påvirkning af overfladevand*, s.l.: Miljøstyrelsen.
- Anderson, T. R., Groffman, P. M., Kaushal, S. S. & Walter, M. T., 2014. Shallow Groundwater Denitrification in Riparian Zones of a Headwater Agricultural Landscape. *Journal of Environmental Quality*.
- Anon., 2017. *Environmental Restoration Program Naval Air Station Patuxent River Restoration Advisory Board Meeting*. s.l.: s.n.
- Baily, R. T., Romero, E. C. & Gates, T. K., 2015. Assessing best management practices for remediation of selenium loading in groundwater to streams in an irrigated region. *Journal of Hydrology*, Årgang 521, pp. 341-359.
- Bjerg, P. L. et al., 2014. *Risikovurdering af lossepladser påvirkning af overfladevand, Miljøprojekter Vol. 2014 No. 1604*, s.l.: Miljøstyrelsen.
- Brand, J. H., Spencer, K. L., O'Shea, F. T. & Lindsay, J. E., 2018. Potential pollution risks of historic landfills on low-lying coasts and estuaries. *WIREs Water*.
- British Geological Survey, 2025. *British Geological Survey*. [Online]
Available at:
https://www2.bgs.ac.uk/groundwater/catchment/hyporheic_zone/hyporheic_mine_impacted.html
- Chan, J. et al., 2017. Combined effects of land reclamation, channel dredging upon the bioavailable concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Victoria Harbour sediment, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 114(11), pp. 587-591.
- Clausen, L., 2017. *Feasibility of phytoremediation for common soil and groundwater pollutants*, s.l.: DTU.
- COWI, 2022. *Tiltaksplan for PFAS forurensset grunn som følge af brannøvnig*, Oslo: COWI.
- Dai, C. et al., 2022. Review on the contamination and remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal soil and sediments. *Environmental Research*, Årgang 205.
- Damgaard, A. et al., 2011. LCA and economic evaluation of landfill leachate and gas technologies. *Waste Management*, 31(7), pp. 1532-1541.
- Dell'Anno, A. et al., 2020. Assessing the efficiency and ecosustainability of bioremediation strategies for the reclamation of highly contaminated marine sediments. *Marine Environmental Research*, Årgang 162.
- DHI; Hansen, Jørgen G., 2006. *Fortynding langs danske kyster*, s.l.: DHI.
- DMR, 2022. *Forureningsundersøgelse af overfladevand, Lok.nr. 571-47001 Ribe Jernstøberi A/S, Saltgade 11, 6760 Ribe*, s.l.: DMR.
- DMR, 2023. *Forureningsundersøgelse af overfladevand: Allégade Nord, 3300 Frederiksværk*, s.l.: Region H.
- DMR, 2023. *Forureningsundersøgelse af overfladevand: Hillerød Kommunes Losseplads, Holmene (Holmene Losseplads)*, s.l.: DMR.
- DMR, 2023. *Forureningsundersøgelse af overfladevand: Lok.nr. 493-00002 Kommunal Losseplads Leby, Leby Landevej 9, 5985 Ærø*, s.l.: DMR.
- El-Saadony, M. T. et al., 2023. Hazardous wastes and management strategies of landfill leachates: A comprehensive review. *Environmental Technology & Innovation*, August, Årgang 31.
- Fjeldsø, J., 2021. *Status og fremdrift på oprensningen i Kærgård Klitplantage*. s.l.: s.n.
- Francesco, B., Race, M., Papirio, S. & Giovanni, E., 2023. A critical review of the remediation of PAH-polluted marine sediments: current knowledge and future perspectives. *Resources, Environment and Sustainability*, Årgang 11.

Freitas, J. G. et al., 2015. Heterogeneous hyporheic zone dechlorination of a TCE groundwater plume discharging to an urban river reach. *Science of the Total Environment*, Årgang 505, pp. 236-252.

Freitas, J. G. et al., 2015. Heterogeneous hyporheic zone dechlorination of a TCE groundwater plume discharging to an urban river reach. *Science of the Total Environment*, Årgang 505, pp. 236-252.

GEO; Klint, Knud Erik Strøyberg; Larsen, Lisa, 2023. *Korsør Rescue and Safe Center, Geo project nr. 205479, Report 1, 22-08-2023*, s.l.: GEO.

Geosyntec, 2025. *Optimization and Retrofit of a Leachate Treatment System*. [Online] Available at: <https://www.geosyntec.com/projects/item/6616-optimization-and-retrofit-of-a-leachate-treatment-system>

Government of Canada, 2025. *Fact sheet: Phytoremediation of Organic Compounds*. [Online] Available at: <https://gost.tpsgc-pwgsc.gc.ca/tfs.aspx?ID=16&lang=eng>

Hall, L. C., Wilson, J. T. & Birnstingl, J. G., 2024. Pandora's PFAS box: Life cycle exposure considerations of treatment options for PFAS in groundwater. *Remediation*, Årgang 34.

Heagney, G., 2024. *Council taking measures to stop leachate plume reaching stream*. [Online] Available at: <https://www.thepost.co.nz/nz-news/350431604/council-taking-measures-stop-leachate-plume-reaching-stream>

Hill, A. R., 2019. Groundwater nitrate removal in riparian buffer zones: a review of research progress in the past 20 years. *Biogeochemistry*, 143, pp. 347-369.

Howard, B. C. et al., 2024. Restoring the Liver of the River: Actionable Research Insights to Guide the Restoration of the Hyporheic Zone for the Improvement of Water Quality. I: S. Krause, D. M. Hannah & N. B. Grimm, red. *Ecohydrological Interfaces*. First Edition red. s.l.: John Wiley & Sons Ltd., pp. 355-390.

ITRC, 2023. *PFAS Technical and Regulatory Guidance Document and Fact Sheets PFAS-1*. [Online] Available at: <https://pfas-1.itrcweb.org/12-treatment-technologies/>

Jørgensen, T. H. et al., 2022. *Undersøgelser på Collstrop grunden – vidensniveau for at hindre forureningsspredning til fredet naturområde*. Vingsted: s.n.

Kjeldsen, P., 1991. *Perkolatudsivning, Undersøgelse ved Vejen losseplads*, s.l.: DTU.

Kornilovych, B. et al., 2018. Uranium Removal from Groundwater by Permeable Reactive Barrier with Zero-Valent Iron and Organic Carbon Mixtures: Laboratory and Field Studies. *Metals*, 8(408).

Kristensen, E. A. et al., 2014. *Dansk fiskeindeks for vandløb (DFFV)*, s.l.: DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi .

Lemming, G., Binning, P. J. & Bjerg, P. L., 2014. *Bæredygtighedsvurdering af løsningsalternativer for kemikaliedepotet Høfde 42, Lyngby*: DTU Miljø.

Lemming, G., Harrekilde, D., Laitinen, J. & Christophersen, M., 2022. *Sustainable Remediation: Methodology for Assessment*, s.l.: Miljøstyrelsen.

Majone, M. et al., 2015. In situ groundwater and sediment bioremediation: Barriers and perspectives at European contaminated sites. *New Biotechnology*, 32(1), pp. 133-146.

Mali, M. et al., 2024. Mobility of trace elements in a coastal contaminated site under groundwater salinization dynamics. *Scientific Reports*, 14(24859), pp. 1-24.

Miljø- og LigestillingsMinisteriet, 2023. *BEK nr 796 af 13/06/2023 Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand*, s.l.: Miljø- og LigestillingsMinisteriet.

Miljøstyrelsen, 2000. *Landfilling of Waste*. [Online] Available at: https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2000/87-7909-605-0/html/default_eng.htm

Miljøstyrelsen, 2015. *Redegørelse om olieforurening på Shells havneterminål i Fredericiå*, s.l.: s.n.

Miljøstyrelsen, 2025. [Online] Available at: <https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/jord/forurenede-grunde>

Miljøstyrelsen, 2025. *Screeningsprincip for jordforureninger, der kan true overfladevand*, s.l.: Miljøstyrelsen.

Moren, I., Worman, A. & Riml, J., 2017. Design of Remediation Actions for Nutrient Mitigation in the Hyporheic Zone. *Water Resources Research*, Årgang 53, pp. 8872-8899.

New Jersey Department of Environmental Protection, 2012. *Monitored Natural Attenuation Technical Guidance*, s.l.: s.n.

Nilsson, B. et al., 2019. *Vurdering af grundvandets kemiske påvirkning på vandløb og kystvand*, s.l.: GEUS.

NIRAS, 2021. *Indledende forureningsundersøgelse, Slagelse Brand og Redning*, s.l.: s.n.

NIRAS & Dyreborg, S., 2023. *PFAS-forureningen fra Korsør Brandskole - Hvad er der sket de sidste 2 år, og hvad har vi lært?*. Vingsted: s.n.

Nopens, I. & Van Cauwenberg, S., 2025. *Fytolutions: we clean the earth with plants*. s.l.: s.n.

Odense Kommune, 2025. *Stige Ø: perkolat*. [Online]
Available at: <https://www.stigeoe.dk/landskab/perkolat>

Odense Renovation, 2025. [Online]
Available at: <https://www.odensewaste.com/landfill/landfill-aftercare/leachate-treatment/>

Office of Environmental Management, 2025. *Soil flushing to accelerate Hanford cleanup*. [Online]
Available at: <https://www.energy.gov/em/articles/soil-flushing-system-accelerate-hanford-groundwater-cleanup>

Office of Solid Waste and Emergency Response (5203P), 2007. *Options for Discharging Treated Water from Pump and Treat Systems*, s.l.: s.n.

Ottosen, C. B. et al., 2020. Natural attenuation of a chlorinated ethene plume discharging to a stream: Integrated assessment of hydrogeological, chemical and microbial interactions. *Water Research*, Årgang 186.

Overheu, N. D. et al., 2011. *Værktøjer til brug for risikovurdering og prioritering af grundvandstruende forureninger*, s.l.: Miljøstyrelsen.

Parvin, F. & Tareq, S. M., 2021. Impact of landfill leachate contamination on surface and groundwater of Bangladesh: a systematic review and possible public health risks assessment. *Applied Water Science*, 11(100).

Pedersen, J. K. et al., 2024. *Undersøgelser Grindsted Forureningsfanens vej fra fabriksgrunden til Grindsted Å*. Vingsted: s.n.

Pivetz, B. E., 2001. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites*, s.l.: USEPA.

Regenesis, 2023. *In Situ Chlorinated Solvent Treatment Protects Municipal Pumping Station*, s.l.: s.n.

Regenesis, 2024a. *Petroleum Plume Mitigated to Protect Flathead Lake*, s.l.: s.n.

Regenesis, 2024b. *In Situ PFAS Remediation Protects Offsite Environment at Airport in Norway*, s.l.: s.n.

Region Hovedstaden; Howitz, Rikke Vinten; Overgaard, Helle, 2024. *Notat vedr. beregning af sum af PFOA-ækvivalenter*, s.l.: Region Hovedstaden.

Region Hovedstaden; WSP, 2023. *Undersøgelse af jordforureningers påvirkning af overfladevand: Kastrup Forstrand/ Superfos Kemi*, s.l.: Region Hovedstaden.

Region Hovedstaden, 2025. *Generationsforureninger*. [Online]
Available at: <https://www.regionh.dk/klima-og-miljoe/jordforurening/projekter/Sider/Generationsforureninger.aspx>

Region Midtjylland; WSP, 2023. *Forureningsundersøgelse – overfladevand, Losseplads Tarm*, s.l.: Region Midtjylland.

Region Midtjylland, 2021. *Høfde 42 Notat 2.1B*, s.l.: s.n.

Region Midtjylland, 2025. *Cheminovas gamle fabriksgrund - Regional Udvikling*. [Online]
Available at: <https://www.ru.rm.dk/klima-og-miljo/jordforurening/generationsforureningerne/cheminovas-gamle-fabriksgrund/>

Region Sjælland, 2015. *Tilvejebringelse af beslutningsgrundlag for den fremtidige afværge på Stengårdens Losseplads*, s.l.: Region Sjælland.

Region Syddanmark; WSP, 2023. *Undersøgelse af jordforureningers påvirkning af overfladevand, Holmebækken Lok. nr. 483-00018*, s.l.: Region Syddanmark.

Region Syddanmark, 2016. *Forurening på Østerstrand skal væk hurtigst muligt*, s.l.: s.n.

Region Syddanmark, 2017. *Den sydligste del Østerstrand kan snart blive genåbnet*, s.l.: s.n.

Region Syddanmark, 2019. *Østerstrand-barriere klar til november*, s.l.: s.n.

Region Syddanmark, 2024. *Videregående undersøgelser Pulje 30. Undersøgelser i Grindsted Forslag til afværgeindsatser*, s.l.: s.n.

Region Syddanmark, 2025. [Online]
Available at: <https://www.billund.dk/media/jvphaukc/grindsted-aa.pdf>

Region Syddanmark, 2025. [Online]
Available at: <https://regionsyddanmark.dk/media/jvaboo4i/folder-om-k%C3%A6rg%C3%A5rd-klitplantage.pdf>

Regionenes Videncenter for Miljø og Ressourcer; Madsen, Catharina Simone Nisbeth, 2023. *Guide til at komme i gang med GrundRisk Risikovurdering*, s.l.: Regionenes Videncenter for Miljø og Ressourcer.

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2025. *Former Korsør Fire Academy*. [Online]
Available at: <https://www.miljoeogressourcer.dk/testsite/11>

Roost, S., Bach Nielsen, C. & Munch, S. K., 2015. *Guide til indledende undersøgelser af jordforureninger, der udgør en potentiel risiko for overfladevand*, s.l.: Miljøstyrelsen.

Roost, S. et al., 2018. *Vandløb påvirket af jordforurening: tidlig variation i koncentration og vandføring*, s.l.: Miljøstyrelsen.

Roost, S., Nielsen, C. B. & Munch, S. K., 2015. *Miljøprojekt nr. 1657: Guide til indledende undersøgelser af jordforureninger, der udgør en potentiel risiko for overfladevand*, s.l.: Miljøstyrelsen.

Rosendal, R., 2011. *Udnyttelse af lossepladsgas - Opsamling på gennemførte projekter under Miljøstyrelsens Virksomhedsordning*, s.l.: Miljøstyrelsen.

Shen, X. et al., 2024. Overload of dissolved organic matter (DOM) in riparian infiltration zone increasing the pollution risk of naphthalene, insight from the competitive inhibition of naphthalene biodegradation by DOM. *Water Research*, Årgang 264.

Sonne, A. T., McKnight, U. S., Rønde, V. & Bjerg, P. L., 2017. Assessing the chemical contamination dynamics in a mixed land use stream system. *Water Research*.

Sørensen, J. B. et al., 2024. *Opstilling og dokumentation af stopkriterier for afværge med komplekse risikoforhold*. Vingsted: s.n.

Sørensen, M. F. et al., 2023. *Jordforureningers påvirkning af overfladevand*, s.l.: Danske Regioner.

Sørensen, M. F. et al., 2023. *Jordforureningers påvirkning af overfladevand: Resultater af regionernes undersøgelser 2021-2022, Dataanalyse og erfaringsopsamling*, s.l.: Danske Regioner.

SPREP; JICA, 2010. [Online]
Available at: <https://www.unep.org/resources/report/practical-guide-landfill-management-pacific-island-countries-and-territories>

Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø, 2025. *Vandløb*. [Online]
Available at: <https://sgavmst.dk/vandmiljoe/vandloeb>

Swanston, M., 2023. *Protection of a chalk stream using an injected permeable reactive barrier*, s.l.: REGENESIS.

Syddanmark, R., 2025. *Himmark Strand*. [Online]
Available at: <https://regionsyddanmark.dk/klima-og-miljo/vand-og-jord/generationsforureningerne/himmark-strand>

Taylor, P. et al., 2018. *Nature-based solutions for water management, A primer*, s.l.: UN Environment.

Tewari, A., Singh, P. K. & Gaur, S., 2022. Engineered hyporheic zones: design and applications in stream health restoration – a review. *Water Supply*, 22(2), p. 2179.

Tonkin + Taylor, 2019. [Online]
Available at: <https://www.horowhenua.govt.nz/files/assets/public/v/2/levin-landfill/levin-landfill-summary-of-leachate-options-assessment-tonkin-taylot.pdf>

Travis, B. J. & Rosenberg, N. D., 1997. Modeling in Situ Bioremediation of TCE at Savannah River: Effects of Product Toxicity and Microbial Interactions on TCE Degradation. *Environmental Science and Technology*, 31(11), p. 3093–3102.

Tsitonaki, K., Priess, S. & Roost, S., 2023. *Overblik over viden om pfas til vurdering af grundvandets mulige påvirkning af overfladevand*, s.l.: Miljøstyrelsen.

Tsitonaki, K., Priess, S. & Roost, S., 2023. *Overblik over viden om PFAS til vurdering af grundvandets mulige påvirkning af overfladevand*, s.l.: Miljøstyrelsen.

US Department of Energy, 2023. *Savannah River Site Groundwater Management Strategy and Implementation Plan (U), WSRC-RP-2006-4074*, Aiken, South Carolina : US Department of Energy.

US Department of Energy, 2024. *The Hanford Site: Groundwater Cleanup*. [Online]
Available at:
https://www.hanford.gov/files.cfm/GW_Remediation_Fact_Sheet.pdf#:~:text=The%20U.S.%20Department%20of%20Energy%20%28DOE%29%20and%20contractor,of%20more%20than%202%2C000%20wells%20and%20other%20infrastructure.

US DOE, 1999. *In Situ Bioremediation for the Hanford Carbon Tetrachloride Plume*, s.l.: s.n.

USEPA, 2000. *Landfills Effluent Guidelines*. [Online]
Available at: <https://www.epa.gov/eg/landfills-effluent-guidelines>

USEPA, 2002. *Field Applications of In Situ Remediation Technologies: Permeable Reactive Barriers*, Washington, DC 20460: Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office.

USEPA, 2021. *Community Guide to Vertical Engineered Barriers*, EPA-542-F-21-026, s.l.: Office of Land and Emergency Management (5203P).

USEPA, 2025. [Online]
Available at: <https://semspub.epa.gov/work/HQ/401601.pdf>

USEPA, 2025. *Community Guide to Amended Sediment Caps*. [Online]
Available at: <https://semspub.epa.gov/work/HQ/401579.pdf>

USEPA, 2025. *Community Guide to In Situ Thermal Treatment*. [Online]
Available at: <https://semspub.epa.gov/work/HQ/401607.pdf>

USGS, 2024. *Pilot-scale phytoremediation of pesticide-contaminated groundwater near Columbia, SC airport (CAE)*. [Online].

Weatherill, J. J. et al., 2018. Natural attenuation of chlorinated ethenes in hyporheic zones: A review of key biogeochemical processes and in-situ transformation potential. *Water Research*, January, pp. 362-382.

WeConservePA, 2025. *The Science Behind the Need for Riparian Buffer Protection* :. [Online]
Available at: <https://library.weconservepa.org/guides/131-the-science-behind-the-need-for-riparian-buffer-protection>

Wellman, D. & Truex, M., 2018. *Lessons Learned from Remediation of Contaminated Sites under the Responsibility of the US DOE: Case Study Hanford Site*. s.l.: s.n.

11. Bilag A: Kategorisering af lokaliteterne

11.1 Kategoriseringsparametre

Dette bilag gennemgår og kategoriserer de jordforureninger, som pba. regionernes feltundersøgelser i 2021-2022 vurderes at påvirke nærliggende overfladevand. Datagrundlaget for kategoriseringen er opdateret af regionerne i 2025. Der er dog kun tale om små ændringer i forhold til datagrundlaget i Sørensen et al. (2023).

Et overblik over de anvendte kategoriseringsparametre vises i TABEL 10.

TABEL 10. Kategoriseringsparametre.

Kategoriseringsparametre
• Kildetype • Branche • Stoftype • Afstand • Overfladevandstype • Vandføring

11.2 Kategorisering af lokaliteterne

11.2.1 Kildetyper

Jf. regionernes opgørelse er der 117 ud af 388 lokaliteter, hvor jordforurening udgør en risiko for nærliggende overfladevand. Af dem vurderes det, at den konstaterede forurening af overfladevand **primært**, stammer fra den kortlagte jordforurening ved 67 lokaliteter. De betegnes af (Sørensen, et al., 2023) som type 1 lokaliteter. Derudover er der 50 lokaliteter, hvor det vurderes, at forureningen stammer **delvist** fra den forurenede lokalitet, og disse betegnes som type 2 lokaliteter.

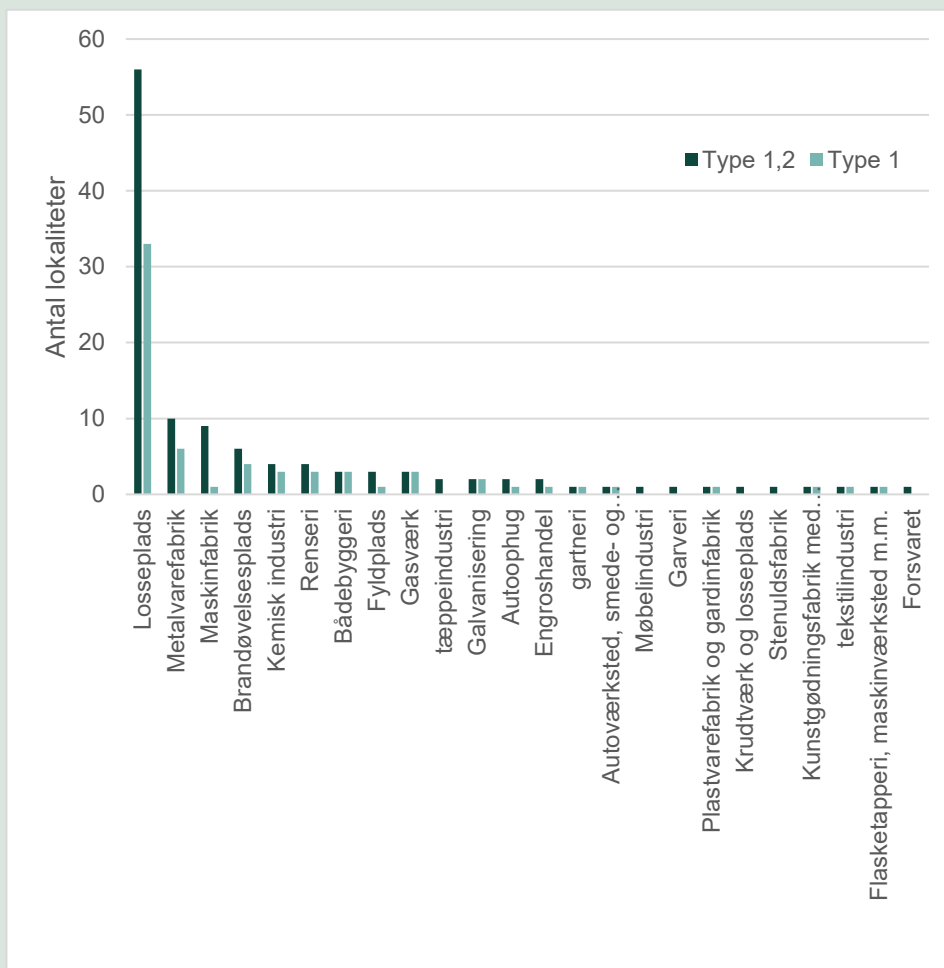
Type 2 kan bl.a. dække over lokaliteter, hvor der er forurening opstrøms i vandløb, som ikke er undersøgt. Type 1 kan også indeholde påvirkninger fra andre kilder, men den givne jordforurening vurderes at være den mest væsentlige for de undersøgte stoffer.

TABEL 11. Overblik over de jordforurenede lokaliteter, som behandles i denne rapport

Lokalitetsbeskrivelse	Kategori af påvirkning	Antal lokaliteter
Lokaliteter med konstateret forurening, som påvirker nærliggende overfladevand	Type 1 eller type 2	117
Lokaliteter, hvor påvirkningen af overfladevand vurderes primært at stamme fra den kortlagte lokalitet	Type 1	67
Lokaliteter, hvor påvirkningen af overfladevand vurderes delvist at stamme fra den kortlagte lokalitet	Type 2	50

11.2.2 Branche

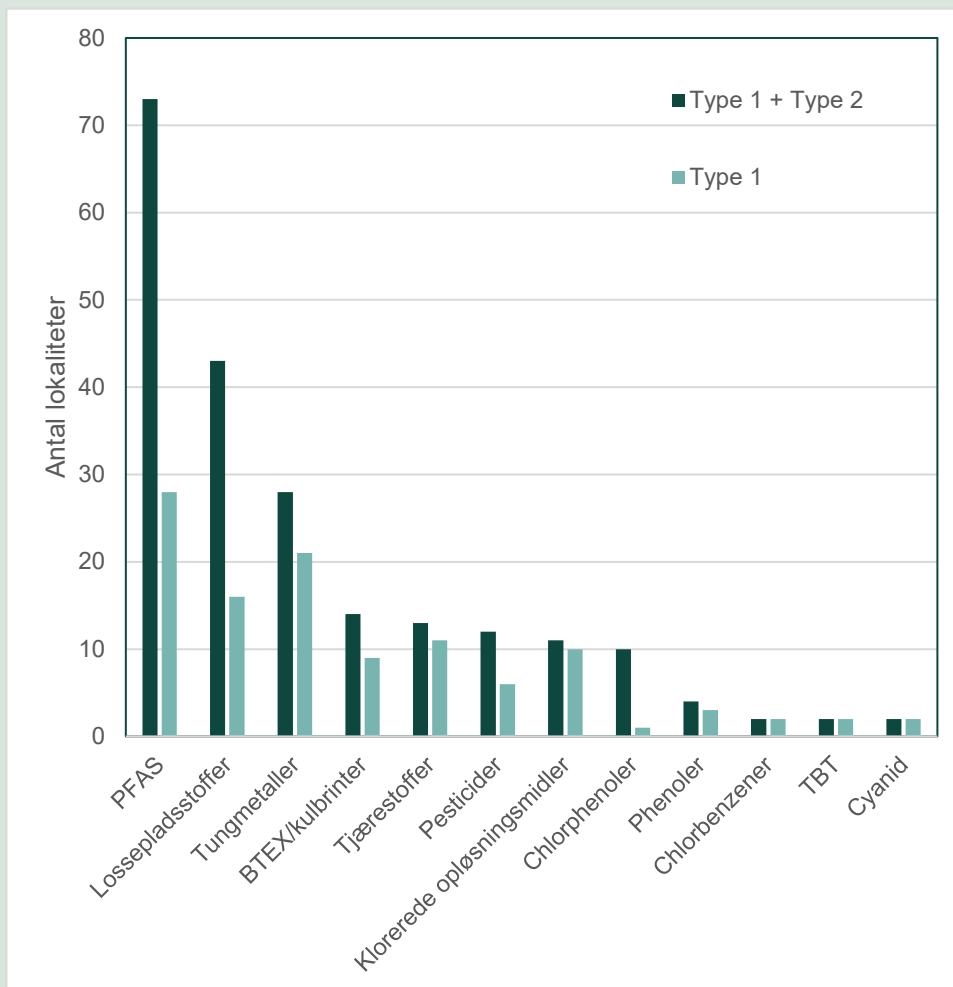
FIGUR 4 viser fordelingen af de 117 type 1 eller type 2 lokaliteter fordelt på branche/aktiviteter. Det ses, at den mest hyppige branche er lossepladser. Ældre ukontrollerede lossepladser ligger ofte i lavbundsområder, som ikke egner sig til byggeri eller landbrug. Bemærk at for at forsimple overblikket over brancherne, anvender denne rapport en grov kategorisering af lokaliteterne, hvor hver lokalitet er tildelt én branche. Virkeligheden er mere kompleks. For eksempel kan der have været flere brancher/aktiviteter på én lokalitet, såsom en brandslukningsplads og en losseplads, eller et krudtværk og en losseplads. Endvidere kan en branche omfatte et bredt spektrum af aktiviteter. For eksempel dækker branchen 'metalvarefabrik' aktiviteter fra metalvareproduktion til jernstøberier og maskinværksteder.



FIGUR 4. Antal lokaliteter per branche. Type 1 = Påvist som primær forureningskilde. Type 2 = Delvis forureningskilde.

11.2.3 Stof typer

FIGUR 5 viser forekomsten af forureningsstofferne, konstateret i overfladevand nær de 117 undersøgte lokaliteter.



FIGUR 5. Antal lokaliteter fordelt efter kritiske forureningsstof(gruppe)

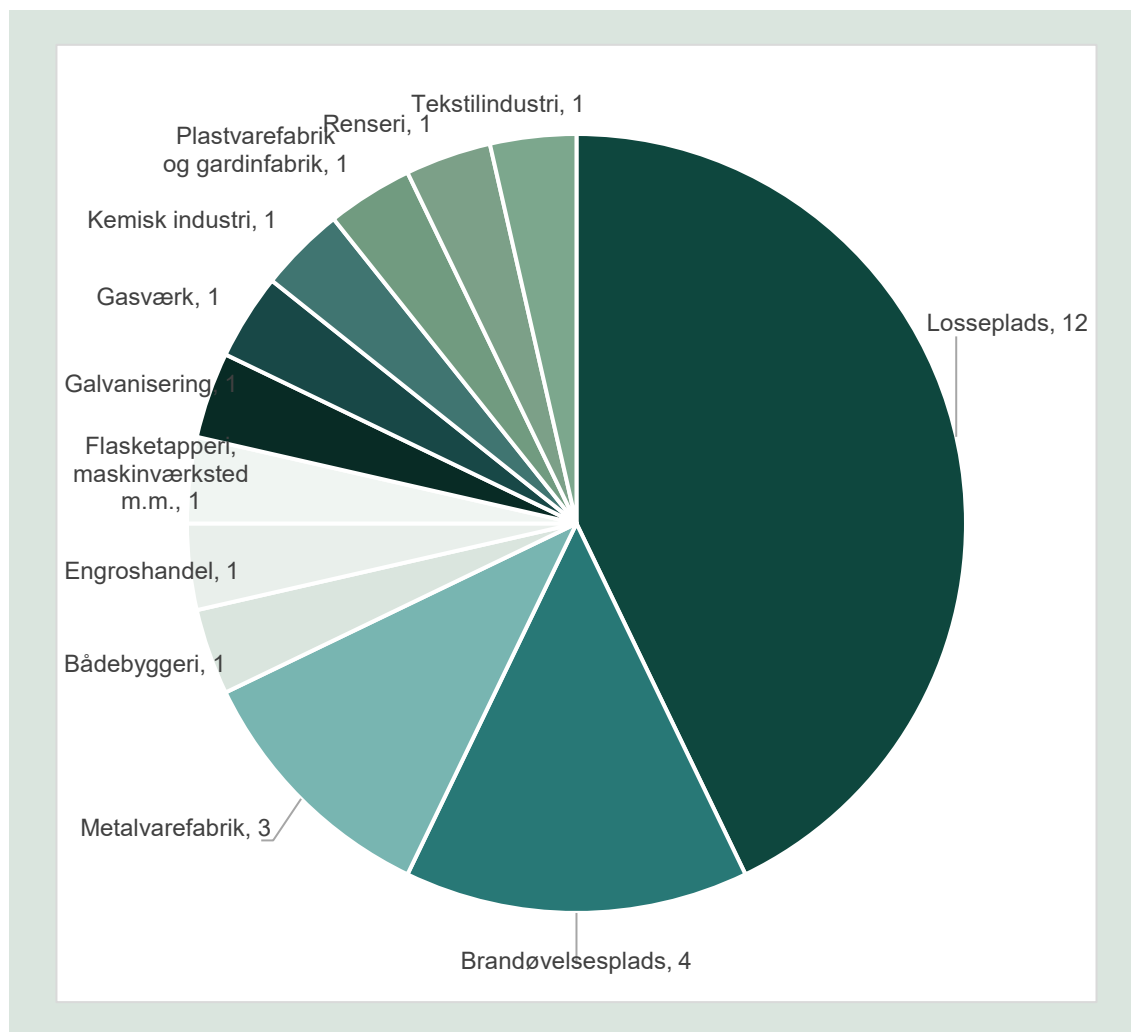
Den stof (gruppe), der hyppigst er konstateret i overfladevand nær jordforureninger, er PFAS. PFAS er konstateret i overfladevand nær halvdelen af de 117 lokaliteter, dvs. at PFAS måles over grænseværdien ved 73 af lokaliteterne (heraf på 28 type 1 lokaliteter). Nær flere af lokaliteterne konstateres der PFAS forurening i overfladevand, som også vurderes at stamme fra andre kilder end den undersøgte lokalitet (type 2 lokaliteter), hvilket afspejler den store udbredelse af PFAS i miljøet (Tsitonaki, et al., 2023). Branchefordelingen blandt de 28 type 1 PFAS-lokaliteter kan ses på FIGUR 6. Der ses en stor variation af forskellige brancher, hvilket afspejler den meget udbredte anvendelse af PFAS i samfundet.

Det skal bemærkes, at Miljøministeriet den 23. november 2023 har fastsat nye grænseværdier for PFAS i vandmiljøet, hvorefter grænseværdien i overfladevand er fastsat til 4,4 ng/l for summen af PFOA-ækvivalenter for 24 PFAS-stoffer. Det supplerer den fortsat gældende grænseværdi for PFOS i ferskvand på 0,65 ng/l (Region Hovedstaden; Howitz, Rikke Vinten; Overgaard, Helle, 2024). I stedet for at genvurdere samtlige lokaliteter i forhold til den nye grænseværdi, har regionerne beregnet PFOA-ækvivalent-summer på de tilgængelige analysedata. Det giver ikke et helt korrekt resultat, men vurderes at give et retvisende billede af risikoen på baggrund af de eksisterende undersøgelser, fordi der med stor sandsynlighed også vil være en overskridelse af grænseværdien for PFOS, de steder hvor PFOA-ækvivalent grænseværdier overskrides (Region Hovedstaden; Howitz, Rikke Vinten; Overgaard, Helle, 2024).

Den næst hyppigste stofgruppe er lossepladsstoffer. . Lossepladsstoffer er en samlebetegnelse for en række stoffer, der er typiske for lossepladsperkolat. Det drejer sig bl.a. om opløst organisk stof, ammoniak og ammonium, nitrat, klorid, jern, svovlbrinte og metan (se i øvrigt bilag 2 i (Sørensen, et al., 2023)) Udover lossepladsstofferne kan perkolat fra lossepladser også indeholde en lang række andre problematiske stoffer som f.eks. PFAS, pesticider mv.

Det er vurderet, at lossepladsstofferne er kritiske på 14 type1 lossepladser og på 24 type 2 lossepladser. Det betyder, at 38 af de 56 lossepladser i datasættet påvirker overfladevandet med lossepladsstoffer i et niveau, der giver anledning til overskridelse af grænseværdierne. De resterende 18 lossepladser påvirker overfladevandet på grund af en blanding af PFAS (10 stk.), tungmetaller (5 stk.), tjærestoffer (5 stk.), BTEX og kulbrinter (5 stk.), pesticider (1 stk.), og chlorerede opløsningsmidler (1 stk.). Det afspejler, at lossepladskategorien dækker over flere forskellige kildetyper med forskelligartede deponier.

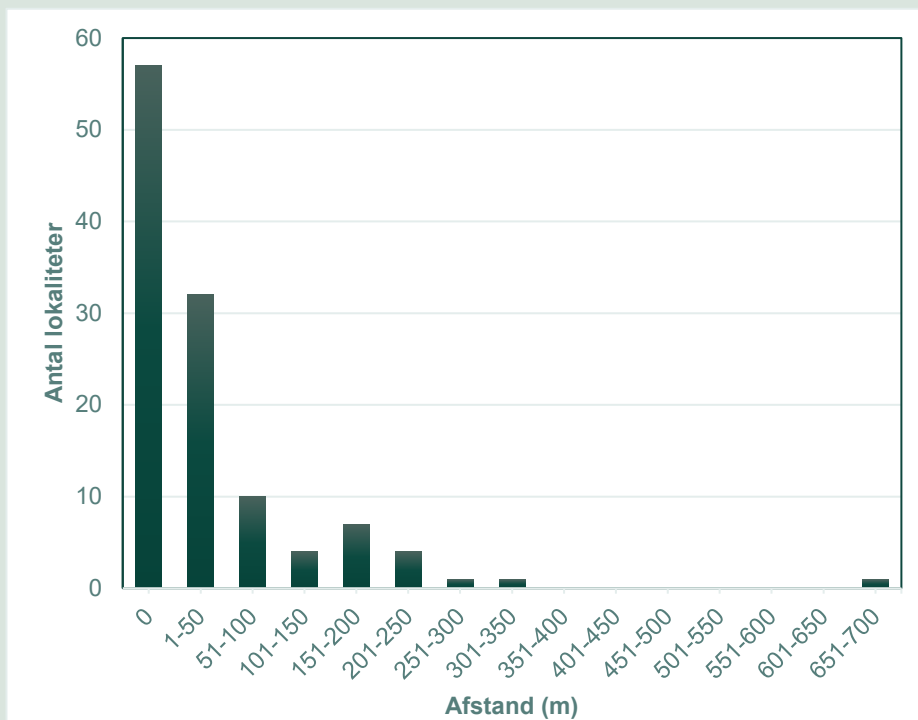
En stor andel af lokaliteterne med PFAS og lossepladsstoffer er type 2 lokaliteter, mens type 1 lokaliteterne domineres af de øvrige stofgrupper, som vist på FIGUR 5. Udover PFAS og lossepladsstoffer, er der også lokaliteter, hvor BTEX er det kritiske stof. Her er det ved 14 lokaliteter, hvor BTEX påvirker nærliggende overfladevand og de fleste (12 lokaliteter) ligger inden for 20 m fra overfladevandet. BTEX bliver hurtigt nedbrudt, og derfor ses det kun, når jordforureningen er meget tæt på overfladevandet.



FIGUR 6. Brancher med fund af PFAS på de 28 type 1 - lokaliteter

11.2.4 Afstand til overfladevand

FIGUR 7 viser, at hovedparten af lokaliteterne ligger mindre end 250 m fra overfladevand. Det skal bemærkes, at det maksimale stofspecifikke afstandskriteriet i Trin 2 af screeningsprocessen er på 250 m (chlorerede opløsningsmidler). De enkelte lokaliteter med større afstand blev inddraget manuelt uden for screeningsværktøjet. Dette er for eksempel tilfældet ved den ene lokalitet med en brandøvelsesplads forurenet med PFAS, der ligger 700 m fra nærliggende overfladevand.



FIGUR 7. Afstand til overfladevand for alle 117 lokaliteter.

På baggrund af FIGUR 7 kan jordforureningerne inddeles i en afstandskategori, hvilket er vist i TABEL 12, sammen med nogle kommentarer til den vurderede påvirkning i forhold til forskellige afstande.

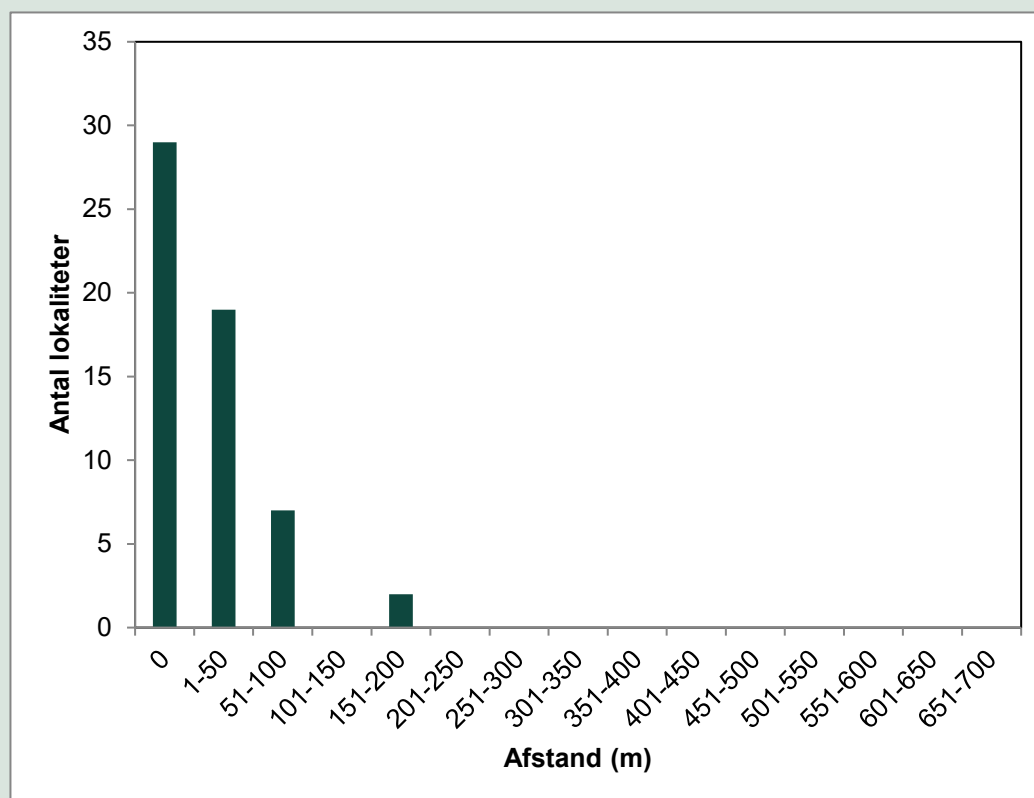
TABEL 12. Kategorier for afstanden mellem jordforureningen og overfladevandet.

Afstand	Kategori	Antal lokaliteter	Kommentarer
0-50 m	A1	• 89	• Meget tæt på overfladevand. • Fokus på kilden og ikke fanen ifm. afværge. • Lille afstand påvirker valg af afværge. • Relativt lille fortynding mellem kilden og overfladevandet. • Overvægt af lossepladser.
50-150 m	A2	• 14	• Tilstrækkelig afstand til at alle afværgeteknologier kan anvendes.

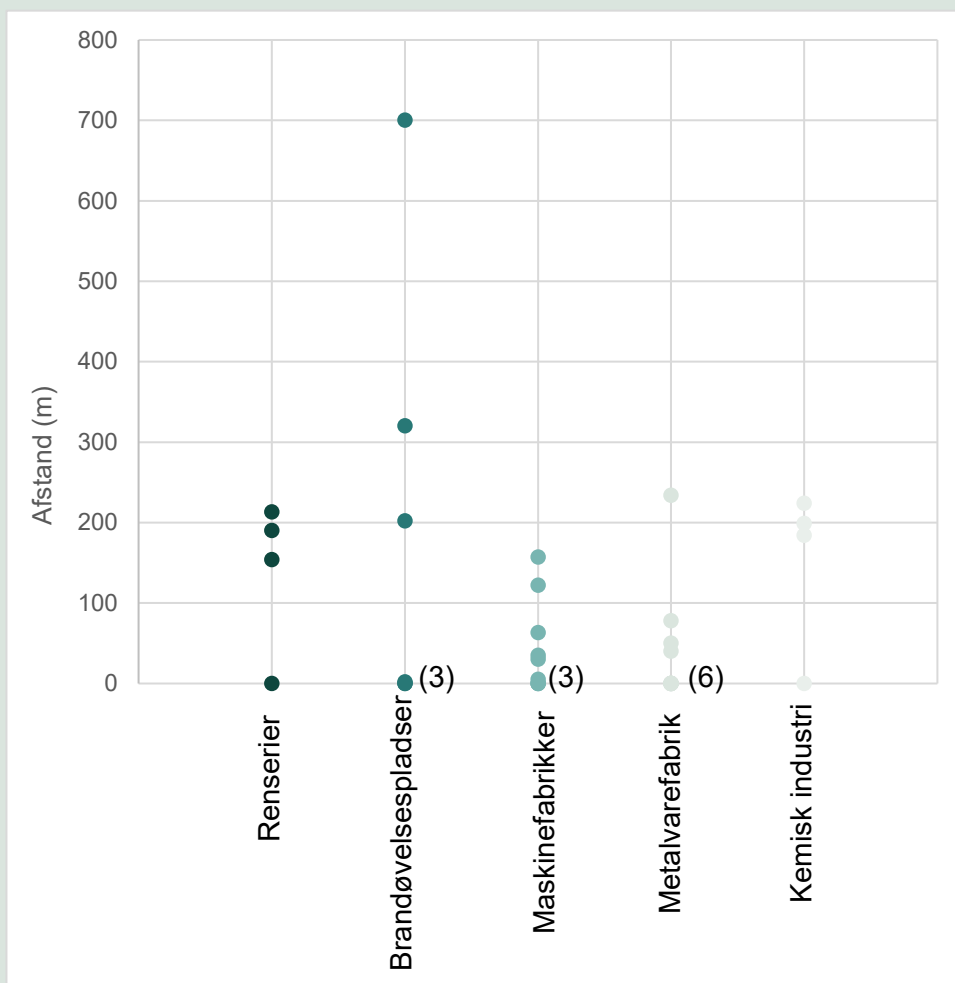
>150 m	A3	• 14	• Stor afstand. • Både kilden og fanen kræver opmærksomhed. • Mere blandede brancher. • Sandsynligvis en større jordforurening, da koncentrationerne i overfladevand er høje på trods af grundvandets attenueringsprocesser (fortynding, nedbrydning mm).
--------	----	------	--

Afstanden i forhold til brancherne på lokaliteterne vises i FIGUR 8 og FIGUR 9. Her kan det ses, at de fleste lossepladser ligger tæt på overfladevand, hvorimod der ses en større spredning i afstande for de andre mest udbredte jordforureninger (FIGUR 9).

Lossepladsernes korte afstand til overfladevand skyldes, som tidligere nævnt, at lossepladser typisk blev anlagt på arealer, som ikke var egnede til bebyggelse eller landbrug, og denne type arealer ligger typisk i lavning og lavbundsområder ved vandløb.



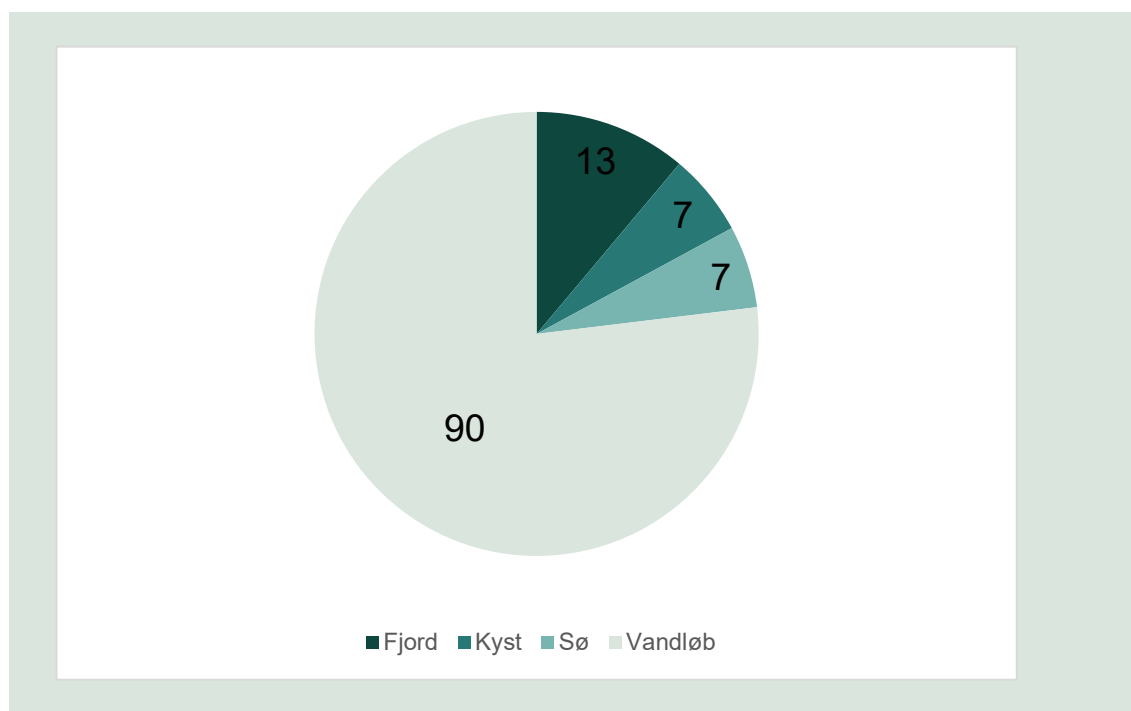
FIGUR 8. Afstand til overfladevand for de 57 lossepladser blandt de 117 lokaliteter.



FIGUR 9. Afstand til overfladevand for de viste brancher. Hver lokalitet vises som et punkt. Et tal i parentes viser, at et (antal) lokaliteter findes med samme afstand til overfladevandet.

11.2.5 Overfladevandstype

Overfladevandstypen har en stor betydning for den vurderede påvirkning af nærliggende overfladevand, især da opblanding har så stor en indvirkning på den endelige risiko. Hovedparten af de undersøgte jordforureninger, som truer overfladevand, ligger ved et vandløb (77%), 17% ligger i nærheden af kyster og fjorde, mens mindre end 6% påvirker en nærliggende sø FIGUR 10.

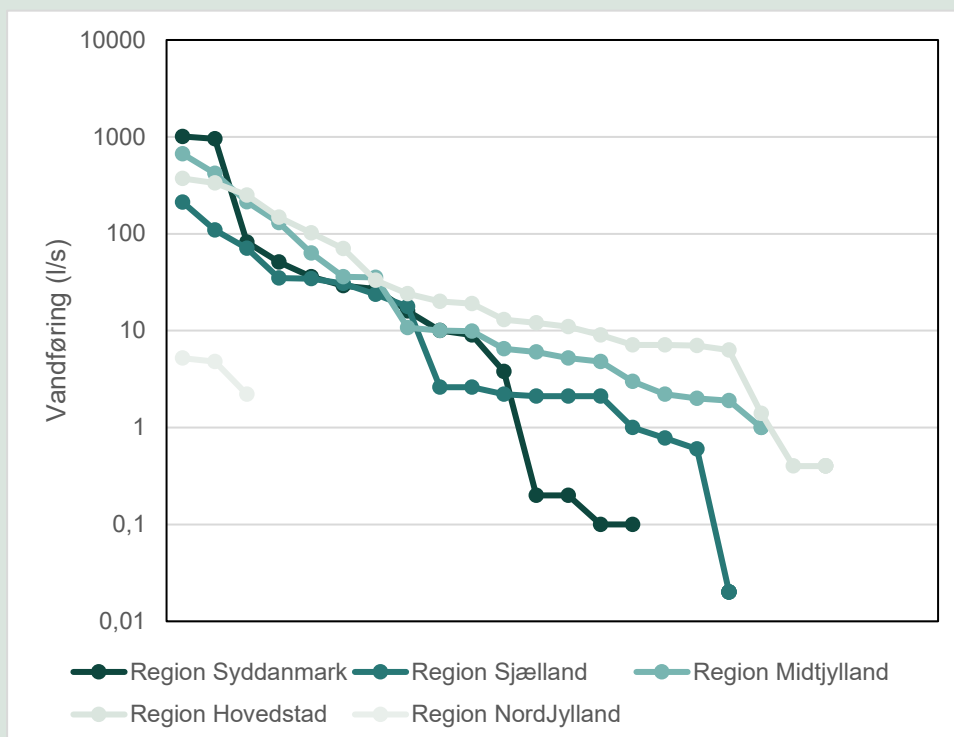


FIGUR 10. Fordeling af de 117 lokaliteter efter overfladevandstype

11.2.6 Vandføring i vandløb

Regionernes overfladevandsundersøgelser i 2021-2022 blev gennemført i perioder med en lav vandføring, for at sikre at de højeste mulige koncentrationer, blev målt (dvs. i løbet af sommeren). For alle regioner er der et stort spænd i vandføringen ved de forskellige vandløb på måletidspunktet (FIGUR 11). På baggrund af dette fordeler lokaliteterne sig i 3 vandføringskategorier

TABEL 13. Her anvendes ikke de gængse danske vandløbskategorier (**Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø, 2025**), som er kategoriseret på baggrund af bredden af vandløbet. Denne rapport lægger i stedet fokus på den aktuelle målte vandføring, som er mere relevant for påvirkningen af overfladevand nær jordforureningerne.



FIGUR 11. Vandføring (log10 skala) i vandløbene ved prøvetagning (90 lokaliteter ved et vandløb ud af de 117 jordforureninger som påvirker overfladevand). Hvert punkt repræsenterer en vandføring i en vandløbsstrækning ved en af de undersøgte lokaliteter. 37 af vandløbene havde en vandføring større end 10 l/s og 16 havde en vandføring på 0 l/s (næsten tørlagt – disse vises ikke på figuren).

TABEL 13. Kategorier for vandføringen i vandløb ved jordforureninger.

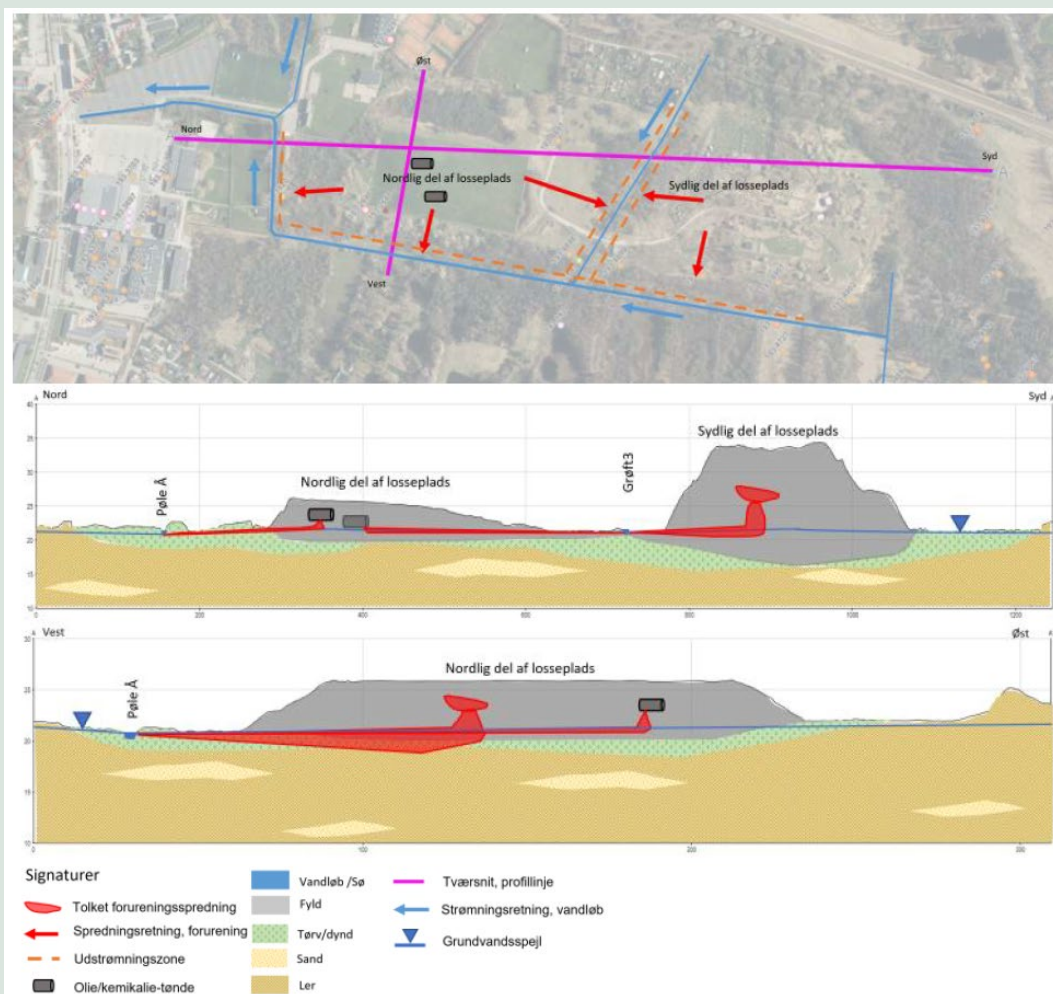
Vandføring	Kategori	Antal vandløbsstrækninger
0-2 l/s	F1	31
2-10 l/s	F2	22
>10 l/s	F3	37

11.3 Andre væsentlige forhold

Ud over kategoriseringsparametrene, er der en række andre forhold, som bør overvejes ved en vurdering af en jordforurenings påvirkning af nærliggende overfladevand.

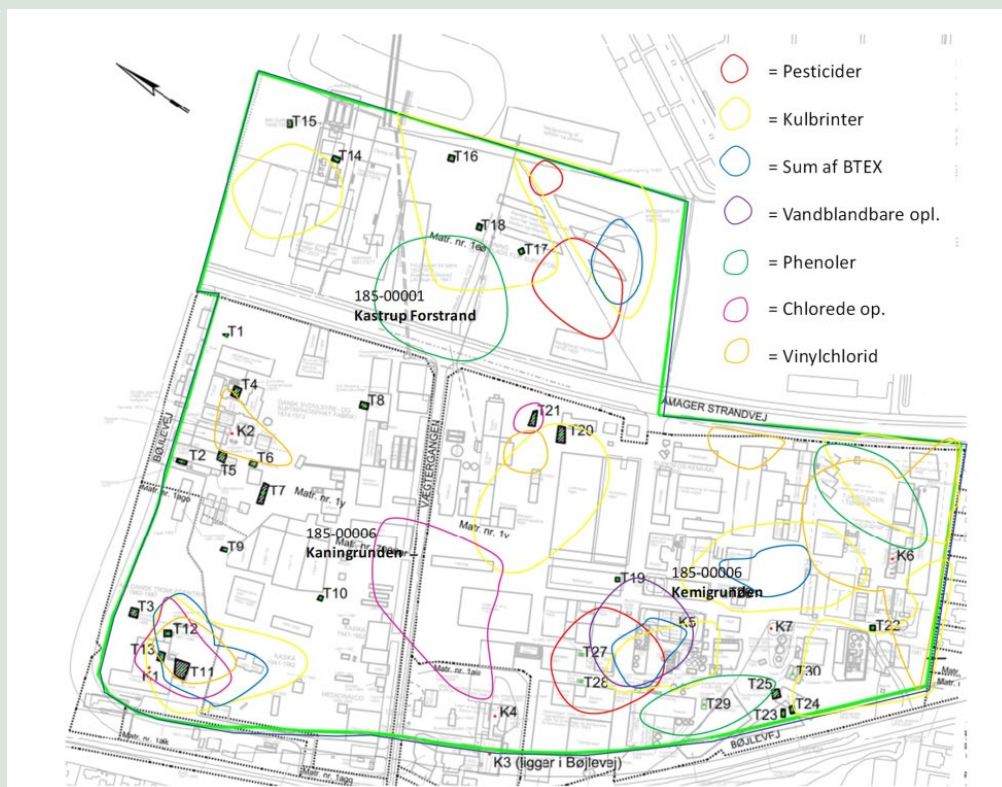
11.3.1 Jordforureningens sammensætning og geometri

Overfladevandstruende jordforureninger karakteriseres ved en stor variation i jordforureningens geometri og sammensætning, som kan spænde fra små afgrænsede kildeområder til meget store arealer. Mange jordforureninger er heterogene med flere forskellige stoffer og hotspots fordelt over lokalitetens areal. For eksempel ved Holmene Losseplads (219-00050) er der to fyldepladser (FIGUR 12), hvor der blev deponeret affald i to tidsperioder, med forskellige affaldstyper.



FIGUR 12. Holmene Losseplads (Region Hovedstaden) består af to fyldepladser, der kan tolkes som to kilder på den ene lokalitet (DMR, 2023).

Et andet eksempel på en heterogen kilde er Kastrup Forstrand (185-00001), hvor der er flere forureningskilder, der indeholder forskellige stoffer (FIGUR 13, (Region Hovedstaden; WSP, 2023)).



FIGUR 13. Kastrup Forstrand (Region Hovedstaden) med flere forureningstyper og hotspots (Region Hovedstaden; WSP, 2023).

Brede jordforureningskilder

En stor udfordring ved mange af de lokaliteter, hvor der er en jordforurening, som siver ud til overfladevand, er at kilden kan være meget bred. Dette ses ved Himmark Strand, hvor forureningen siver ud fra et deponi ved en lang kyststrækning (se afsnit 12.2), eller Spang Vade Losseplads (Afsnit 13.1).

Typiske jordforureningspunktkilder

På nogle af lokaliteterne er der typiske punktkilder, som ligger i en vis afstand fra overfladevandet. Denne type lokalitet kan behandles som en traditionel jordforurening og afværges ved kendte teknologier. Et eksempel herpå er Snavevej 25 (Region Syddanmark; WSP, 2023), hvor der blev installeret en reaktiv jernvæg for at forhindre nedstrøms transport fra en petrokemisk industrigrund, som ligger 184 m opstrøms fra Holmebæk.

Blandede forureningsstoffer

Der forekommer ofte blandede forureningsstoffer ved en lokalitet, og det kræver at de behandles forskelligt eller at man finder en teknologi der kan dække bredt.

11.3.2 Forureningens masseflux

Forureningens masseflux (forureningsflux) er en central parameter ved vurdering af en jordforurenings påvirkning af overfladevand.

Forureningens masseflux i vandløb kan bestemmes på baggrund af nedenstående ligning:

$$\text{Masseflux} \left[\frac{g}{s} \right] = \text{koncentration} \left[\frac{g}{l} \right] \times \text{vandføring} \left[\frac{l}{s} \right]$$

Hvor vandføringen og koncentration er målt i vandløbet. Formlen kan anvendes til beregning af fluxen på det sted i vandløbet, hvor der forventes fuld opblanding af forureningen i vandløbet.

En beregning af fluxen kan anvendes til at vurdere påvirkningen, når der også tages højde for den målte vandføring i vandløbet. Et eksempel, som viser værdien af en masseflux-beregning, er ved Ribe Jernstøberi (571-47001) (DMR, 2022), hvor koncentrationen af kulbrinter i vandløbet ikke er særlig høj (77 µg/l), men hvor vandføringen er stor (1.010 l/s). Det betyder, at forureningsfluxen er meget stor (2.458 kg kulbrinter/år), hvilket skal inddrages i den samlede vurdering af påvirkningen i vandløbet.

Ved kyster/fjorde og søer kan masseflux bestemmes ved brug af vandprøver fra et transekt af borer filteret i terrænnært grundvand. Grundvandsfluxen bestemmes oftest på baggrund af estimater af den hydrauliske ledningsevne og gradient.

Et resume af feltmålingerne og beregningerne er vist i TABEL 14.

TABEL 14. Beregning af flux og koncentrationer ved vandløb og kyst.

Vandløb

Målt i vandløb c_s , Q_s

$$J = c_s \cdot Q_s$$

Hvor vandløbet antages at være helt opblandet ved målepunktet for c_s .

Kyst/fjord

Målt i grundvand c_g , q_g , A og beregnet forureningsflux J_g . Den fortyndede koncentration er så:

$$c_{kyst} = \frac{J_g}{S_o \times 0,1 \frac{l}{s}}$$

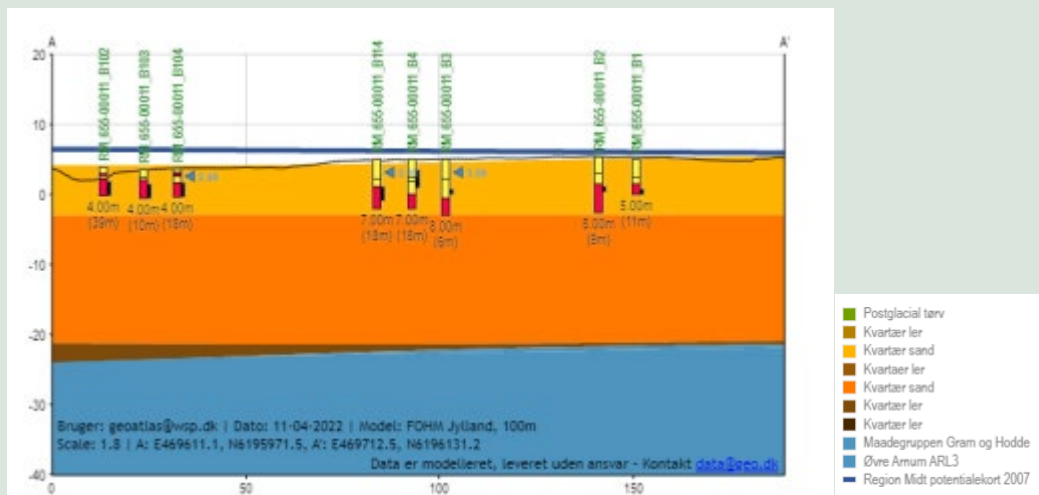
hvor S_o er en opblandingskoefficient (DHI; Hansen, Jørgen G., 2006)

11.3.3 Geologi og hydrogeologi

Det er altid vigtigt at forholde sig til geologien og de hydrauliske forhold, når påvirkningen fra en jordforurening skal vurderes. Dette illustreres ved to lossepladslokaliteter.

Lossepladsen ved Tarm (655-00011) ligger direkte oven på det sekundære grundvands-magasin og ud til (0 m) Tarm Bybæk. Der er her intet til at forhindre udsivning af forurening til overfladevandet (FIGUR 14, (Region Midtjylland; WSP, 2023)).

Et andet eksempel er ved Kommunal Losseplads Leby (493-00002), hvor lossepladsen ligger oven på et lerlag, som gør at lossepladsstofferne spreder sig ved overfladeafstrømning og via et dræn til overfladevand, men ikke via terrænnært grundvand (FIGUR 38).



FIGUR 14. 655-00011, Losseplads Tarm, Søndereng 1, 6880 Tarm, Region Midtjylland

11.3.4 Fysiske forhold (dræn, kloakker mm.)

Dræn har en stor betydning som transportvej til overfladevand, idet de ofte kan udgøre en direkte strømningsvej. Ved Holmene Losseplads (219-00050, Region Hovedstaden) udsiver perkolat igennem dræn fra lossepladsen direkte til Pøle Å (FIGUR 15).

Et andet eksempel er ved Kommunal Losseplads ved Leby (493-00002), som er underlejret af et tykt lerlag og derfor udstrømmer perkolat direkte fra lossepladsen via et dræn til den nærliggende Skydsbæk (FIGUR 16).



FIGUR 15. Dræn med udsivning af perkolat til overfladevand ved Holmene Losseplads (219-00050, Region Hovedstaden) (DMR, 2023)



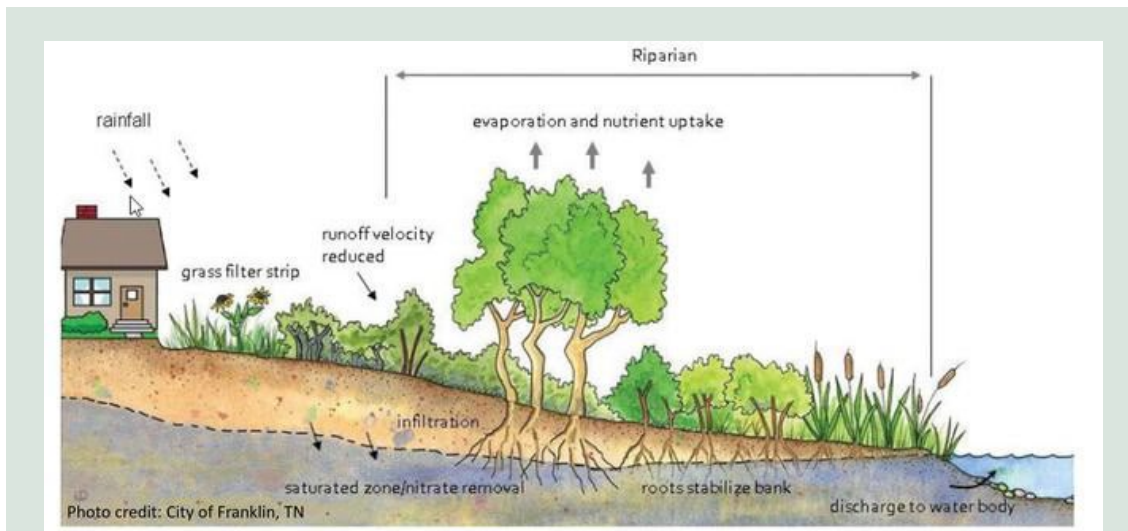
FIGUR 16. Lok.nr. 493-00002 Kommunal Losseplads Leby, Leby Landevej 9, 5985 Ærø (Region Syddanmark) (DMR, 2023)

11.3.5 Ripariske (Hyporheisk) zone

Den ripariske og hyporheiske zone er overgangen mellem jorden og overfladevandet, hvor den ripariske zone ligger på terræn, og den hyporheiske zone er grundvandets overgang til overfladevandet.

Disse zoner kan spille en væsentlig rolle i udledningen af jordforurening til overfladevand. Dette skyldes denne zones høje indhold af organisk stof og biologiske aktivitet. Effekten varierer afhængig af stoftype og karakteristika for zonen.

(Freitas, et al., 2015) har vist, at en riverbed-hyporheisk zone kun har begrænset effekt på en udsivende fane med chlorerede opløsningsmidler ved River Thame i Birmingham og at omfattende monitoring kræves for at kortlægge attenueringsprocesser. (Weatherill, et al., 2018) præsenterer et fint overblik over disse processer for chlorerede ethener. (Shen, et al., 2024) har vist, at store mængder opløst organisk materiale øger risikoen for udsivning af naphthalen til et vandløb på grund af kompetitiv hæmning, som nedsætter virkningen af naphthalen degraderende mikroorganismer.



FIGUR 17. Skitse af Riparian (hyporheisk) zone <https://townofcarrboro.org/2993/Riparian-Zones>. Bemærkes at definitionen af hyporheic zone varierer mellem de forskellige discipliner, i litteraturen for naturlig nedbrydning af chlorerede ethener er den meget mindre / mere lokalt defineret omkring åbunden.

12. Bilag B:

Afværgeteknologier til jordforurening som påvirker overfladevand

Kort beskrivelse af mulige afværgeteknologier, og deres fordele og ulemper. Eksempler på deres anvendelse i Danmark og udlandet.

12.1 Beskrivelse af mulige afværgeteknologier

TABEL 15 viser et overblik over afværgeteknologier, med referencer og hvor relevant, lokaliteter hvor teknologien anvendes i Danmark. Detaljerede beskrivelser af flere af teknologierne findes i dette bilag. De teknologier som uddybes, er valgt fordi de er veldokumenterede, eller vurderes til at være godt egnede til formålet. Der findes flere andre relevante teknologier: et overblik findes i de angivne referencer i TABEL 5.

TABEL 15. Afværgeteknologier, som er anvendt på, som planlægges anvendt på, eller som overvejes anvendt på forurenede lokaliteter, som påvirker overfladevand, med angivelse af

danske og internationale referencer. Den engelske terminologi for teknologien vises for at lette søgning i den internationale litteratur.

Teknologi	Danske anvendelser	Referencer
Dæklag (capping) og spunsvæg (vertical engineered barriers)	Høfde 42	(Lemming, et al., 2014) (Syddanmark, 2025) (USEPA, 2021)
Udgravning (Excavation)	Himmark Strand Kærgaard Klitplantage	(Syddanmark, 2025) (Sørensen, et al., 2024) (Swanston, 2023)
In-situ kemisk fiksering (Chemical Fixation)		(ITRC, 2023)
Dredging (fjernelse af forurenede bundsedi- ment)		(Chan, et al., 2017)
Omstilling af arealanvendelse (Land Mana- gement Changes)		(Baily, et al., 2015)
Håndtering af lossepladssperkolat (Landfill leachate management)	Vejen Losseplads	(Bjerg, et al., 2014) (Miljøstyrelsen, 2000) (USEPA, 2000) (Damgaard, et al., 2011)
Oppumpning og behandling af grundvand (Pump and treat)	Stengårdens Losseplads Himmark Strand Grindsted Å	(Region Sjælland, 2015) (Syddanmark, 2025) (Region Syddanmark, 2024) (Region Hovedstaden, 2025). (Hall, et al., 2024) (Office of Solid Waste and Emergency Response (5203P), 2007) (Swanston, 2023) (Regenesis, 2023)
Permeabel reaktiv væg (Permeable reactive barriers)	Østerstrand Fredericia (Shell) Snavevej 25	(Region Syddanmark, 2019) (Region Syddanmark; WSP, 2023) (Swanston, 2023) (Kornilovych, et al., 2018) (USEPA, 2002) (Regenesis, 2024a) (Regenesis, 2024b)
Luftventilering/luftindsprøjtning (Air ven- ting/sparging)		(US Department of Energy, 2023)

Bioremediering (bioremediation)	Kærgård Klitplantage	(Sørensen, et al., 2024) (Regenesis, 2023) (Majone, et al., 2015) (Travis & Rosenberg, 1997) (US DOE, 1999) (Anderson, et al., 2014)
Fytoremediering (Phytoremediation)		(USGS, 2024)
In-situ kemisk oxidation (In-situ chemical oxidation (ISCO))	Kærgård Klitplantage	(Sørensen, et al., 2024) (Swanston, 2023) (Fjeldsø, 2021) (USEPA, 2025)
Termisk oprensning (Thermal)	Høfde 42	(Region Midtjylland, 2025) (US Department of Energy, 2023)
Jordspuling/jordvask (Soil flushing/washing)		(Office of Environmental Management, 2025)
Sediment bionedbrydning (Jordspuling/jordvask)		(Dell'Anno, et al., 2020) (Francesco, et al., 2023)
Modificerede sedimentafdækninger (Amended sediment caps)		(USEPA, 2025)
Overvåget naturlig nedbrydning (Monitored Natural Attenuation (MNA))	Grindsted Stengårdens Losseplads Kærgård Klitplantage	(Ottosen, et al., 2020) (Region Sjælland, 2015) (Sørensen, et al., 2024)
Naturbaserede løsninger (Nature based solutions)	Grindsted	(Region Syddanmark, 2024) (Taylor, et al., 2018)

12.1.1 Dæklag og spunsvæg

Dæklag og spunsvægge anvendes til at isolere jordforurening fra det omkringliggende miljø. Disse teknologier fjerner ikke forureningen og anvendes derfor typisk som midlertidige afværgeforanstaltninger, indtil jordforureningen kan fjernes ved brug af andre afværgeteknologier.

Dæklag og spunsvægge kan anvendes som en permanent løsning ved lossepladser, hvor kildefjernelse ikke er en mulighed, da omkostningerne er for store. Ved lossepladser bliver indkapslingen koblet med perkolat-indsamlingssystemer.

Dæklag bliver anvendt for at forhindre infiltration af vand, som danner forurenede perkolat. Dæklag udføres typisk ved brug af en membran eller et lag af lavpermeabel jord. Spunsvæg etableres typisk for at isolere jordforureningen fra det omkringliggende grundvand og overfladevand. Teknologierne er velkendte fra byggebranchen og udgøres ofte af spunsvægge og fugning ved afvanding (grouting på engelsk) (USEPA, 2021).

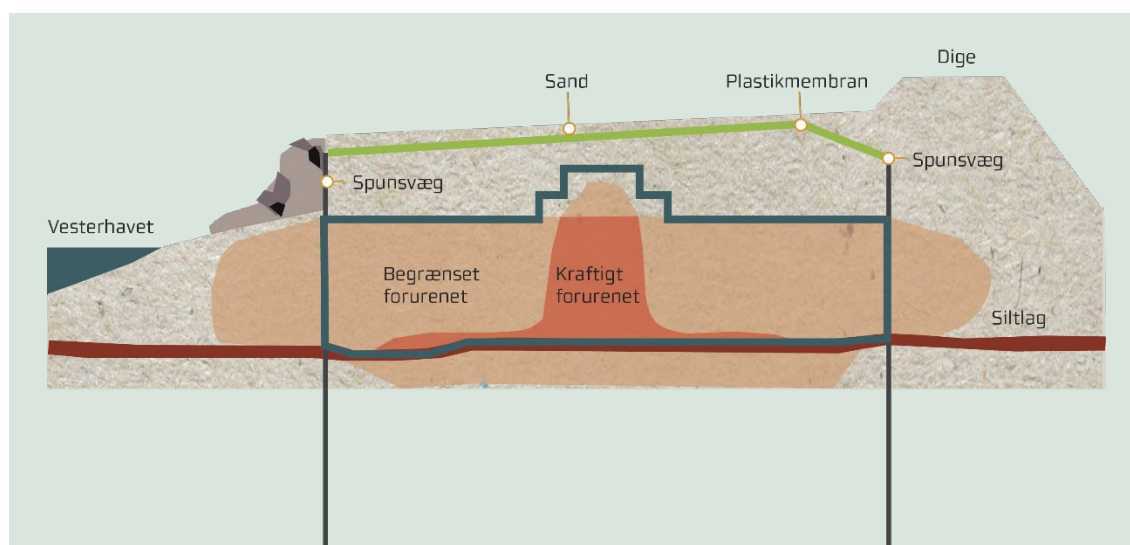
Et eksempel på en indkapsling er ved Høfde 42, hvor en spunsvæg og dæklag blev etableret for at forhindre yderligere udsivning af forureningen (se FIGUR 18), mens en egentlig afværgeindsats med henblik på kildefjernelse designes, projekteres og iværksættes (Region Midtjylland, 2025).

Ved Himmark Strand planlægges en dæmning og spunsvæg i havet ud for den forurenede strand for at forhindre forureningsspredning og for at muliggøre en udgravning af sedimentet fra havbunden efter dræning af havvandet. En spunsvæg bliver også installeret på landsiden af stranden for at forhindre udsivning af grundvand til havet (Syddanmark, 2025).

Ved det tidligere olieraffinaderi, stålværk og cementfabrik i Taranto i Italien blev spunsvægge installeret for at forhindre saltvandsindtrængning, som vil mobilisere tungmetaller (Mali, et al., 2024).

TABEL 16. Dæklag og spunsvæg

Fordele	Ulemper
Hurtig etablering	Fjerner ikke forureningen eller kilden
Effektiv løsning	Vertikale barrierer forhindrer ikke strømning vertikalt, hvorfra forurening kan sprede sig.
Lave etableringsomkostninger	



FIGUR 18. Indkapsling af kilden ved Høfde 42 med en spunsvæg og impermeabel plastikmembran for at forhindre udsivning af forureningen (Region Midtjylland, 2025)

12.1.2 Udgravning

Udgravning af forurening anvendes som en hurtig og effektiv teknologi til at fjerne en jordforurening eller dele heraf. Teknologien er velegnet på forurenede lokaliteter, hvor der findes en kompakt og velafgrænset jordforurening samt med en begrænset vertikal udbredelse. Teknologien består af udgravning, efterfulgt af jordrensning enten on-site, off-site eller deponering. Teknologien er simpel, men der er en række udfordringer relateret til bl.a. bæredygtighed (fx transport og efterbehandling af jord og fysiske forhold (fx nær bygninger).

I Danmark er udgravning blevet anvendt for at beskytte kvaliteten af overfladevand ved to af de store generationsforureninger, Himmak Strand (Syddanmark, 2025), hvor der planlægges at grave under havbund og Kærgård Klitplantage (Region Syddanmark, 2025), se FIGUR 19. I udlandet er udgravning også set mange steder, fx ved udgravning af en olieforurening ved Chalk Stream, Herfordshire (Swanston, 2023). I alle disse eksempler var en efterbehandling med andre teknologier nødvendig, da udgravningen kun fjernede hotspots og ikke den omkringliggende forurening.

TABEL 17. Udgravning

Fordele	Ulemper
Kildejernelse	Bortskaffelse af den forurenede jord
Hurtig etablering	Arbejds miljø risici ved håndtering af jord
	Supplerende afværge oftest nødvendig uden for det udgravede område
	Uegnet til forureningsfaner
	Upraktisk til større jordforureninger som lossepladser samt forureninger med en stor vertikal udbredelse



.....
Entreprenørma-
skinen åbner
grube 3 op. Træet
stammer fra dele
af tagkonstruktio-
nen, og man kan
også se det øverste
slamlag. Begge dele
var så forurenede,
at de kun kunne
behandles på NORD
i Nyborg.

FIGUR 19. Oprensning ved udgravning ved Kærsgaard Klitplantage (Region Syddanmark, 2025)

12.1.3 Håndtering af lossepladssperkolat

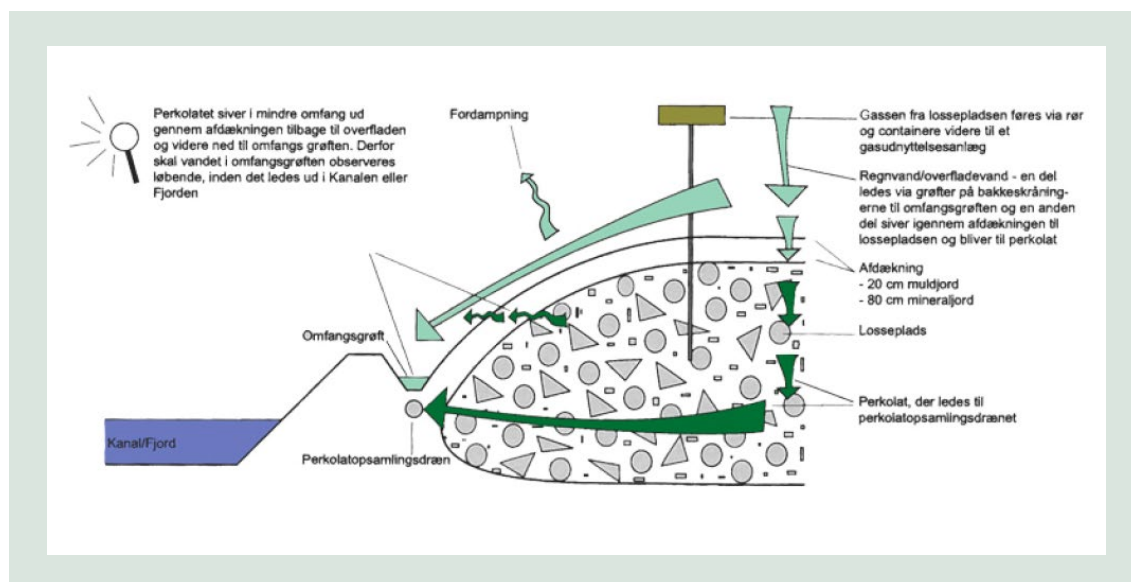
Gamle lossepladss påvirkning af overfladevand er et kendt og stort problem (Bjerg, et al., 2014). Mange lossepladser blev oprindeligt etableret i vådområder, der ikke var anset som attraktive til andre formål. Derfor findes der mange lossepladser direkte op ad vandløb eller søer. Brand et al. har kortlagt omfanget, og skønner at der findes flere end 100.000 på verdensplan, med mere end 1.200 kortlagt alene i England (Brand, et al., 2018). Udfordringen med gamle lossepladser illustreres godt af Stige Ø Losseplads, en 50 år gammel losseplads, hvor vand siver ned igennem lossepladsen og danner lossepladssperkolat, som løber direkte ud til Odense Fjord (FIGUR 20).

Hovedparten af litteraturen om lossepladser handler om design af nye deponianlæg (Miljøstyrelsen, 2000), (USEPA, 2000). Der findes meget lidt om renovering eller afværge af gamle lossepladser, muligvis fordi mange af de anvendte tiltag er veletablerede og forholdsvis simple at udføre i praksis som dæklag, etablering af kontrollerede dræn, perkolatindsamlings-systemer mm. Et simpelt overblik over mulighederne og tilgange gives ved 'A practical guide

Der findes flere gode danske eksempler på afværgе af lossepladser, hvor formålet har været beskyttelse af overfladevand. Ved både Vejen Losseplads (Kjeldsen, 1991). (Bjerg, et al., 2014), og Stige Ø Losseplads blev der etableret omfangsdræn for at opsamle perkolat (Odense Kommune, 2025), (Odense Renovation, 2025). Perkolatopsamling etableres typisk sammen med et indkapslingssystem for at forhindre videre infiltration af vand og yderligere dannelse af perkolat i lossepladsen.

TABEL 18. Lossepladsperkolat opsamlingssystemer

Fordele	Ulemper
Simpel, billig og effektiv ved etablering af nye pladser	Svært at etablere dræn under en gammel losseplads.
Veletableret i praksis	Fjerner ikke jordforureningen
	Der kan være udfordringer med rensning af specifikke stoffer såsom PFAS

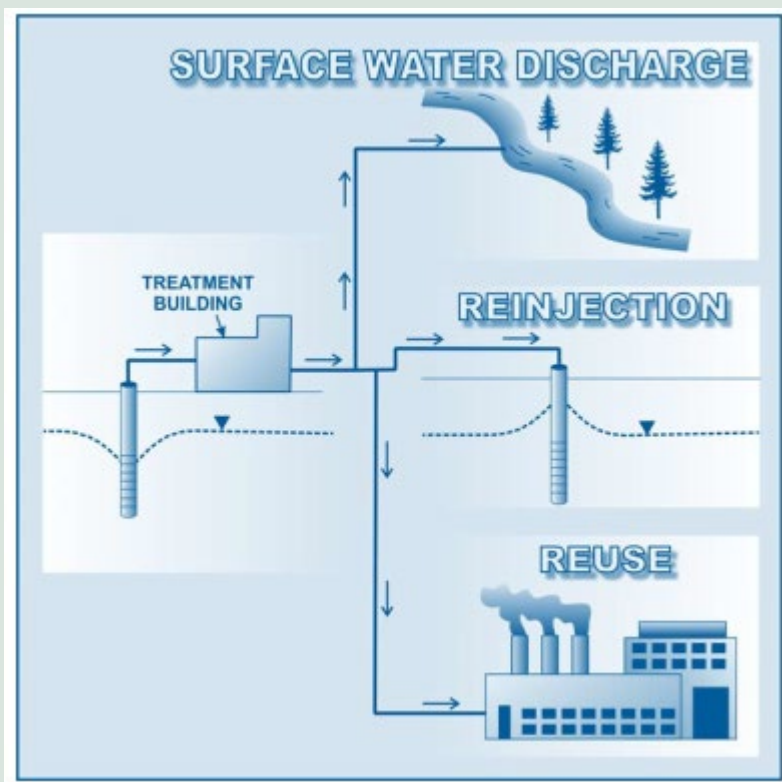


FIGUR 20. Konceptuel tegning af perkolatopsamlingssystemet installeret som afværgeløsning ved den gamle Stige Ø Losseplads (Odense Kommune, 2025).

12.1.4 Afværgepumpning og behandling af grundvand

Afværgepumpning er en af de ældste og mest udbredt afværgeteknologier, og er veldokumenteret i mange forskellige sammenhænge (Hall, et al., 2024), (Office of Solid Waste and Emergency Response (5203P), 2007).

Afværgepumpning anvendes typisk som en midlertidig løsning med formål om at kontrollere en forureningskilde eller forureningsfane indtil kilden kan fjernes ((Region Sjælland, 2015), (Syddanmark, 2025), (Region Syddanmark, 2024), (Region Hovedstaden, 2025), (Regenesis, 2023)), men i realiteten drives mange afværgeanlæg i flere årtier. De lange driftsperioder betyder at de samlede driftsomkostninger til både oppumpning og vandbehandling over tid kan blive høje.



FIGUR 21. Oppumpning og behandling af grundvand - system (Office of Solid Waste and Emergency Response (5203P), 2007)

TABEL 19. Oppumpning og behandling af grundvand – fordele og ulemper ved anvendelse i nærhed af overfladevand

Fordele	Ulemper
Veletableret teknologi	Kan være svært at anvende tæt på overfladevand, da oppumpning vil trække vand ind fra overfladevand
Billig og hurtig etablering	Har svært ved at fjerne sorberede og fri fase stoffer og har dermed lange driftsperioder, medmindre den kombineres med kildefjernelse.
Kan anvendes til hydraulisk kontrol af både kilde og forureningsfane	Kræver rensning af afværgvand og udledningstilladelse Kræver god hydraulisk kontakt, dvs. egnet til vandførende lag, men ikke til lavpermeable aflejringer. Bedst egnet til vandopløselige stoffer. Fjerner ikke stoffer fra den umættede zone. Langvarige driftsomkostninger (personale og ressourcer)

12.1.5 Permeabel Reaktiv Væg

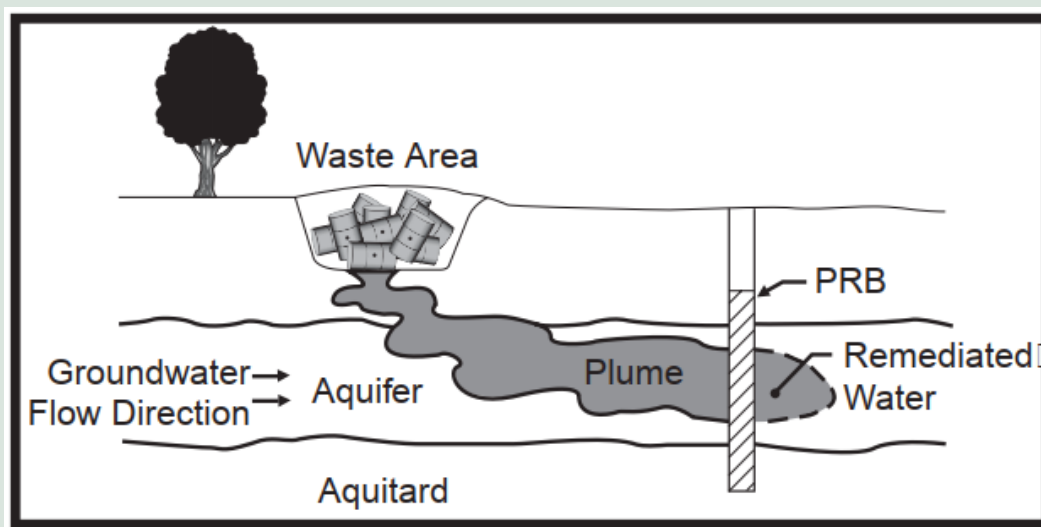
Permeabel reaktiv væg etableres typisk nedstrøms jordforureningen for at forhindre, at fanen når overfladevandet. Tidligere blev der installeret "vægge" i en udgravet grøft, men i dag benyttes typisk direkte push teknologier til at injicere en reagent i det permeable lag, hvor forureningen findes. Idet der ofte vil være en opadrettet gradient ved overfladevand, kan en

permeabel "væg" ofte konstrueres tæt på terræn. Ved dybere forureninger kan der anvendes injektion igennem konventionelle grundvandsboringer. Der findes mange materialer, der kan bruges i en permeabel reaktiv væg teknologi bl.a. oxidanter, sorbenter som aktivt kul, nul valent jern, bioaugmenteringsmidler (som fremmer mikrobiologiske nedbrydning), kalk. Det vil sige at permeabel reaktiv væg kan anvendes til en lang række stoffer. Ved at opsætte en række af vægge med forskellige aktive materialer, kan der også behandles komplekse forureningsblandinger.

Ved anvendelse af permeabel reaktiv væg, skal man være opmærksom på at nogle af de nævnte materialer er mobile (fx hvis man tilføjer donor til at fremme biologisk nedbrydning af chlorerede ethener), så der skal man være opmærksom på at der vil være en effekt nedstrøms det injicerede område og hvis produktet ikke bruges inden at det kan strømme ud til overfladevandet.

Der etableres efterfølgende monitoring af grundvandsfanen op og nedstrøms "væggen" for at overvåge effekten. Dette kan være en udfordrende opgave.

I Danmark er der bl.a. etableret en permeabel reaktiv væg anvendt ved Østerstrand Fredericia (en bioaugmentation væg (Region Syddanmark, 2019)). Internationale erfaringer findes bl.a. hos virksomheden Regenes (UK), som udbyder flere reagenter til in situ injektion. Flere eksempler er omtalt i denne rapport, fx ISCO (Swanston, 2023), aktivt kul til fjernelse af PFAS ved Haugesund Lufthavn, Norge (Regenes, 2024b) og stimuleret mikrobiel nedbrydning (Regenes, 2024a).



FIGUR 22. Opsætning af en permeabel reaktiv væg (USEPA, 2002). Figuren viser en traditionel formet væg, mens der i dag oftest dannes en væg vha. injektioner

TABEL 20. Permeable Reaktiv Væg – fordele og ulemper

Fordele	Ulemper
Let at installere (afhængig af geologi og dybde)	De aktive stoffer kan påvirke overfladevand under injektion
Fleksibel i forhold til placering og skala	Bedst egnet til terrænnære installationer
Fleksibel: Bredt udvalg af aktive materialer til at fjerne diverse stoffer	Behov for reinjektion, hvis der ikke sker kildefjernelse
Velkendt teknologi	

Lave driftsomkostninger efter etablering

Mulighed for etablering af sekventielle vægge med forskellige reagenter til behandling af forureninger med blandede stoffer

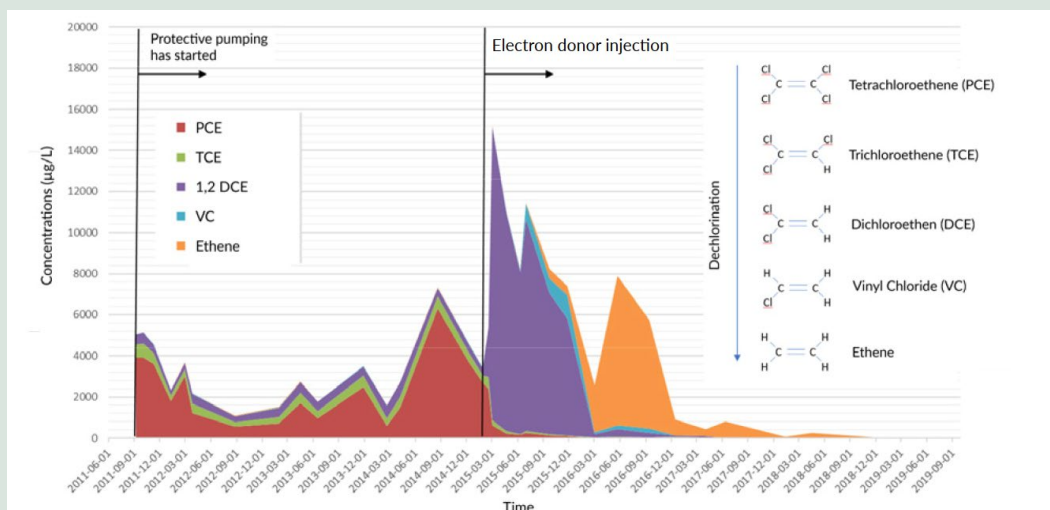
12.1.6 Bioremediering (biologisk nedbrydning)

Bioremediering er en attraktiv teknologi, fordi den kan fjerne forurening in-situ igennem naturlige mikrobielle processer, som kan nedbryde mange stoftyper. Disse processer kan fremmes ved tilføjelse af hjælpestoffer (substrater) eller særlige mikroorganismer. Det kaldes for biostimuleret og bioaugmenteret nedbrydning. En opsamling af erfaringer fra 2015 viste, at der på ca. halvdelen af de amerikanske store forureninger på USA National Priorities List, blev anvendt enten stimuleret eller naturlig nedbrydning som afværgemetode (Majone, et al., 2015).

Eksempler på anvendelser af teknologien ved jordforurening, som påvirker overfladevand, er ved Hanford (US DOE, 1999), og Savannah River (Anderson, et al., 2014) o. I Värnamo, Sverige er der et eksempel på en vellykket oprensning ved biologisk nedbrydning, anvendt nær overfladevand på et gammelt renseri med forurening med chlorerede opløsningsmidler (Regenesis, 2023). Der blev de chlorerede opløsningsmidlers koncentrationer reduceret med 99% inden for et år (FIGUR 23).

TABEL 21. Bioremediering

Fordele	Ulemper
Ingen affaldsstrøm	Kompleks styring af næringsstoffer, mikrober mm. Det kan være svært at fordele bakterierne i jordmatricen for at opnå den ønskede effekt.
Lavt ressourceforbrug	Lange afværgeperioder
Udnyttelse af naturlige processer	Nogle forureningstyper kræver specialiserede mikroorganismer (fx chlorerede opløsningsmidler) hvis de ikke er naturligt tilstede.
Velegnet til nedbrydelige stoffer	Dannelse af nedbrydningsprodukter (fx ved nedbrydning af pesticider)
Hyporheisk zone har typisk kulstofholdige sedimenter, som potentielt kan fremme mikrobielle processer	Kan være svært at opnå et lavt koncentrationsniveau På nuværende tidspunkt ikke muligt for PFAS



FIGUR 23. Succesfuld afværg af en forurening med chlorerede opløsningsmidler ved Värnamo, Sverige ved brug af stimuleret biologisk nedbrydning i kildezonen som erstatning for afværgepumpning (Regenesis, 2023).

12.1.7 Fytoremediering

Fytoremediering er en teknologi, hvor det naturlige optag af vand igennem planter udnyttes til at fjerne terrænnære forureninger. Det er helt oplagt ved overfladevand, hvor der er gode vækstbetingelser i området langs vandet, og de opadrettede gradienter forcerer forureningsfaren terrænnært. Oprensningen kan ske via forskellige mekanismer, ved nedbrydning, biologiske nedbrydningsprocesser i rodzonen, nedbrydning i selve plantens organisme, akkumulering i selve træet, dissipation igennem afdampning fra bladene, immobilisering ved hydraulisk kontrol, og ved at fremme sorptionsprocesser i jorden (Pivetz, 2001). Fytoremediering er blevet anvendt i forbindelse med forskellige typer af forureninger, herunder tungmetaller, organiske stoffer, pesticider og tritium. (Government of Canada, 2025) viser et godt overblik over teknologien, dens muligheder og nogle eksempler på feltanvendelser.

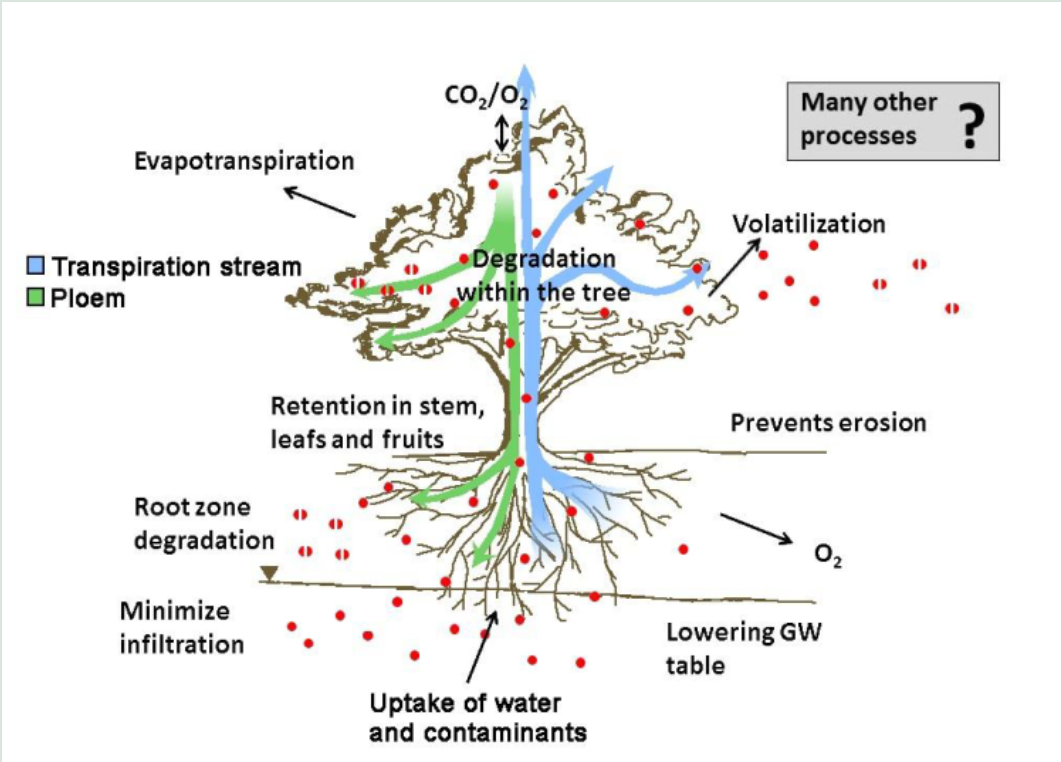
Fytoremediering er blevet afprøvet forskellige steder i Danmark (Clausen, 2017). Ved Collstropgrunden, Esrum Sø, Hillerød, blev fytoremediering overvejet for at fjerne tungmetaller og beskytte vandmiljøet, men er ikke anvendt på grund af de meget lange oprensningstider. Et godt eksempel på en anvendelse i udlandet er ved Columbia, South Carolina airport, hvor fytoremediering med poppel er afprøvet af USGS til at fjerne pesticider som udsiver fra en gammel losseplads til et nærliggende vandløb (USGS, 2024). Der er udført en række demonstrationsprojekter vedrørende brug af hamp-planter til fjernelse af PFOS fra topjord. Teknikken kunne have anvendelse på nogle PFAS lokaliteter (Nopens & Van Cauwenberg, 2025).

TABEL 22. Fytoremediering

Fordele	Ulemper
Billig, passiv in-situ teknologi	Stadig på forsøgsstadiet i Danmark
Bæredygtig, udnytter naturlige processer	Lang afværgperiode. Kan ikke anvende lokaliteten til andre formål, mens træerne vokser på lokaliteten.
	Kan være pladskrævende, men giver god mening langs vandløb.
	Kan kun anvendes ved terrænnær forurening. Dog er forurening typisk terrænnær ved overfladevand
	Vækst er afhængig af de rette miljø- og klima-forhold
	Manglende plantevækst igennem vinterhalvåret

Biokoncentration i træer kan skabe nye eksponeringsveje og dermed øge risikoen for eksponering til mennesker og andre økosystemer

Bortskaffelse af høstede planter/afgrøder kan være et problem.



FIGUR 24. Overblik over fytoremediering processer (Clausen, 2017).

12.1.8 In-situ kemisk oxidation (ISCO)

Ved in-situ kemisk oxidation (ISCO) injiceres en kemisk oxidant (fx permanganat, persulfat, hydrogen peroxid og ozon) til en grundvandsforurening, hvor en kemisk reaktion nedbryder forureningen. Teknikken anvendes mod organiske forureninger. Erfaringer viser, at det er yderst effektivt med resultater opnået inden for kort tid. Et overblik over teknologien findes hos (USEPA, 2025). ISCO kan implementeres som en permeabel reaktiv væg og har derfor potentiale for anvendelse ved overfladevand.

ISCO er anvendt ved en af Danmarks største generationsforureninger, Kærgaard Klitplantage ((Fjeldsø, 2021), (Sørensen, et al., 2024)). Et udenlandsk eksempel af en ISCO-anvendelse er ved Chalk stream i Hertfordshire (Swanston, 2023), hvor ISCO (med den patenterede Oxygen Release Compund Advanced) blev installeret som en af to sekventielle permeable reaktive vægge mod en olieforurening.

TABEL 23. In-situ kemisk oxidation (ISCO)

Fordele	Ulemper
Meget effektiv hvis der opnås kontakt	Fare for at oxidationsmidlet ender i overfladevandet eller mobilisering af andre forureninger, eks. metaller.
Velaftprøvet	Anvender farlige kemikalier

Kan anvendes både i kilden og fanen

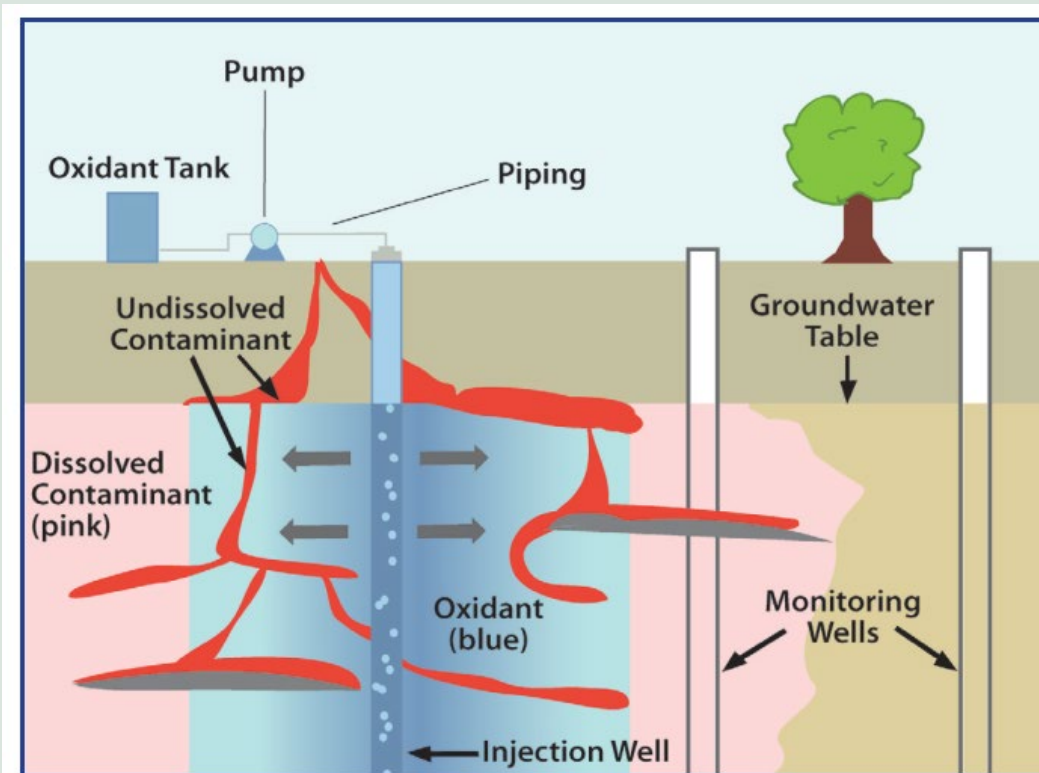
Forureningen er behandlet in-situ

Kan implementeres som permeabel reaktiv væg.

Ikke effektiv overfor PFAS

Mulighed for rebound, hvis ikke oxidanten er tilstrækkelig eller hvis der ikke opnås en god fordeling i jorden.

Kan være svært at fordele oxidanten i moræneler.



FIGUR 25. Skema over et ISCO system (USEPA, 2025).

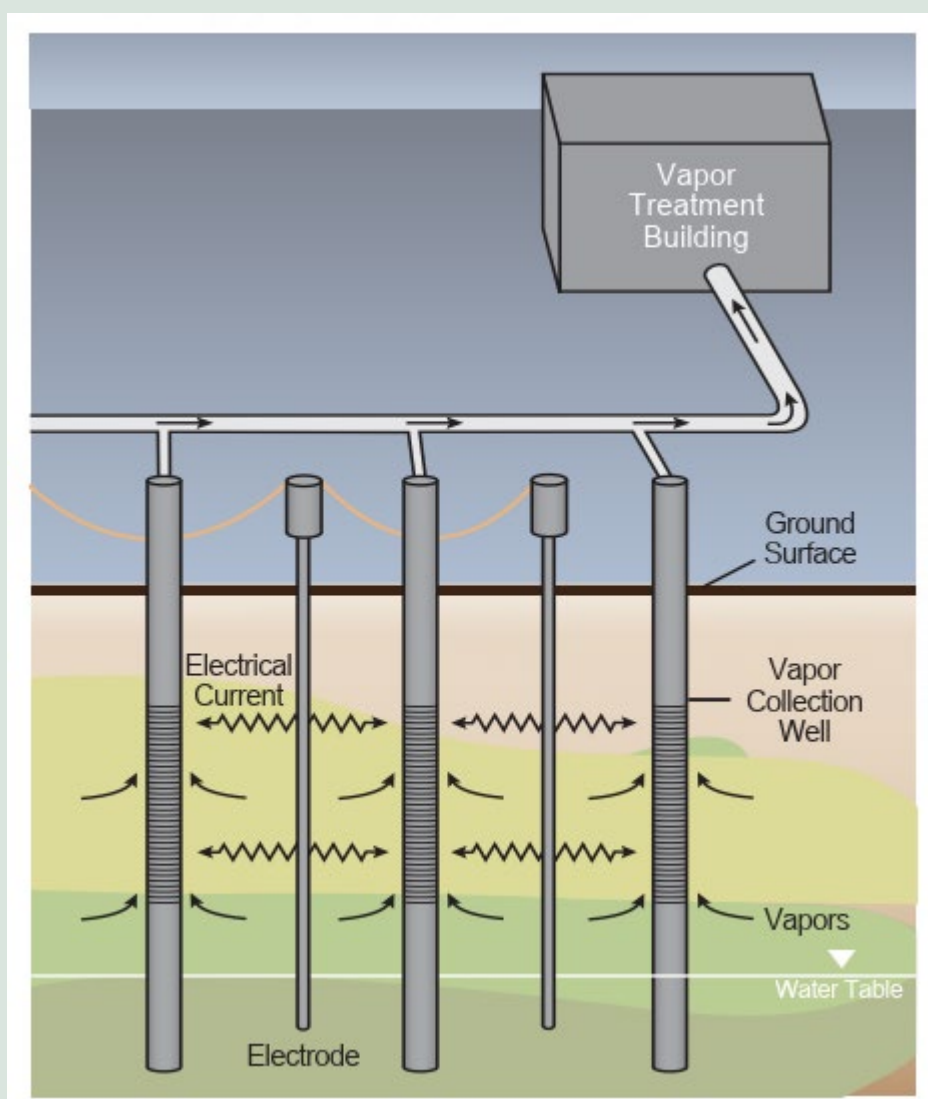
12.1.9 Termisk oprensning

Ved termisk oprensning varmes jorden op for at fremme en kemisk nedbrydning eller afdampning af de miljøfarlige stoffer til en gas, der indsamles igennem et gas ekstraktions system. Termisk oprensning bliver anvendt enten in-situ eller som en behandling af opgravet jord. Der findes mange metoder til opvarmning af jorden: Elektrisk modstand, varm luft, varmt vand, damp, radiofrekvens, termiske konduktion, vitrifikation.

Termisk oprensning ved hjælp af gas er valgt ved Høfde 42, da teknikken både kan nedbryde organiske forureninger samt fordampe kviksølv, der kan opsamles ved vapor ekstraktion. Det er en af de få metoder, som virker in-situ på den sammensætning af stoffer, der forekommer på Høfde 42, og dermed undgås problemer ved ex-situ teknikker såsom transport og deponeering (Region Midtjylland, 2025). Teknikken er også blevet brugt i udlandet, for eksempel ved Savannah River (US Department of Energy, 2023), hvor den anvendes for at fjerne DNAPL (Dense Non Aqueous Phase Liquids). Disse to eksempler er meget store forureningslokaliteter, hvor økonomien kan forsvares. Termisk oprensning bliver sjældent anvendt ved mindre lokaliteter, da etableringsomkostningerne er høje.

TABEL 24. Termisk oprensning

Fordele	Ulemper
Hurtig og effektiv teknologi.	Kan være meget dyr ved større arealer eller dybe jordforureninger
Virker mod mange stoftyper	Jord matrixens egenskaber spiller en rolle, fx forurening sorberet på organisk stof
Kan anvendes under bygninger og andet infrastruktur	Metoden kan kun anvendes til forureningstyper, som fordampes eller nedbrydes ved opvarmningen (Derfor er termisk oprensning ikke velegnet til oprensning af f.eks. mange tungmetaller)
Metoden virker i lavpermeable materialer	Opvarmning af nærliggende overfladevand bør undgås for at beskytte sensitive økosystemer
	Dyrt i etableringsomkostninger, så uegnet til mindre forureninger samt høje energiomkostninger



FIGUR 26. Konceptskitse på et in situ termisk oprensningssystem ved elektroresistens opvarmning. Opvarmning ved electrical resistance og dampekstraktion vises (USEPA, 2025).

12.1.10 Overvåget naturlig nedbrydning

Overvåget naturlig nedbrydning (MNA er den engelske akronym) er en oprensingsstrategi, hvor der regnes med, at naturlige nedbrydnings- og fortyndingsprocesser med tiden vil reducere forureningen til et acceptabelt niveau. MNA anvendes på lokaliteter, hvor det vurderes, at risikobilledet er acceptabelt og ikke vil forværres. Denne strategi understøttes af et overvågningsprogram, der sikrer, at forureningen ikke spreder sig ukontrolleret, og at forureningsniveauet falder.

Overvåget naturlig nedbrydning er blevet overvejet ved flere lokaliteter i Danmark. I Grindsted har (Ottosen, et al., 2020) vist, at der er potentiale for monitoreret naturlig nedbrydning af chlorede opløsningsmidler ved åen. Ved Stengården Losseplads, forurenet med pesticider, blev MNA grundig overvejet, men på grund af manglende robuste indikationer på nedbrydning, blev det valgt at etablere en udvidet oppumpning og behandlingsstrategi (Region Sjælland, 2015). (Region Sjælland, 2015) har noteret, at der mangler en protokol for anvendelse af MNA i Danmark, selvom dette findes i mange andre lande, fx (New Jersey Department of Environmental Protection, 2012).

Mulige indicier	Nedbrydning af		
	Dichlorprop	Mechlorprop	4-CPP
Koncentrationsfald langs strømning	Hverken be- eller afkræftet		
Koncentrationsfald over tid	Mulighed for kontraherende forureningsfane		
Udvikling i forholdet mellem moderstoffer og nedbrydningsprodukter	Ja	I mindre grad	Hverken be- eller afkræftet
Udvikling i enantiomerer	Hverken be- eller afkræftet	Ja	Hverken be- eller afkræftet
Enantioselektiv isotop analyse	Ja	Hverken be- eller afkræftet	Ja

FIGUR 27. Opsummering af omfanget af nedbrydning af pesticider ved Stengården Losseplads, for at beslutte om overvåget naturlig nedbrydning kunne anvendes ved lokaliteten. Beslutningen blev en udvidet oppumpning og behandling af grundvands-strategi (Region Sjælland, 2015).

Det forventes, at MNA kan blive en væsentlig afværgestrategi for forureninger, der strømmer til overfladevand. Dette skyldes blandt andet, at der ofte forekommer større biologisk aktivitet i zonen tæt på overfladevand end i det øvrige grundvand.

TABEL 25. Overvåget naturlig nedbrydning

Fordele	Ulemper
En strategi som udnytter naturlige processer til at attenuere udledning til overfladevand.	Manglende danske protokoller og erfaringer for MNA.
Årtiers erfaring for nogle stoffer (internationalt)	Ikke effektiv overfor stoffer som PFAS

12.2 Eksempler på afværgе på danske lokaliteter

Der findes en række danske lokaliteter, hvor der er planlagt afværgеforanstaltninger i forhold til en forurening, som påvirker overfladevand samt en række lokaliteter, hvor afværgеforanstaltninger er gennemført. Et overblik over lokaliteterne som viser status ved rapportens udgivelse vises i TABEL 26, og en mere detaljeret beskrivelse findes for udvalgte lokaliteter i de efterfølgende afsnit med fokus på den gældende afværgеindsats. Der er ikke medtaget en opsamling på eksempler, hvor der gennemføres en afværgеindsats, der udelukkende er fokuseret på grundvand.

TABEL 26. Danske forureningslokaliteter, som påvirker overfladevand, hvor afværgemetoden enten overvejes, er planlagt eller er afsluttet.

Navn	Afværge	Stoffer	Referencer
Collstropgrunden, Esrum Sø	Fase 1: Afværgeforanstaltninger, der skal forhindre overfladenær afstrømning af arsen forurenet vand fra grunden til omgivelserne. Disse afværgeforanstaltninger forventes igangsat i 2026. Fase 2: På længere sigt kan der også ske en transport af arsen til omgivelserne via dybereliggende grundvand. Regionen undersøger pt., om denne transport kan bremses ved kemisk immobilisering af forureningen i jord og grundvand på selve Collstropgrunden.	As, Cu, Cr	(Jørgensen, et al., 2022) (Region Hovedstaden, 2025).
Grindsted Å	Forundersøgelser igangsat (kemisk reduktion med nul valent jern, stimuleret reduktiv dechlorering, sorption (aktivt kul), afværgepumpning, naturbaserede løsninger).	Vinylklorid, farmaceutiske stoffer	(Pedersen, et al., 2024) (Ottosen, et al., 2020) (Sonne, et al., 2017) (Region Syddanmark, 2024) (Region Syddanmark, 2025)
Himmark Strand	Udgravning, oppumpning og behandling af grundvand	Chlorerede opløsningsmidler, olieprodukter	(Syddanmark, 2025)
Høfde 42	Indkapsling og termisk oprensning.	Pesticider, kviksølv	(Region Midtjylland, 2025) (Region Midtjylland, 2021) (Lemming, et al., 2014)
Kærgaard Klitplantage	Udgravning, ISCO, stimuleret nedbrydning.	Farmaceutiske stoffer, chlorerede opløsningsmidler, mm.	(Sørensen, et al., 2024) (Region Syddanmark, 2025)
Korsør Brandskole	Afprøvning af PFAS afværgeteknologier (jordvask, mikrobiel nedbrydning, afgravning, oppumpning/rensning, termisk oprensning)	PFAS	(Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2025) (NIRAS & Dyreborg, 2023) (GEO; Klint, Knud Erik Strøberg; Larsen, Lisa, 2023) (NIRAS, 2021)
Østerstrand Fredericia	Mikrobiologisk reaktiv væg	Olieprodukter	(Miljøstyrelsen, 2015) (Region Syddanmark, 2016) (Region Syddanmark, 2017) (Region Syddanmark, 2019)
Snavevej 25	Reaktiv jern væg	Chlorerede opløsningsmidler	(Region Syddanmark; WSP, 2023)
Stengårdens Losseplads	Oppumpning og behandling af grundvand, overvåget naturlig nedbrydning	Pesticider	(Region Sjælland, 2015)
Stige Ø Losseplads, Odense	Installation af perkolat opsamlingsystem	Lossepladsstoffer	(Odense Kommune, 2025) (Odense Renovation, 2025)
Vejen Losseplads	Dræn	Xylen, MCPP	(Kjeldsen, 1991) (Bjerg, et al., 2014)

12.2.1 Collstropgrunden, Esrum Sø

Collstropgrunden, Esrum Sø er også en af Danmarks generationsforureninger. Collstropgrunden blev anvendt som en træimprægneringsvirksomhed fra 1936-1976, hvor tungmetaller (As, Cr og Cu) blev brugt som imprægneringsmiddel til telefonpæle og elmaster. Det vurderes, at der findes 110 tons arsen, 50 tons krom og 60 tons kobber i jorden (Region Hovedstaden, 2025). Udsivning fra lokaliteten udgør en risiko for Bramaholm Bæk, som ligger i et Natura 2000 område ca. 250 nedstrøms Collstropgrunden samt for Esrum Sø, som også ligger i Natura 2000 området ca. 1.000 meter nedstrøms grunden.

Det terrænnære grundvand umiddelbart under grunden er kraftig forurenet, men der er ingen egentlig forureningsfane under udbredelse udenfor grunden eller i dybereliggende magasiner. Dette skyldes, at arsen og de andre forureningsstoffer som Cr og Cu sorberes kraftigt til jorden.

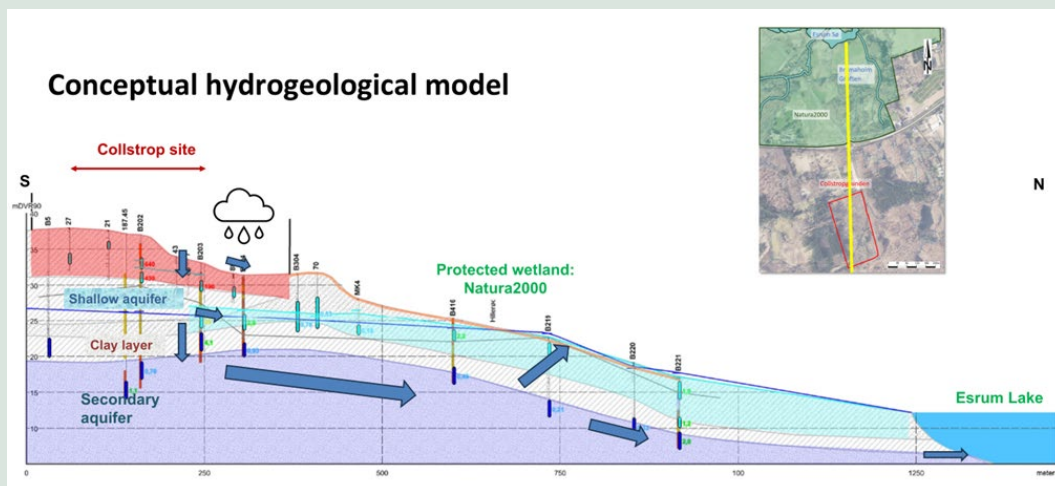
Valg af afværgeteknologi

- Beslutningen om afværgeindsatsen for Collstropgrunden, Esrum Sø har været lang på grund af manglende modenhed af teknikkerne og prisen på afværgeindsatsen.
- I 2026 er det planlagt at igangsætte første fase af en afværgeløsning for at beskytte overfladevandet nedstrøms. Fase 1 omfatter sedimentoprensning i grøfter, bortgravning af forurenet jord samt etablering af en lav jordvold, som skal hindre udstrømning af forurenet overfladevand fra grunden i forbindelse med kraftige regnskyl. (Region Hovedstaden, 2025).
- Region Hovedstaden forbereder desuden en fase 2 af afværgeindsatsen, som skal forhindre udsivning fra kilden gennem grundvandsmagasinerne under grunden. Teknikker som bortgravning, jordvask, etablering af membran og kemisk immobilisering er evalueret (Jørgensen, et al., 2022). *In-situ* kemisk immobilisering af arsen og andre forureningskomponenter ser ud til at være den mest lovende løsning. Denne teknik vil derfor blive afprøvet og evalueret nærmere med henblik på at vurdere dens potentiale som fuldskala afværgeløsning.

TABEL 27. Collstropgrunden, Esrum Sø (Jørgensen, et al., 2022).

Collstrupgrunden, Esrum Sø	
Lokation	Syd for Esrum Sø, ved Hillerød, Region Hovedstaden.
Sagstype	Industrigrund
Planlagt afværge på lokaliteten	Fase 1: Afværgeren omfatter etablering af en jordvold, der skal holde forurenet overfladeafstrømning inde på selve grunden, samt bortgravning af forurenet jord og sediment udenfor selve Collstropgrunden. Fase 2: In situ kemisk stabilisering af arsen i jord og grundvand er en potentiel afværgeløsning, som vil blive nærmere undersøgt og evalueret nærmere.
Overfladevand	Natura 2000 områderne Esrum Sø, Bramaholm Bæk og tilhørende grøftesystem
Afstand til overfladevand	Natura 2000/Bramaholm Bæk: Ca. 250 m. Esrumsø: Ca. 1.000 m
Primær forureningsstofgruppe	Tungmetaller (arsen)
Sekundær forureningsstofgruppe	-
Koncentration i overfladevand (max)/grænseværdi	2.100 µg/l / 4,3 µg/l (arsen)

Bundsediment koncentration i overfladevand/grænseværdi	>20 mg/kg As / 6 mg As/kg
Overskridelsesfaktor	488
Geologi	Smeltevandssand og moræner



FIGUR 28. Collstrupgrunden ved Esrum Sø: Konzeptuel hydrologisk model, der viser de potentielle spredningsveje for forureningen fra grunden til omgivelserne. Da arsen sorberer meget kraftigt til sediment er der i dag kun observeret en begrænset spredning af arsen udenfor grunden.

12.2.2 Grindsted Å

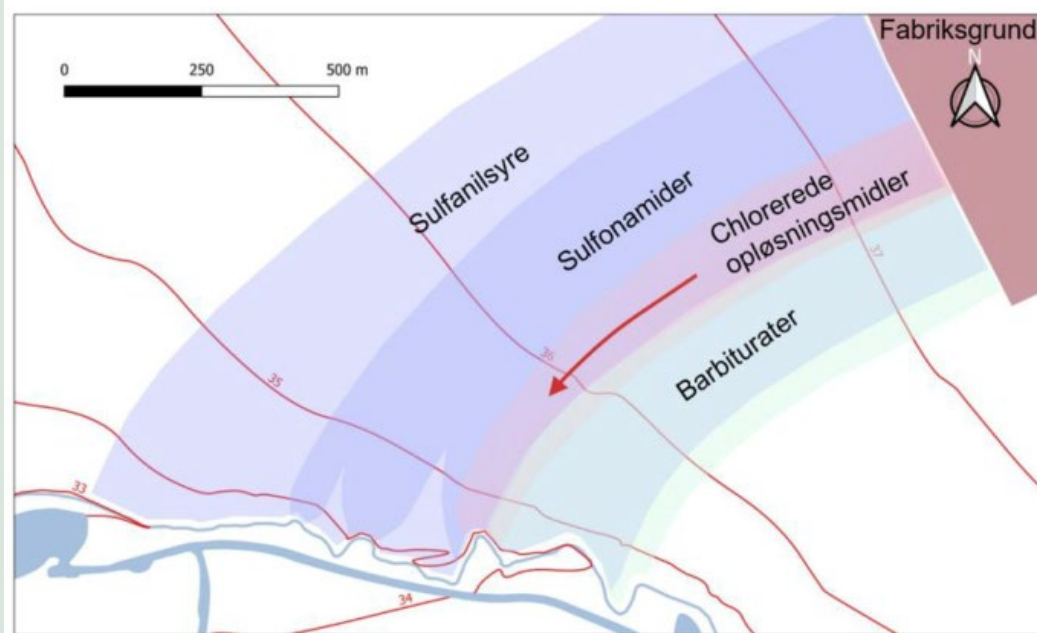
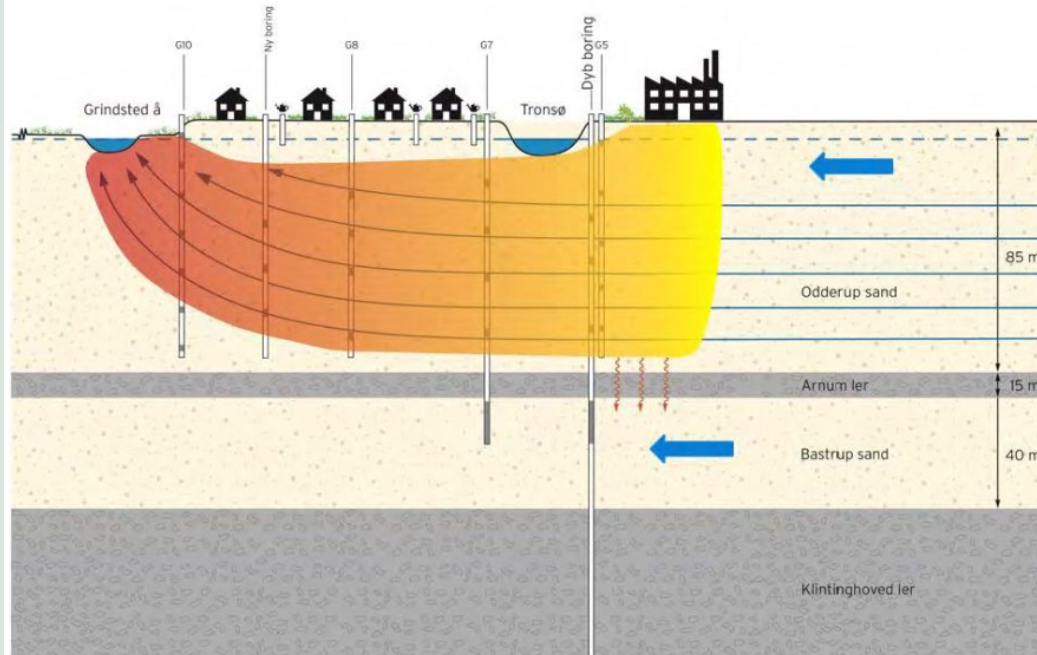
Grindsted Å er forurenet af en fane, som stammer fra det tidligere Grindstedværkets fabriksgrund, beliggende ca. 1,5 km fra vandløbet. Fanen består af bl.a. nedbrydningsprodukter fra chlorerede opløsningsmidler (cis-DCE og vinylchlorid) og farmaceutiske stoffer. Fabriksgrunden, fanen og vandløbet er blevet undersøgt ved omfattende studier af DTU og Region Syddanmark/ tidl. amt over flere årtier. Høje koncentrationer af vinylchlorid er målt op til 7 km nedstrøms fanens udsivning til vandløbet (Sonne, et al., 2017). Det er estimeret, at en flux på op til 235 kg/år vinylchlorid udsiver til åen (Region Syddanmark, 2024). Detaljerede undersøgelser er gennemført med henblik på at identificere mulige indsatsområder, og de mest lovende teknologier til in situ-oprensning tæt på åen er udpeget: Kemisk reduktion med nul valent jern, stimuleret reduktiv dechlorering, sorption (aktivt kul), afværgepumpning og naturbaserede løsninger. En bæredygtighedsvurdering har været en del af undersøgelsen.

Valg af afværgeteknologi

- Fabriksgrunden er en stor grund med flere forureningskilder, som ligger 1.500 m fra Grindsted Å. Ved vandløbet er fanen derfor meget bred og forureningsstofferne udsiver på forskellige strækninger i vandløbet (se FIGUR 29).
- Et forslag til afværgeindsats omfatter etablering af ca. 800 injektionspunkter, der fungerer som en reaktiv væg. Injektionen vil bestå af en kombination af nul valent jern (ZVI), og et sorptionsmiddel (fx BOS100 eller Plumestop). Reinjektion vil være nødvendig hver 5.-10. år (Region Syddanmark, 2024).
- Udover fabriksgrunden findes der andre jordforureninger ved Grindsted, som stammer fra det tidligere Grindstedsværket (Region Syddanmark, 2025).

TABEL 28. Grindsted Å (Pedersen, et al., 2024), (Ottosen, et al., 2020), (Sonne, et al., 2017).

Grindsted Å	
Lokation	Grindsted By, Region Syddanmark
Sagstype	Industrigrund
Afværge på lokaliteten	Forundersøgelser igangsat (kemisk reduktion med nul valent jern, stimuleret reductivt dechlorering, sorption (aktivt kul), afværgepumpning, naturbaserede løsninger)
Overfladevand	Grindsted Å
Afstand til overfladevand	1.500 m
Fanebredde	500 m
Primær forureningsstofgruppe	Chlorerede opløsningsmidler, farmaceutiske stoffer.
Sekundær forureningsstofgruppe	BTEX
Koncentration i overfladevand (max)/grænseværdi	6,4 µg/l / 0,05 µg/l (Vinylklorid)
Bundsediment koncentration i overfladevand/grænseværdi	-
Overskridelsesfaktor	128
Geologi	Moræneaflejringer, smeltevandsaflejringer (terrænnært).
Vandføring i vandløb	1500-4100 l/s



FIGUR 29. Grindsted konceptuelle modeller (Pedersen, et al., 2024).

12.2.3 Høfde 42

Høfde 42 er en af de 10 generationsforureninger i Danmark. Forureningen stammer fra et deponi på stranden, anvendt af Cheminova og Staten fra 1950'erne. Der er foretaget flere afværgeindsatser, først med fjernelse af 1.200 tons forurening og affald i 1971, derefter 5.600 tons forurenede sand over vandspejlet i 1981. I 2024 blev der igangsat en termisk oprensning med det formål at fjerne 90 tons pesticider og 7 tons kviksølv i forureningskilden under vandspejlet. Det forventes, at den termiske oprensning vil resultere i, at forureningen vil blive reduceret til under grænseværdierne (Region Midtjylland, 2025). Valget af termisk oprensning blev politisk foretaget blandt andet på baggrund af en bæredygtighedsvurdering (Lemming, et al., 2014).

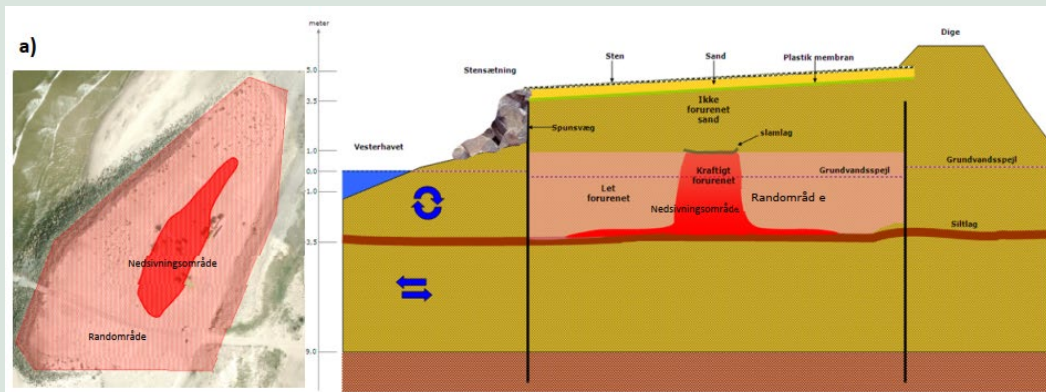
Valg af afværgeteknologi

- Høfde 42 består af en meget stor og kompakt jordforurening bestående af to vidt forskellige stofgrupper: Tungmetaller og pesticider. Det indsnævrer de tekniske muligheder. Den kompakte kilde betyder, at indkapsling har været oplagt, mens en mere permanent løsning udvikles. Indkapslingen er også fordelagtig ved implementeringen af den efterfølgende termiske oprensning.
- Beslutningsprocessen om afværgeindsatsen har været mere end et årti, på grund af de høje omkostninger i forbindelse med afværgeindsatsen samt usikkerhed i forhold til de tekniske muligheder pga. forureningens omfang og kompleksitet. Der var et politisk ønske om, at afværgeaktiviteterne skulle foregå on-site. Den tekniske udvikling muliggjorde desuden anvendelsen af en enkelt teknik til behandling af begge stofgrupper. Bæredygtighedsvurderingen indgik også som en væsentlig del af beslutningsprocessen.

TABEL 29. Høfde 42 (Region Midtjylland, 2025), (Region Midtjylland, 2021) .

Høfde 42	
Lokation	Harboøre Tange, Region Midtjylland.
Sagstype	Losseplads/deponi
Afværge på lokaliteten (dato igangsat)	Udgravning (1971, 1981), indkapsling (2006), termisk oprensning, ikke afsluttet (2024)
Overfladevand	Vesterhavet
Afstand til overfladevand	0 m
Fanebredde	50 m
Primær forureningsstofgruppe	Pesticider
Sekundær forureningsstofgruppe	Tungmetaller (Kviksølv)
Koncentration i overfladevand (max)/grænseværdi	0,02 / 0,0003 µg/l (Ethylparathion)
Bundsediment koncentration i overfladevand/grænseværdi	?
Overskridelsesfaktor*	67 (Vesterhavet)
Geologi	Strandsand og fyld

*Overskridelsesfaktor: Den målte/estimerede koncentration i overfladevandet normeret med grænseværdien.



FIGUR 30. Høfde 42 konceptuelle model (Lemming, et al., 2014).

12.2.4 Stige Ø Losseplads

Stige Ø er Danmarks største losseplads, hvor der i en periode mellem 1967 og 1994 blev deponeret store mængder affald direkte ind i Odense Fjord, med opbygning af en ø på op til 30 meters højde. Lossepladsen blev etableret uden membran, og derfor løb vandet direkte igennem affaldet, for at sive ud til fjorden som lossepladsperkolat.

Valg af afværgeteknologi

- Lossepladsen indgik i et stort projekt finansieret af Miljøstyrelsen omkring 2010 for at indsamle lossepladsgasser til brug som forsyningsgas (Rosendal, 2011).
- Et perkolatindsamlingsystem bestående af et dræn omkring lossepladsen, blev etableret i 2003. Perkolatet bliver indsamlet og ledt til rensningsanlægget ved Odense Nord Miljøcenter (Odense Kommune, 2025), (Odense Renovation, 2025).

TABEL 30. Stige Ø Losseplads

Stige Ø	
Lokation	Stige Ø, Odense Fjord
Sagstype	Losseplads
Afværge på lokaliteten (dato igangsat)	Dræn, 2003
Overfladevand	Odense Fjord
Afstand til overfladevand	0 m
Fanebredde	-
Primær forureningsstofgruppe	Lossepladsstoffer
Sekundær forureningsstofgruppe	-
Koncentration i overfladevand (max)/grænseværdi	-
Bundsediment koncentration i overfladevand/grænseværdi	-
Overskridelsesfaktor	-
Geologi	Lossepladsfyld
Vandføring i vandløb	-

12.2.5 Vejen Losseplads

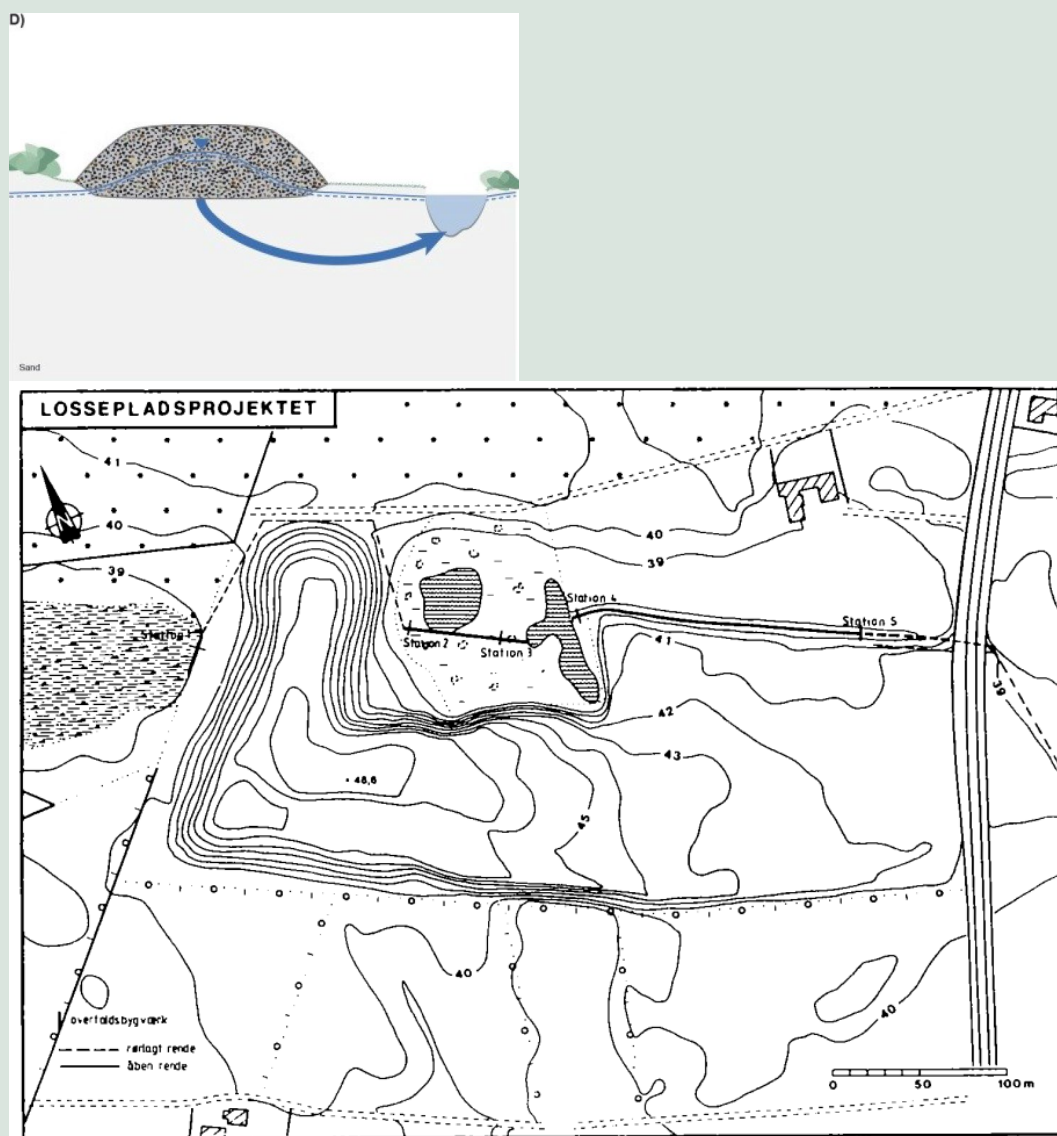
Ved Vejen Losseplads udsiver perkolatet, og udgør en risiko mod det nedstrømsliggende vandløb. Det er et eksempel på en jordforurening, hvor en forholdsvis simpel afværgen kan gøre en stor forskel.

Valg af afværgeteknologi

- Der er etableret drængrøfter, som opfanger ca. 50% af det afledte lossepladsperkolat.

TABEL 31. Vejen Losseplads (Kjeldsen, 1991). (Bjerg, et al., 2014)

Vejen Losseplads	
Lokation	Vejen By, Region Syddanmark
Sagstype	Losseplads
Afværgen på lokaliteten (dato igangsat)	Dræn
Overfladevand	?
Afstand til overfladevand	0 m
Fanebredde	-
Primær forureningsstofgruppe	Lossepladsstoffer (320 µg/l xylen)
Sekundær forureningsstofgruppe	MCCP (op til 850 µg/l)
Koncentration i overfladevand (max)/grænseværdi	-
Bundsediment koncentration i overfladevand/grænseværdi	-
Overskridelsesfaktor	32
Geologi	-
Vandføring i vandløb	-



FIGUR 31. Konceptfigur for udsivning fra Vejen Losseplads (Bjerg, et al., 2014) og placering af drænggrøfter (Kjeldsen, 1991).

12.3 Erfaringer med afværgе fra udenlandske lokaliteter

TABEL 32 viser et overblik over nogle udvalgte eksempler på internationale erfaringer med afværgе i forhold til overfladevand. Enkelte eksempler, som minder mest om danske forhold uddybes i de efterfølgende afsnit.

Det fremgår at der oftest er behov for en kombination af løsninger for at fjerne både kilden og forureningsfanen og at løsninger med "lave" driftsomkostninger som permeabel reaktiv væg, monitored natural attenuation og fyto Remediering ofte foretrækkes.

TABEL 32. Internationale forureningslokaliteter med en udsivning til overfladevand og med igangværende/afsluttet afværge.

Navn	Afværge *	Stoffer	Referencer
Chalk stream, UK	ISCO & PRB, oppumpning og behandling af grundvand, udgravning	Olieprodukter	(Swanston, 2023)
Columbia Airport, South Carolina, USA.	Fytoremediering	Pesticider	(USGS, 2024)
Flathead Lake, USA	PRB	Benzen	(Regenesis, 2024a)
Hanford (Columbia River), USA	Oppumpning og behandling af grundvand, jordvask	Radionuclides Tungmetaller Chlorerede opløsningsmidler	(US Department of Energy, 2024) (Francesco, et al., 2023) (Wellman & Truex, 2018) (US DOE, 1999)
Haugesund Lufthavn, Norge	PRB	PFAS	(Regenesis, 2024b) (COWI, 2022)
Levin Landfill, NZ	Etablering af dræn og perkolatopsamling på en gammel losseplads	Lossepladsstoffer	(Tonkin + Taylor, 2019)
Putuxent River Naval Station, USA	Bioremediering	Chlorerede opløsningsmidler	(Anon., 2017)
River Tame, UK	Natural attenuation, hyporheisk zone	TCE	(Freitas, et al., 2015)
Rookhope Burn, UK	MNA	Bly og zink	(British Geological Survey, 2025)
Savannah River, USA	In-situ Termisk, Bioremediering, PRB, active recirculation, vapor extraction, fytoremediering, overvåget naturlig nedbrydning	Radionuclides tungmetaller chlorerede opløsningsmidler	(US Department of Energy, 2023) (Travis & Rosenberg, 1997)
Taranto, Italien	Spunsvæg og dræn	Tungmetaller	(Mali, et al., 2024)
Värnamotvätten, Sverige	Oppumpning og behandling af grundvand, ERD	Chlorerede opløsningsmidler	(Regenesis, 2023)

* ISCO: In-situ chemical Oxidation, PRB: Permeable reactive barrier, MNA: Monitored natural attenuation, ERD: Enhanced reductive dichlorination.

12.3.1 Chalk stream, UK

Chalk Stream er et eksempel på en forurening forårsaget af en utæt nedgravet olietank. Forureningsfanen påvirker Chalk Stream, som er beliggende 5 meter nedstrøms. Afværgeindsatsen består af 2 faser. I den første installeres flere reaktive vægge ved hjælp af injektioner: To rækker med ORC Advanced, et iltgivende kemikalie, der fremmer aerob nedbrydning og en nedstrøms sorptionsvæg bestående af Petrofix. Væggen blev installeret ved brug af direct push injektioner. Nedstrøms væggen faldt koncentrationerne til non-detect inden for en måned.

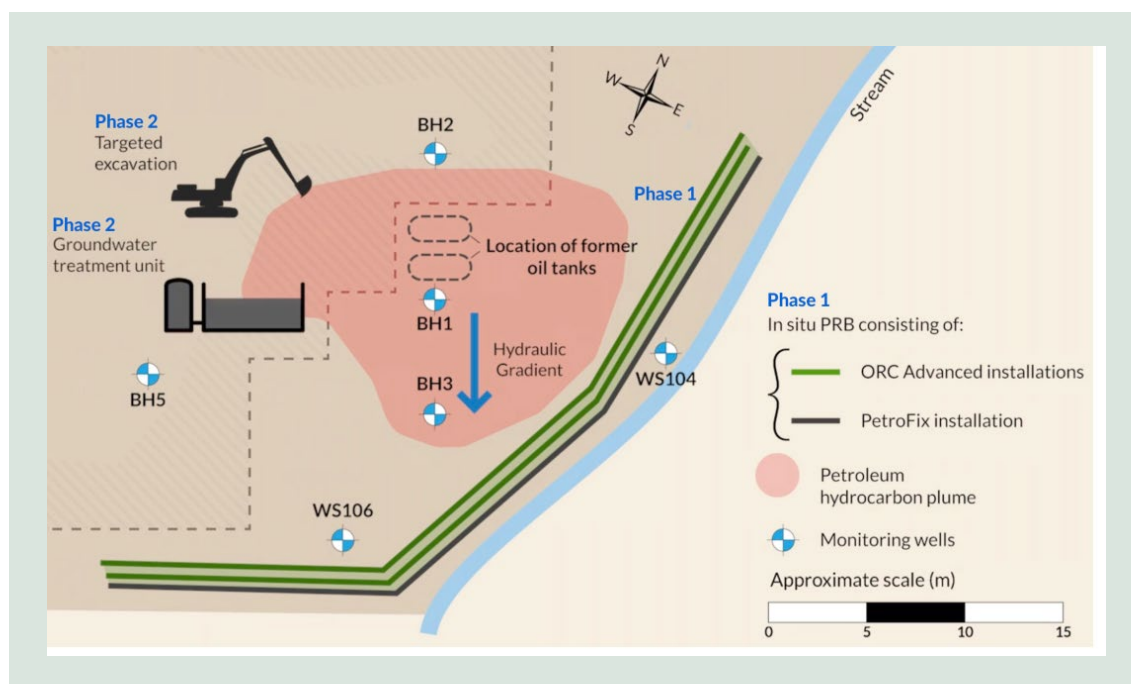
Anden afværgefase bestod af en udgravning af jordforureningen, efterfulgt af afværgepumpning. Som efterpolering efter endt afværgepumpning, blev der injiceret et in-situ kemisk oxidationsmiddel (RegenOx) for at fjerne den sidste residual forurening fra jordforureningen (Swanston, 2023).

Valg af afværgeteknologi

En permeabel reaktiv væg teknologi blev anvendt på grund af den lille afstand til overfladevand. Direkte injektion var designet til at sikre, at overfladevandet ikke blev påvirket af de anvendte injektionsprodukter.

TABEL 33. Chalk Stream

Chalk Stream	
Lokation	Hertfordshire UK
Sagstype	Udsivning fra nedgravede olietanke ved en tidligere papkarton og plastfabrik (let industri)
Afværge på lokaliteten (dato igangsat)	Stimuleret biologisk nedbrydning, permeable reaktiv væg nedstrømmes. Udgravning, afværgepumpning og ISCO ved kilden (2023)
Overfladevand	Chalk stream ved siden af lokaliteten
Afstand til overfladevand	5 m
Fanebredde	20 m
Primær forureningsstofgruppe	Oliekomponenter
Sekundær forureningsstofgruppe	Ingen
Koncentration i overfladevand (max)/grænseværdi	415 µg/l ved vandløbet
Bundsediment koncentration i overfladevand/grænseværdi	-
Geologi	Kalk med tynd (1 m) overdæk
Vandføring i vandløb	-



FIGUR 32. Chalk Stream olieforureningsfane, og permeabel reaktiv væg installation langs vandløbet. Den stiplede linje viser grundplanen for den nedrevne fabriksbygning, som stod på lokaliteten.

12.3.2 Haugesund Lufthavn, Norge

I 2008 blev en PFAS forurening konstateret ved en brandøvelsesplads ved Haugesund Lufthavn, Norge. Der blev påvist koncentrationer på op til 3780 ng/l PFOS i en sump, som

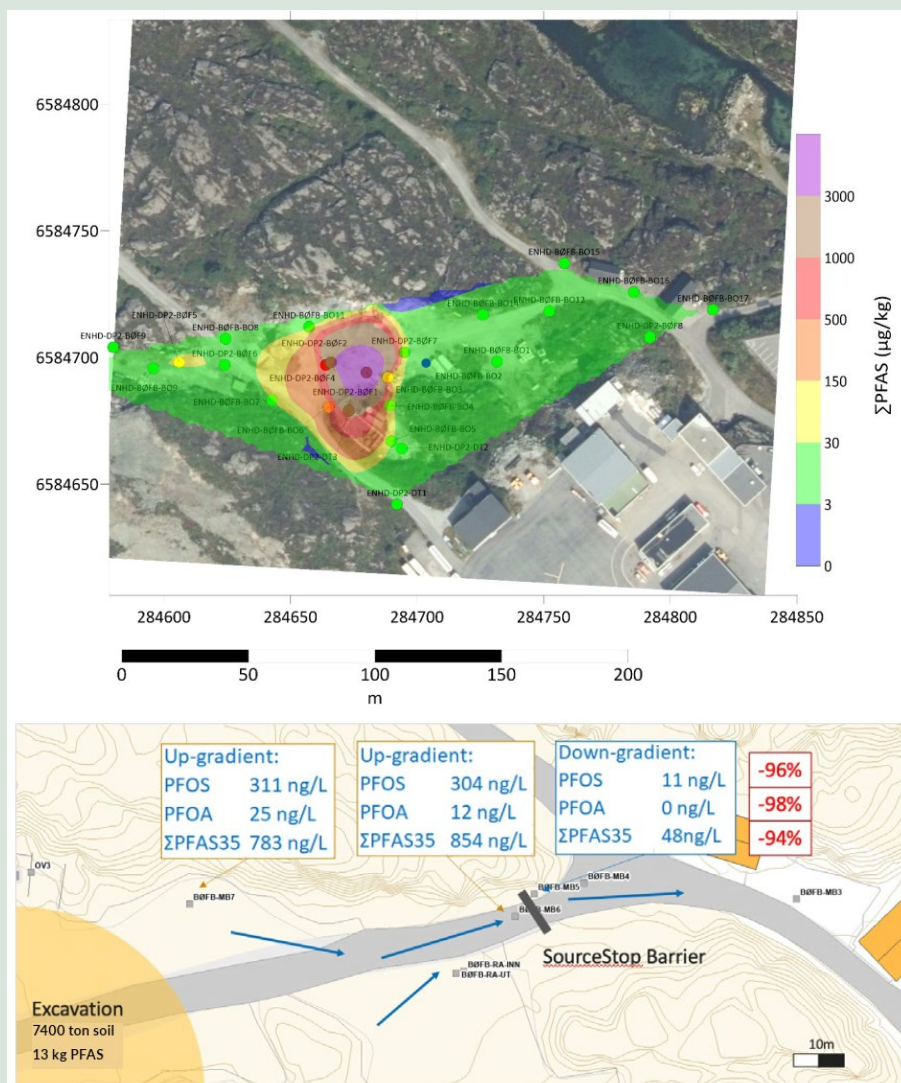
opsamler grundvand og overfladevand fra lokaliteten for at blive udledt gennem et rør til en nærliggende sø (COWI, 2022). I 2022 blev en afværge igangsat, der bestod af en udgravning af ca. 13 kg PFAS i 7.400 tons jord fra kilden, og installation af en væg af Sourcestop (aktiv kul) nedstrøms lokaliteten. Afværgeindsatsen, opnåede en 94% reduktion i koncentrationen af sum PFAS, dog med en forventning om, at koncentrationen vil falde yderligere, da jordforureningen nu er fjernet (Regenesis, 2024b).

Valg af afværgeteknologi

- Udgravning med off-site deponi blev valgt, da det kunne gennemføres hurtigt med et sikkert resultat.
- Installation af aktiv kul væg blev valgt som hurtig sikring mod off-site impact under, og efter, udgravningsarbejdet.

TABEL 34. Haugesund Lufthavn, Norge (COWI, 2022)

Haugesund Lufthavn, Norge	
Lokation	Haugesund Airport, Norge
Sagstype	PFAS fra en brandøvelsesplads
Afværge på lokaliteten (dato igangsat)	Udgravning af jordforureningen, permeable sorptive væg (Sourcestop) nedstrøms. 2022
Overfladevand	Vandløb som udløber ved en sø og Visnesbukta
Afstand til overfladevand	200 m
Fanebredde	5 m
Primær forureningsstofgruppe	PFAS
Sekundær forureningsstofgruppe	-
Koncentration ved overfladevand (max)/grænseværdi	3780 ng/l / 0,65 ng/l (PFOS AA-EQS ferskvand)
Bundsediment koncentration i overfladevand/grænseværdi	>150 µg/kg
Overskridelsesfaktor	5815 (Vand)
Geologi	Grundfjeld
Vandføring i vandløb	2.500 l/dag



FIGUR 33. Øverst: ΣPFAS i jord 0-3m under terræn (µg/kg), Haugesund Lufthavn, Norge (COWI, 2022). Overfladevand er Visnesbukta som kan ses øverst til højre af figuren. Nederste figur viser afværgendeindsatsen. De grå områder er asfalteveje lagt oven på fyldet. Vandet strømmer af fjeldet og samles i fyldlaget under vejen. En Sourcestop væg er lagt i fyldlaget i grøften i fjeldet for at sorbere PFAS fra det udstrømmende vand. Figuren viser koncentrationerne op og nedstrøms af væggen.

12.3.3 Levin Landfill, New Zealand

Levin losseplads er en typisk kommunal losseplads, etableret i 1950'erne, og blev anvendt til alle typer af affald op til 2004, hvor den blev lukket. Herefter blev der etableret en moderne losseplads ved siden af. Lossepladsen ligger ovenpå et frit magasin bestående af marinsand.

Valg af afværgeteknologi

- Et dæklag blev først etableret på lossepladsen ved åbning af den nye losseplads i 2004. Et forbedret dæklag blev installeret i 2011.
- Andre afværgeforanstaltninger blev overvejet i 2019 og er baggrunden for at eksemplet er uddybet i denne rapport. Levin Losseplads ligger i en typisk kommune med en stram økonomi og hvor borgerne længe har kæmpet mod tilstedeværelsen af lossepladsen. Ingeniørfirmaet Tonkin + Taylor fortog i 2019 et indledende studie, hvor de evaluerede 11 forskellige afværgescenarier i forhold til en række kriterier såsom risiko for grundvand, overfladevand, lovgivning og godkendelseskriterier, omkostning mm (Tonkin + Taylor, 2019). Der blev overvejet diverse tiltag såsom forbedring af dæklag, dræn, perkolatopsamlingssystem, afværgepumpning, constructed wetlands. Løsningen er endnu ikke implementeret (Heagney, 2024).
- Det kan diskuteres om de forslåede tiltag vil stoppe forureningen, men eksemplet er en god illustration på de overvejelser, som kan forekomme, når der er begrænsede ressourcer til afværge.

TABEL 35. Levin Losseplads

Levin Losseplads	
Lokation	4 km vest af Levin, New Zealand
Sagstype	Losseplads
Afværge på lokaliteten (dato igangsat)	Dæklag og dræn
Overfladevand	Tatana Drain and Hokio Stream
Afstand til overfladevand	150 m
Fanebredde	-
Primær forureningsstofgruppe	Lossepladsstoffer
Sekundær forureningsstofgruppe	
Koncentration i overfladevand (max)/grænseværdi	-
Bundsediment koncentration i overfladevand/grænseværdi	-
Geologi	Strandsand
Vandføring i vandløb	-



FIGUR 34. Levin Losseplads, New Zealand. Lossepladsen ses til venstre i fotoet. Der er en forureningsfane som strømmer til højre med udledning til Hokio Stream til højre i fotoet (<https://www.thepost.co.nz/nz-news/350431604/council-taking-measures-stop-leachate-plume-reaching-stream>).

13. BILAG C: Lokalteter og afværg

Med udgangspunkt i konkrete lokaliteter, præsenteres der eksempler på mulige afværgtiltag for hver lokalitetstype.

Her præsenteres en række eksempler på de lokalitetstyper, der oftest udgør en risiko for overfladevand under danske forhold – se TABEL 36 nedenfor samt kapitel 2.

Hvert eksempel består af et kort resume, en konceptuel figur af forureningen, mulig afværg, en kort beskrivelse af manglende viden og en konklusion.

TABEL 36.Væsentlige lokalitetstyper

Lokalitetstyper

- Lossepladser ved vandløb
- Industrielokaliteter ved kyster/jorde
- Lokaliteter ved søer eller vandløb med lav vandføring
- Jordforureninger med større afstand til overfladevand
- Lokaliteter ved vandløb med vandføringer > 10 l/s
- Type 2 og usikkerhed om forureningsoprindelse
- PFAS lokaliteter
- Pesticid lokaliteter

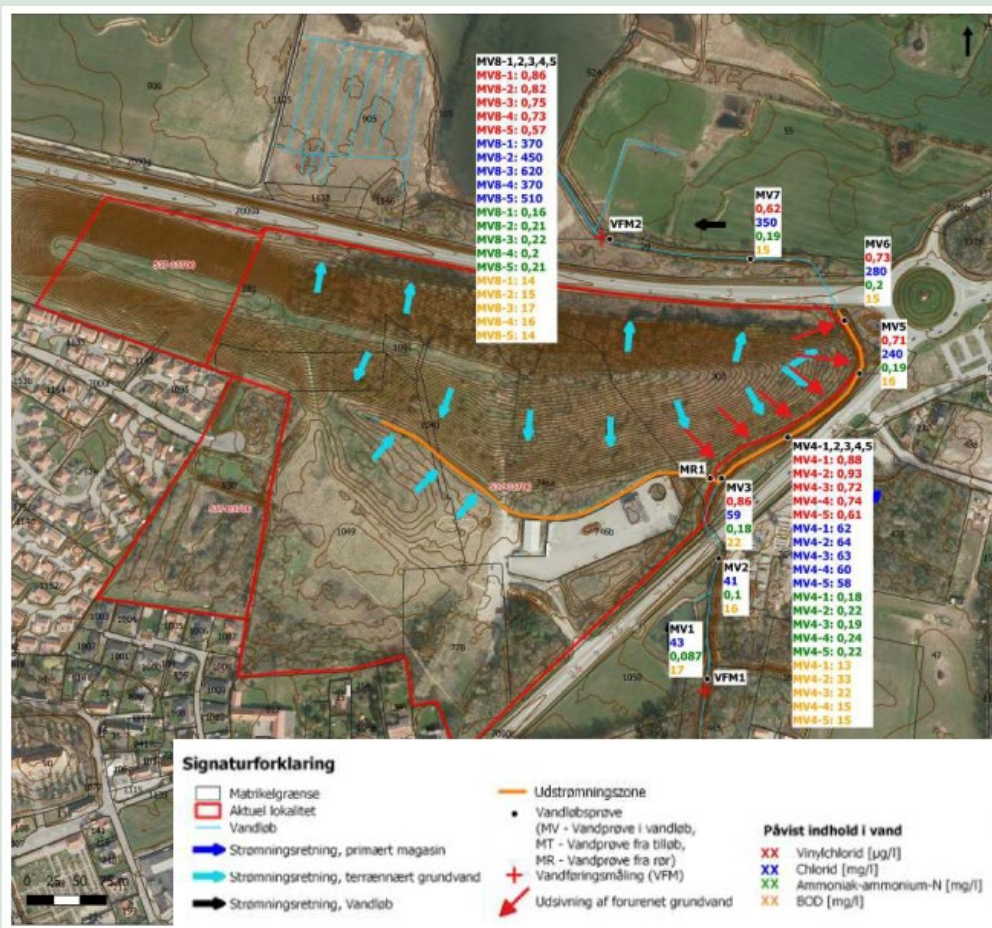
Bemærk, at dette kapitel benytter få kildehenvisninger. Her refereres læseren til rapporterne hos regionerne. Der er taget direkte klip (fx figurer) fra disse rapporter.

13.1 Lossepladser ved vandløb

13.1.1 Eksempel I: Spang Vade Losseplads

Spang Vade Losseplads, Region Syddanmark (537-03706) er et eksempel på en losseplads i Kategori A1 (0-50m fra overfladevand), F3 (vandføring >10 l/s).

Denne losseplads er en af fire lossepladser, som er med i rapporten for at illustrere udfordringer ved at sammenligne på tværs af lignende jordforureninger (se afsnit 5.3).



FIGUR 35. 537-03706 Spang Vade Losseplads

Lokalitetens vigtigste karakteristika er:

- Stor losseplads med blandet affald og en driftsperiode fra 1972-1990.
- Beliggende lige op til vandløb (Vadebæk, strømning ved måling: 15 l/s som er 2,9 gange medianminimum vandstrømningen). Dårlig økologisk tilstand.
- Det skønnes, at vandløbet tilføjes ca. 5 l/s fra grundvandet over strækningen forbi lossepladsen.
- Hovedparten af tilstrømningen til vandløbet forventes at ske ved udsivning fra brinken af lossepladsen.
- Eksisterende grøft er rørlagt til opsamling af perkolat med udledning til Vadebæk via et betonrør.
- 230 m udstrømningszone.
- 40 m moræner ned til det primære grundvandsmagasin.
- En anden V2 kortlagt losseplads (537-05705) ligger lige opstrøms på den modsatte side af vandløbet. Denne forurenede lokalitet, kan potentielt påvirke den samme udstrømningszone i overfladevandet og med de samme stoffer som Spang Vade Losseplads. Målinger ved vandløbet viser at Spang Vade Losseplads (lokalitet 537-03706) er den primære punktkilde.
- Lossepladsen vurderes at påvirke vandkvaliteten i vandløbet Vadebæk med fund af vinylchlorid, ammonium, opløst jern, chlorid og COD, der overstiger de respektive kvalitetskriterier for ferskvand.

Mulig afværgе

Afværgе med dæklag og perkolatopsamling er en effektiv metode, som burde designes på baggrund af en evaluering af dens effekt.

TABEL 37. Mulig afværgе ved 537-03706 Spang Vade Losseplads.

Mulig afværgе	Kommentarer
Perkolat indsamling	Lossepladsen ligger ovenpå det tykke kvartære lerdække, som dermed beskytter grundvandet. Til gengæld er den ingen dæklag, så regnvand siver direkte ned igennem lossepladsen, hvor det danner perkolat, som derefter udsiver til overfladevandet. Det, samt det mindre omfang af forureningen, taler for en pragmatisk tilgang, der består i at forbedre perkolatsindsamlingssystemet, med efterfølgende monitoring. Et perkolatsindsamlingssystem består af dræn til opsamling af udsivende vand og et vandbehandlingssystem.
Dæklag og indkapsling ved vertikal barriere	En kildeindkapsling vil begrænse transporten fra pladsen.

Manglende viden/vidensbehov

Der mangler viden om den tidslige variation af forureningsfluksen fra lossepladsen. Installation af et perkolatsindsamlingssystem vil også kræve en bedre karakterisering af forureningskilden: den foregående feltundersøgelse har haft fokus på overfladevands recipienten, og ikke på selve forureningskilden.

Konklusion på Spang Vade Losseplads (537-03706)

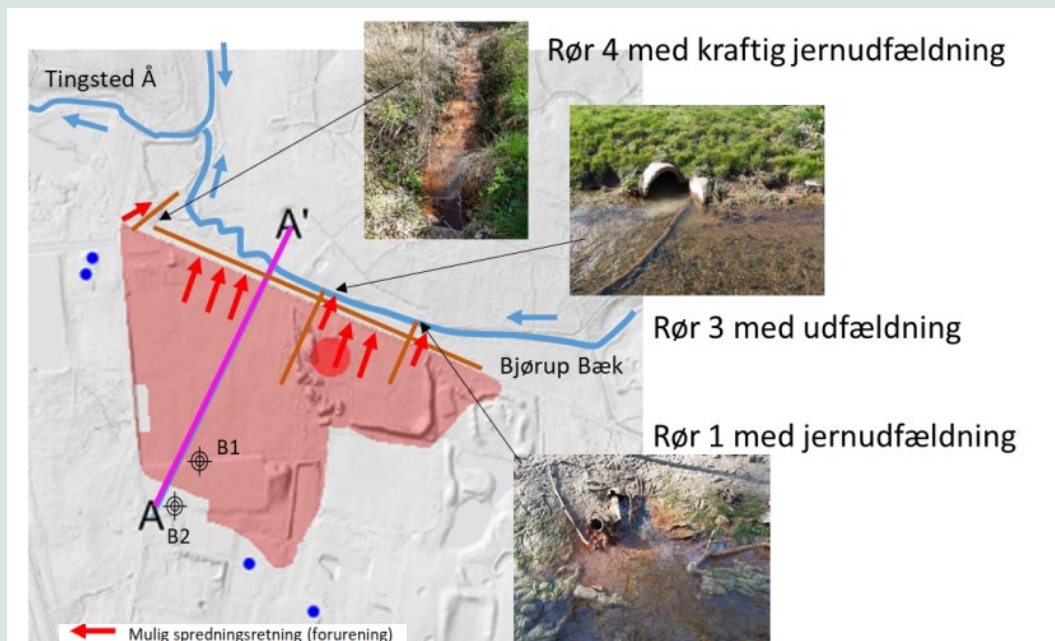
En mellemstor forurening i nærheden af et vandløb i dårlig tilstand. Gevinsten ved en oprydning er forholdsvist beskeden, da det kun vil forbedre vandkvaliteten på en mindre strækning, da lokaliteten kun ligger 500 m fra havet. Her skal det bemærkes, at man gerne må tage afstanden til havet i betragtning i en prioritering af oprydninger, men afstanden har jf. lovgivningen ingen betydning ift. vurdering af risikoen. Det skal også bemærkes at den primære forurening (vinylchlorid) afdamper hurtigt fra overfladevand.

13.1.2 Eksempel II: Kommunal Losseplads I, Nykøbing F

Kommunal Losseplads I, B1921 Klubhus V./Østre Allé, 4800 Nykøbing Falster, Guldbordsund Kommune, Region Sjælland (Lok. nr. 369-00004) er et eksempel på en losseplads beliggende ved et vandløb.

Denne rapport omfatter 56 lossepladser, hvoraf 46 har afstand 0-50 m fra overfladevand (A1), og 11 udleder til et vandløb med en vandføring mellem 2 og 10 l/s (F2). Der er 10 lossepladser i databasen af Type A1 og F2, bl.a. Kommunal Losseplads I.

Denne losseplads er en af fire lossepladser, som er med i rapporten for at vise udfordringerne ved at sammenligne mellem lignende jordforureninger (se afsnit 5.3).



FIGUR 36. Kommunal Losseplads I, B1921 Klubhus (depot 369-4) V./Østre Allé, 4800 Nykøbing Falster, Guldbordsund Kommune, Region Sjælland (Lok. nr. 369-00004)

Lokalitetens vigtigste karakteristika er:

- Stor losseplads (~400 m bred) med deponering af dagrenovation, bygningsaffald mm. Enkelte oplysninger om deponering af industriaffald i perioden 1965-1980.
- Afstand på 22 m til Bjørup Bæk.
- Lav medianminimumsvandføring på 4,23 l/s.
- Lossepladsen ligger ovenpå et lerdæklag på 1-6 m tykkelse, som underlægges af et 2-4 m tykt sandlag. Det primære grundvandsmagasin er skrivekridtet, som ligger 13 m under terræn.
- Ingen dæklag over lossepladsen, dvs. infiltration direkte ind i deponiet.
- Perkolatudsivning til Bjørup Bæk, sker direkte fra lossepladsen, og fra 4 dræn under pladsen.
- Grænseværdien for overfladevand overskrides for ammoniak-ammonium+N, jern samt PFOS.

Mulig afværge

TABEL 38. Mulig afværge ved Kommunal Losseplads I, B1921 Klubhus V./Østre Allé, Nykøbing Falster (369-00004).

Mulig afværge	Kommentarer
Perkolat indsamling	Lossepladsen ligger ovenpå et kvartær lerdække (1-6m tyk), som beskytter grundvandet. Til gengæld er den ingen øvre dæklag, så regnvand siver direkte ned igennem lossepladsen, hvor det danner perkolat, som derefter udsiver til overfladevand. Etablering af et perkolatsindsamlings- og behandlings-system med efterfølgende monitoring anbefales som en pragmatisk tilgang. Det kan være en udfordring at behandle perkolat indeholdende PFAS. Det kan gøres ved etablering af et vandbehandlingsanlæg.
Dæklag og vertikal væg	En kilde-indkapsling vil begrænse perkolatdannelsen og er en forholdsvis billig løsning. En mulighed er etablering af en permeabel reaktiv væg (se eksemplet ved Høgebjergs Lufthavn i afsnit 12.3.2)

Manglende viden/vidensbehov

- Usikkerheder omkring forureningssituation og hydrogeologi på lossepladsen
- Strømningsretningen og potentialet for det terrænnære grundvand er ukendt.

Konklusion på Kommunal Losseplads I, B1921 Klubhus V./Østre Allé. (369-00004)

Lossepladsen ligger ovenpå et tykt kvartært lerdække, hvilket mindsker risikoen for grundvandsforurening. En pragmatisk tilgang kunne være at forbedre perkolatsindsamlingssystemet, kontrollere drænene og etablere monitoring og muligvis rensning.

13.2 Industrielokaliteter ved kyster/fjorde

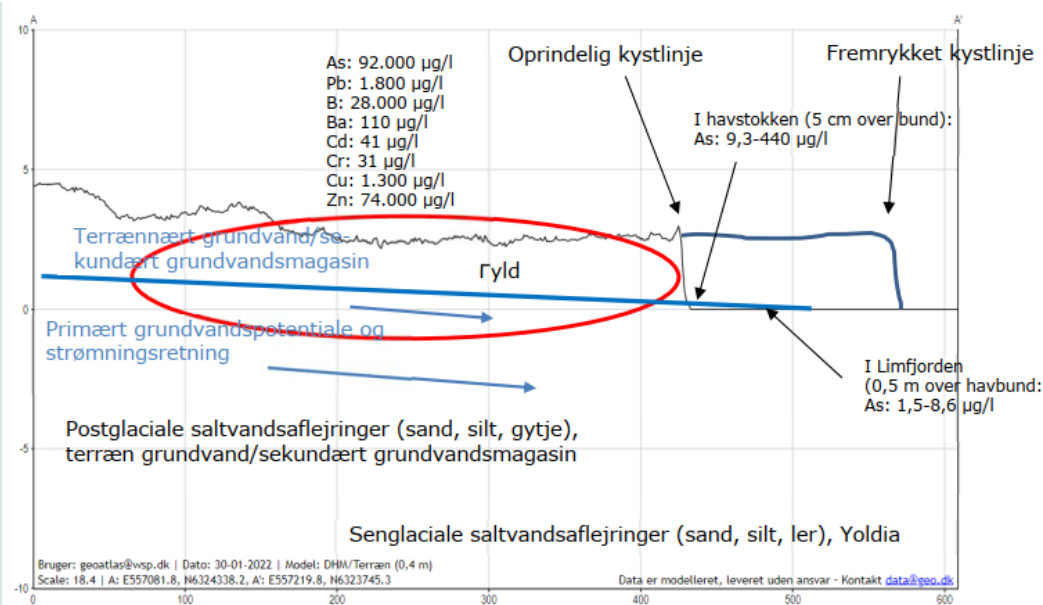
13.2.1 Eksempel: Limfjordsvej 21, Region Nordjylland

Limfjordsvej 21, Region Nordjylland (lok. nr. 851-00047) er et eksempel på en stor industrigrund med udsivning af forurening direkte til en kyst (Afstand = 0 m).

20 af de 117 jordforureninger i denne rapport udleder til kyst/fjord, 15 med en afstand mindre end 50 m, og 7 af dem er større erhverv, bl.a. Limfjordsvej 21.

Lokalitetens vigtigste karakteristika er:

- Svovlsyrefabrikken blev etableret i 1914 på lokaliteten. Svovlsyreproduktionen blev indstillet i 1974 og i 1976 blev anlægget nedrevet. Gødningsproduktionen fortsatte indtil 1998.
- 600 m bred udstrømnings zone til Limfjorden.
- Lokaliteten er forurenet med arsen, bly, bor, cadmium, krom, kobber, nikkel, zink. I 2021 oversteg arsen grænseværdien i overfladevandet, og der blev beregnet en flux af arsen til Limfjorden på ca. 220 kg/år. Strømningen sker igennem de øvre jordlag.
- For at forbedre forholdene for badning i fjorden har Aalborg Kommune etableret en barriere for at minimere kontakten mellem fjorden og den forurenede jord, bestående af en kystfremrykning foran lokaliteten med en stenkastning. Bag stenkastningen er der installeret en geotekstil membran med opfyld af sand og ren jord. Anlægsarbejdet blev igangsat i sommeren 2021. Desuden har Aalborg Kommune i 2024 etableret en spuns omkring det kystnære depot med kikasse, og hvor de højeste koncentrationer af arsen er påvist.
- Der er mistanke om udledning fra dræn som medvirkende årsag til den konstaterede forurening i fjorden. Der har også været en mistanke om, at vandprøverne udtaget i 2021 fra fjorden er blevet påvirket af forstyrrelsen af bundsedimentet under konstruktion af kystfremrykningen.



FIGUR 37. Lok. nr. 851-00047 Limfjordsvej 21

Mulig afværgelse

TABEL 39. Mulig afværgelse ved 851-00047 Limfjordsvej 21.

Mulig afværgelse	Kommentarer
Dæklag og vertikal væg	Et godt eksempel på effektiv kildeafskæring bestående af kildeindkapsling. Spørgsmålet er om der skal igangsættes en indsats for at fjerne forureningskilden permanent. Da lokaliteten ligger midt i Nørresundby, var en Brownfields redevelopment oplagt, og ved slutning af 2025 afsluttes et projekt hvor hele det 23 ha store areal er udviklet med boliger, skole og bypark.
In-situ kemisk fiksering	Denne grund har ligheder med generationsforureningen ved Collstrop grunden, Esrum Sø, hvor in-situ kemisk fiksering for tungmetaller overvejes. Ved Limfjordsvej 21 er der dog tale om en meget kraftig forurening på et mindre areal.

Manglende viden/videns behov

- Forureningsmobiliteten er ukendt. (Mali, et al., 2024) har dokumenteret en tungmetallforurening i Italien, hvor der blev installeret spunsvæg for at afskære lokaliteten fra havet. Det fremgår af rapporten, at saltvandsindtrængning kan mobilisere metallerne.
- Et veldokumenteret projekt. En analyse af afværgemulighederne er næste skridt.

Konklusion på Limfjordsvej 21 (851-00047)

Der er allerede gennemført en indkapsling af lokaliteten for at begrænse skaden på vandmiljøet. Effekterne af indsatsen er på nuværende tidspunkt dog ukendt, og derfor vil en videregående indsats for vandmiljøet være betinget af en vurdering af den effekt.

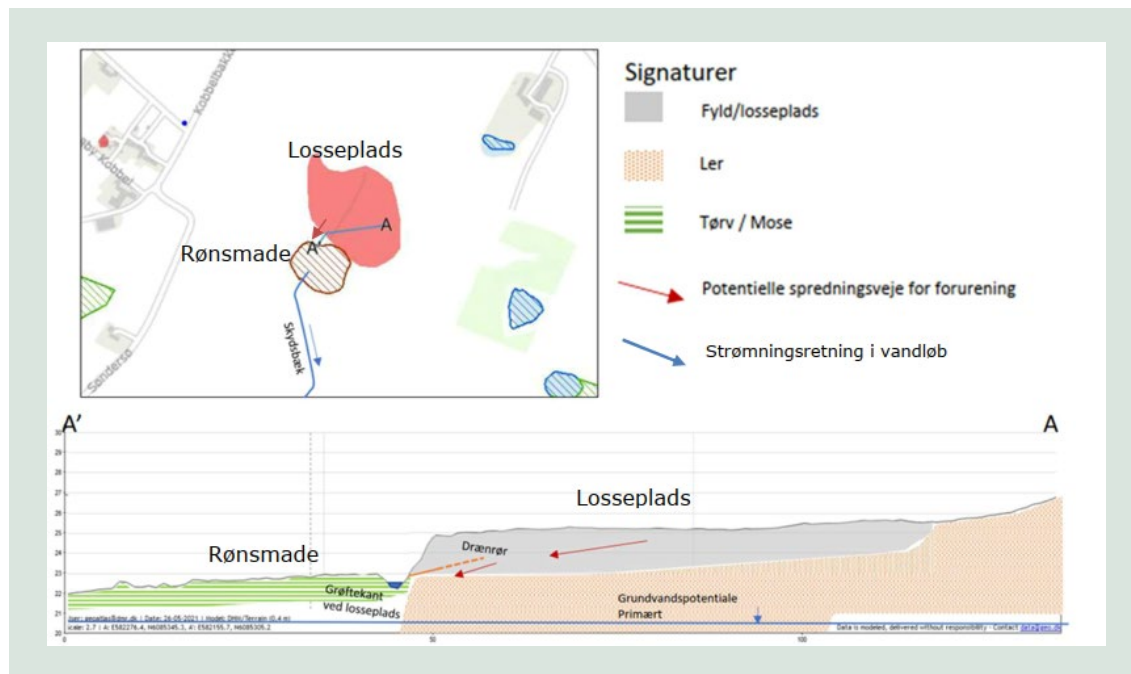
13.3 Lokaliteter ved søer eller vandløb med lav vandføring

13.3.1 Eksempel I: Losseplads Leby, Region Syddanmark

Kommunal Losseplads Leby, Region Syddanmark (lok. nr. 493-00002) er et eksempel på en Losseplads i Kategori A2 (afstand til overfladevand på 50-150 m), F1 (vandføring på 0-2 l/s).

Denne rapport omfatter 56 lossepladser, hvoraf 7 har afstand 51-150 m fra overfladevand (A2), og 13 udleder til vandløb med en vandføring mellem 0-2 l/s (F1). 2 lossepladser har kategori A2, F1 (A2 = 51-150 m fra overfladevand, F1 = 0-2 l/sek) ligesom Losseplads Leby.

Denne losseplads er en af fire lossepladser, som er med i rapporten for at illustrerer udfordringer ved at sammenligne på tværs af lignende jordforureninger (se afsnit 5.3).



FIGUR 38. Lok.nr. 493-00002 Kommunal Losseplads Leby, Leby Landevej 9, 5985 Ærø (Region Syddanmark) (DMR, 2023)

Lokalitetens vigtigste karakteristika er:

- Lossepladsen var i drift i perioden 1970-1985 med deponering af dagrenovation, havesaffald og byggesaffald.
- 66 m til Skydsbæk, hvor der er målt forurening med PFOS og jern over de første 500 m af vandløbet.
- Skydsbæk starter i lossepladsen og den er rørlagt de første 500 m.
- Vandføring i Skydsbæk er på ca. 1,1 l/s
- Skydsbæk er fisketomt og har dårlig økologisk tilstand.
- Med det tykke lerlag under lossepladsen, er det sandsynligt, at perkolat vil samles oven på lerlaget og udstrømme direkte fra lossepladsen via et dræn, som udleder til Skydsbæk.
- I 1987 blev lossepladsen dækket med 1 m jord.

Mulig afværgelse

TABEL 40. Mulig afværgelse ved Lok.nr. 493-00002 Kommunal Losseplads Leby.

Mulig afværgelse	Kommentarer
Perkolat indsamling	Lossepladsen ligger ovenpå et tykt kvartært lerdække og derfor udgør forureningen en mindre risiko over for grundvand. Til gengæld er der ingen væsentlig øvre dæklag, så regnvand siver direkte ned igennem lossepladsen, hvor det danner perkolat, som derefter udsiver til Skydsbæk. Det, samt det mindre omfang af forureningen taler måske for en meget pragmatisk tilgang: Etablering af et perkolatindsamlingssystem, med efterfølgende monitoring og afskæring af dræn.

Dæklag og vertikal væg En kilde-indkapsling vil begrænse vandtransporten gennem fyldlaget fra lossepladsen. Forholdsvis billig løsning.

Manglende viden/vidensbehov

- Vidensgrundlaget for lossepladsen er ikke stort, med mange usikkerheder om den konceptuelle model især om de geologiske og hydrogeologiske forhold.

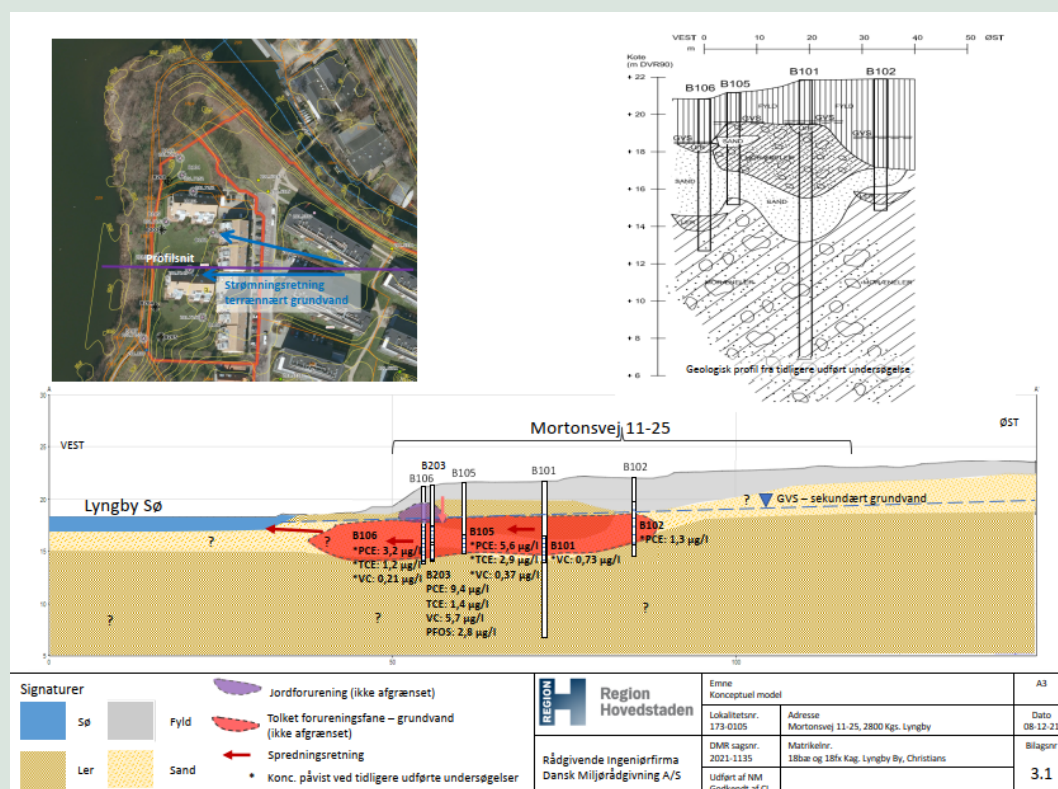
Konklusion på Kommunal Losseplads Leby (493-00002)

En typisk gammel losseplads med en mellemstor påvirkning af overfladevand. Vandløbet er lille og der er ikke langt til kysten, så gevinsten ved en oprydning vil være relativt beskeden. Her vil en oprydning forbedre forholdene i et vandløb med en længde på 1000 m i moderat tilstand. En afværgeindsats ved flere af de andre lokaliteter omtalt i denne rapport vil forbedre en længere vandløbsstrækning.

13.3.2 Eksempel II: Mortonsvej, Region Hovedstaden

Mortonsvej 11-25, 2800 Kgs. Lyngby (lok. nr. 173-00105) er et eksempel på en gammel industrigrund, hvor forureningen strømmer ud til en sø via det terrænnære grundvand.

Der er 8 jordforureninger, som påvirker en sø blandt rapportens 117 lokaliteter, hvoraf 3 er industrilokaliteter.



FIGUR 39. Mortonsvej 11-25, 2800 Kgs. Lyngby (173-00105)

De vigtigste oplysninger for Mortonsvej 11-25 er:

- Plastik- og gardinfabrik med driftsperiode fra 1905 til 1984.
- Forurening af grundvand med chlorerede opløsningsmidler (sum chlorerede er målt op til 49 µg/l) og PFOS (2.800 ng/l).

- Lokaliteten ligger 16 m fra Lyngby Sø. Søen har et areal på 57 ha, med et volumen på 940.000 m³.
- Geologien er moræneler med sandslirer. Forureningen strømmer til søen igennem et terrænnært sandlag.
- Risikoen for søen er primært PFOS med en koncentration i søen beregnet til at være 9,0 ng/l.
- Der er flere spildevandsrensaneanlæg, som også er kilder til forurening ved Lyngby Sø. Der ligger desuden flere andre lokaliteter i samme system. I indløb til Lyngby Sø (som er en del af Mølleåsystemet, er der målt en flux af PFAS på flere hundrede gram/år)

Bemærk at der ved rapportens udgivelse gennemføres nye feltundersøgelser ved lokaliteten, som endnu ikke er afrapporteret.

Mulig afværgе

TABEL 41. Mulig afværgе ved Mortonsvej 11-25, 2800 Kgs. Lyngby (173-00105)

Mulig afværgе	Kommentarer
Afgravning	Der er identificeret et hotspot-område på kildelokaliteten, hvor hovedparten af forureningsmassen ligger. Denne kunne opgraves eller opbores.
Kemisk fiksering	Det er muligt at fixere både PFOS og chlorerede opløsningsmidler med et aktivt stof (fx plumestop)
Afværgеpumpning og vandbehandling	Det kan overvejes at etablere afværgеpumpning i det terrænnære sand for at forhindre yderligere spredning af forureningen til søen

Manglende viden/vidensbehov

Der mangler vandprøver fra selve søen for at kvalificere det nuværende estimat af forureningskoncentrationen, som er baseret på forureningsfluxen i grundvand.

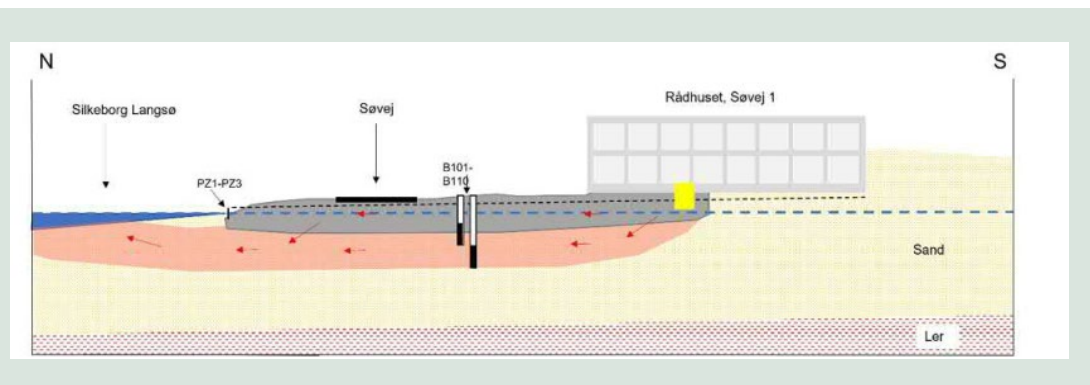
Det er desuden vurderet, at lokalitetens forureningsbidrag er ubetydelig i forhold til de andre kilders bidrag til Lyngby Sø. Dette bør undersøges nærmere.

Konklusion på Mortonsvej 11-25, 2800 Kgs. Lyngby (173-00105)

Øget forståelse af de forskellige PFAS-kilder ved søen og deres relative betydning vil bidrage til at afgøre, om det er hensigtsmæssigt at anvende ressourcer på afværgеforanstaltninger på lokaliteten.

13.3.3 Eksempel III: Søvej 1, Region Midtjylland

Søvej 1, 8600 Silkeborg (lok. nr. 743-00012) er en af de 3 industrilokaliteter, som udgør en risiko for en sø.



FIGUR 40. Søvej 1, 8600 Silkeborg (743-00012)

- Gasværk med en driftsperiode på 1856-1968.
- Grundvandsforurening ved kilden med koncentrationer af 29,7 µg/l phenol, 130 µg/l xylene, 130 µg/l benzen, 480 µg/l naphthalen, 3400 µg/l cyanid, og 1200 µg/l C6-C35.
- I undersøgelsesrapporten fra 1988 beskrives et udbredt drænsystem under rådhuset med udledning til søen via regnvandsledning.

Mulig afværge

En afværgeindsats ved Søvej 1 kan først tilrettelægges efter videregående feltundersøgelser for at afklare forureningsforholdet ved lokaliteten. Mulig afværge besværliggøres af, at forureningen ligger under rådhuset. Der burde undersøges om DNAPL forureningen er sunket ned til de dybere grundvandslag.

TABEL 42. Mulig afværge ved Søvej 1, 8600 Silkeborg (743-00012)

Mulig afværge	Kommentarer
Modificeret sediment-afdækning	Der er ikke meget plads ved lokaliteten, men det kan overvejes at installere en modificeret sedimentafdækning på søbunden.
Permeabel reaktiv væg	Direkte injektion af et aktivt stof til enten at absorbere eller fremme en mikrobiologisk nedbrydning af forureningen før den når søen.
Afværgepumpning og vandbehandling	Det kan overvejes at etablere afværgepumpning i det terrænnære sand for at forhindre yderligere spredning af forureningen
ISCO	Et aktivt stof injiceres på kanten af søen. Der skal være opmærksomhed på at den meget reaktive oxidant ikke flyder ind i søen.

Manglende viden/vidensbehov

- Ingen målinger i søen
- Forureningen er ikke afgrænset vertikalt (eller horisontalt). Det er ret væsentligt, da dele af forureningen er DNAPL og kan forventes at synke til bunden af akviferen.
- Udstrømningszonen er ikke kortlagt ved søen.
- Søens bundsediment skal undersøges for forurening.

Konklusion på Søvej 1, 8600 Silkeborg (743-00012)

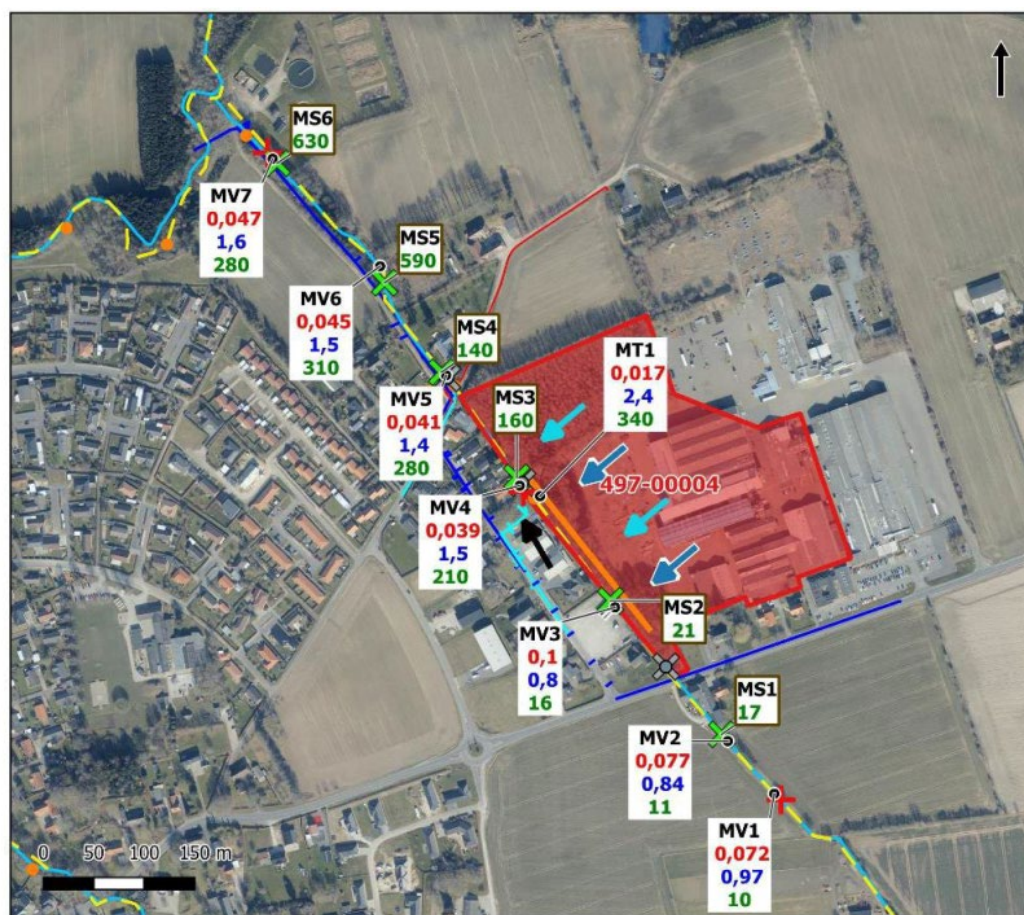
Der er en betydelig forureningshændelse med en væsentlig påvirkning af Silkeborg Langsø, som løber ud i Gudenåen. På nuværende tidspunkt er indvirkningen på søen ikke tilstrækkeligt belyst, da der endnu ikke er udført målinger. Det vil være det første skridt før overvejelser om eventuelle afværgeforanstaltninger.

13.3.4 Eksempel IV: Maskinfabrikken Ferritslev Jernvarefabrik A/S ved Nyborgvej 29, Ferritslev

Maskinfabrikken Ferritslev Jernvarefabrik A/S ved Nyborgvej 29, Ferritslev (lok. nr. 497-00004) er et eksempel på en forurening ved et mindre vandløb med en lille vandføring og høje forureningskoncentrationer.

Blandt de 117 lokaliteter med en konstateret forurening af et vandløb, er der få lokaliteter (18 stk.) som ikke er lossepladser, hvor der er en lav vandføring (<2 l/s), hvoraf maskinfabrikken Ferritslev Jernvarefabrik er blandt dem.

Ferritslev Jernvarefabrik sammenlignes i afsnit 5.3 med en anden metalvarefabrik (Raadvad Knivfabrik, se afsnit 13.5.1).



Signaturforklaring

 Aktuell lokalitet	 Udstrømningszone
 V1-kortlagt	 Vandprøve
 V2-kortlagt	(MV - Vandprøve i vandløb, MT - Vandprøve fra tilløb, MR - Vandprøve fra rør)
→ Strømningsretning, sekundært magasin	● Tidligere udtaget vandprøve
→ Strømningsretning, terrænnært grundvand	X Sedimentprøve (MS)
→ Strømningsretning, Vandløb	X Tidligere udtaget sedimentprøve
— Vandløb	+ Vandføringsmåling (VFM)
— Målsat vandløb	— Kloakledning, spildevand
● Regnvandsbetinget - udløb	— Kloakledning, regnvand
	— Kloakledning, fælles/ukendt

Påvist indhold i vand [µg/l]

XX	Cadmium
XX	Kobber
XX	Zink

Påvist indhold i sediment [mg/kg TS]

XX	Zink
---------------------------------------	------

FIGUR 41. Nyborgvej 29, Ferritslev (497-00004).

Karakteristika:

- Ferritslev Jernvarefabrik A/S blev etableret på Nyborgvej 29, Ferritslev i 1943, og virksomheden har været maskinfabrik siden.
- Virksomheden ligger lige op ad Stokbæk Å (0 m), som har en vandføring på 1,07 l/s nedstrøms lokaliteten. 500 m nedstrøms lokaliteten udløber Stokbæk Å i Vindinge Å, som har ringe økologisk tilstand.
- Lokaliteten udgør en risiko for Stokbæk Å, pba. målte koncentrationer af tungmetaller, især zink, over grænseværdien (overskridelsesfaktor på 44 nedstrøms lokaliteten). Der er beregnet en flux af zink på 9,4 kg/år nedstrøms lokaliteten.
- Der er en mindre overskridelse af sedimentgrænseværdien for zink ved Stokbæk Å (630 mg/kg TS, med en grænseværdi på 500 mg/kg TS).
- Ved lokaliteten er der konstateret meget høje grundvandskoncentrationer af zink i det sekundære grundvandsmagasin på op til 12.000 mg/l. Sediment-koncentrationer af

zink ved lokaliteten er op til 20.000-60.000 mg/kg TS med høje zink koncentrationer op til 10 m under terræn.

- Tidligere undersøgelser fra 2017 viste høje koncentrationer i overfladevand (183 µg/l) og en høj flux af chlorerede opløsningsmidler i grundvandet (202 kg/år). Ved den seneste undersøgelse fra 2022 blev der ikke påvist chlorerede opløsningsmidler over grænseværdien i grundvandet.
- Lokaliteten underlejres af 9 m moræneler, som ligger oven på et sekundært grundvandsmagasin af smeltevandssand, med en hældning mod Stokbæk Å. Den primære transportvej er igennem terrænnært fyld, det øvre lerdæklag og det sekundære grundvandsmagasin.

Mulig afværgе

TABEL 43. Mulig afværgе ved Nyborgvej 29, Ferritslev (497-00004)

Mulig afværgе	Kommentarer
Dæklag eller spunsvæg	En indkapsling kunne være det første tiltag, for at forhindre udsivning til vandløbet.
Afgravning	Afgravning bliver ofte anvendt til at fjerne en tungmetalforurening, men besværliggøres ved at Ferritslev Jernvarefabrik er en stor igangværende virksomhed hvor forureningen ligger under bygninger og at forureningen er spredt i dybden.
Afværgепumpning	Afværgепumpning i det terrænnære grundvand
In-situ kemisk fiksering	En alternativ løsning til afgravning, som søger at immobilisere forureningen ved kilden.
Dredging	En indsats for at fjerne sediment-forurening ved Stokbæk å.

Manglende viden/vidensbehov

- De seneste feltundersøgelser fra 2022 bestod i vandprøver fra Stokbæk Å. Ved denne målerunde kunne de høje koncentrationer af chlorerede opløsningsmidler, som blev målt i 2017, ikke bekræftes. Da der ikke forekommer en forklaring for den tidlige udvikling af forureningen ved lokaliteten, bør det undersøges yderligere, hvorvidt indholdene kan genfindes eller ej. Især da det ikke blev målt i grundvandet på lokaliteten ved den seneste målekampagne i 2022.
- På trods af ret omfattende undersøgelser af lokaliteten vil en afværgе kræve yderlige kortlægning af størrelsen og udbredelsen af jordforureningen.

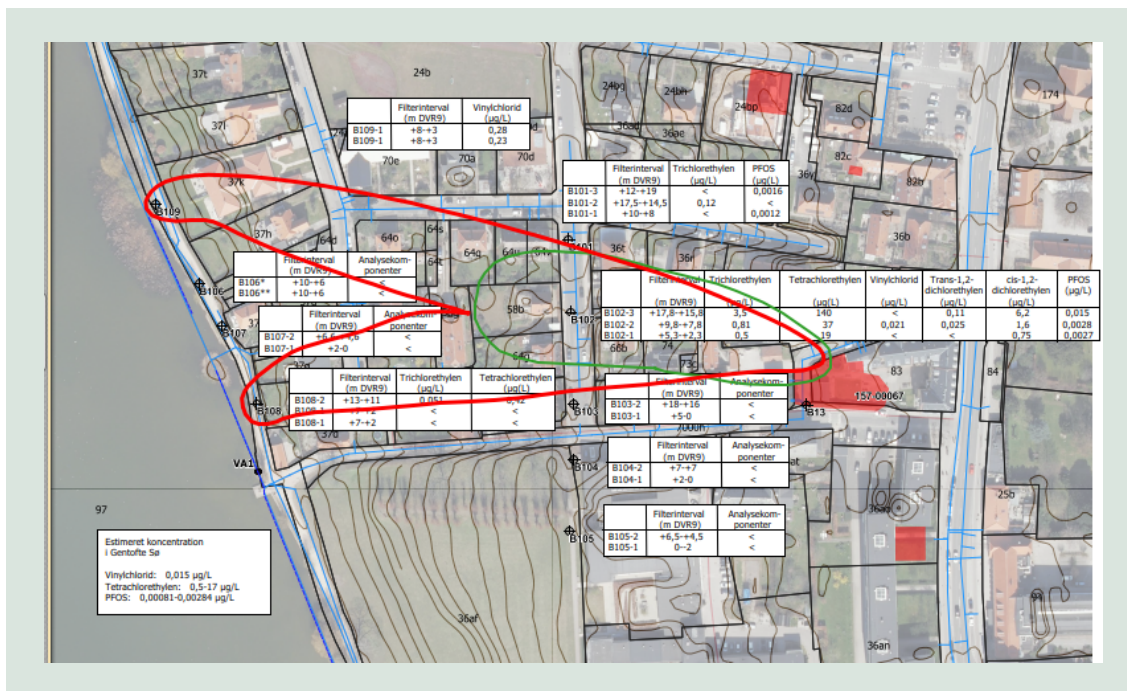
Konklusion på Nyborgvej 29, Ferritslev (497-00004)

Maskinfabrikken på Nyborgvej 29, Ferritslev er en væsentlig kilde til forurening og påvirker vandkvaliteten i Stokbæk Å. En afværgеindsats bør fokusere på zink ved denne forureningskilde og anvende velkendte metoder til at håndtere tungmetalforureninger. Afværgеindsatsen kompliceres af, at Ferritslev Jernvarefabrik er en stor virksomhed med 242 medarbejdere og en omfattende produktionsfacilitet.

13.4 Jordforureninger med stor afstand til overfladevand

13.4.1 Eksempel: Gentoftegade 32

Gentoftegade 32/Mitchellsstræde 8, Region Hovedstaden (lok. nr. 157-00067) er et eksempel på en lokalitet, hvor der er blevet gennemført en afværgе af kilden, men hvor der er en nedstrøms forureningsfane, som udgør en risiko for overfladevandet. Den har kategori A3, F1 (afstand til overfladevand >150 m, vandføring <2 l/s).



FIGUR 42. Lok.nr. 157-00067 Gentoftegade 32/Mitchellsstræde 8, 2820 Gentofte

- Kilden er fjernet i 2003 ved bortgravning og kemisk reduktion ved brug af kaliumpermanganat
- PFAS og chlorerede opløsningsmidler målt ved det 100 m breddede udløb af forureningsfanen til Gentofte Sø, 213 m fra jordforureningen. Koncentrationerne ligger omkring grænseværdien, og derfor kan en påvirkning af vandkvaliteten i overfladevand ikke udelukkes.
- Der er endnu ikke foretaget afværge af fanen.
- Grundvandets strømningshastighed vurderes at være 3,1 m/år. Med en afstand på 213 m fra forureningskilden, vil fanen påvirke søen i mange år endnu.

Mulig afværge

En af de største udfordringer ved afværgeindsatser er kravene til at inddæmme hele forureningsfanen uden at påvirke overfladevandet. På trods af den betydelige afstand mellem jordforureningen og overfladevandet, skal afværgeindsatsen stadig gennemføres så tæt på overfladevandet som muligt, hvis det ønskes at indfange hele forureningsfanen og stopper påvirkning af overfladevandet hurtigt. En udfordring er, at teknologier typisk anvendt mod forureningsfaner, såsom oppumpning og behandling af grundvand, ofte er uegnede, da disse metoder kan påvirke overfladevandet negativt.

TABEL 44. Mulig afværge ved 157-00067 Gentoftegade 32/Mitchellsstræde 8, 2820 Gentofte.

Mulig afværge	Kommentarer
Afværgepumpning og vandbehandling	Det kan overvejes at etablere afværgepumpning i det terrænnære sand for at forhindre yderligere spredning af forureningen. Der kan være udfordringer ift. påvirkning af søen
Permeabel reaktiv væg	Forureningen ligger ret dybt (>20 m under terræn), som vil gøre at teknikker som permeabel reaktiv væg bliver svære at implementere.

Manglende viden/vidensbehov

- Udbredelsen af fanen er ikke kortlagt
- Forureningsfanen er afhængig af stoffernes mobilitet, og det skal tages i betragtning.

- Forureningsfanen er ikke afgrænset vertikalt tæt på kildegrunden, og burde kortlægges yderligere. Chlorerede opløsningsmidler er målt ned til det sekundære grundvandsmagasin, som ligger ca. 20 m under terræn.

Konklusion på Gentoftegade 32/Mitchellsstræde 8, 2820 Gentofte (157-00067)

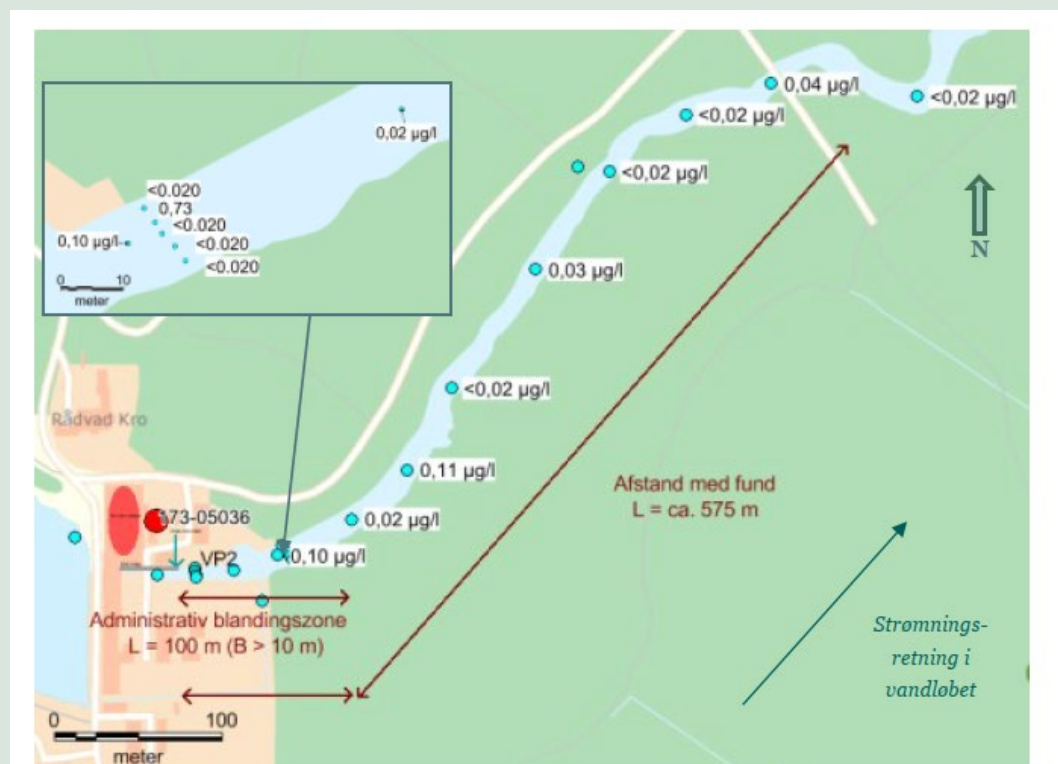
Lokaliteten er interessant, da det illustrerer hvordan en forureningsfane fra en jordforurening som blev oprenset i 2003, kan påvirke søen i mange år endnu.

13.5 Stor vandføring (og industrigrund ved vandløb)

13.5.1 Eksempel: Raadvad knivfabrik, Region Hovedstaden

Raadvad Knivfabrik (lok. nr. 173-05036) er en metalvarefabrik, der ligger ved Mølleåen, og som har den 5. største vandføring i datasættet. Det er en af 11 lokaliteter forurenet med chlorerede opløsningsmidler. Lokaliteten illustrerer vandføringens betydning for en risikovurdering.

Raadvad Knivfabrik sammenlignes i afsnit 5.3 med en anden metalvarefabrik (Ferritslev Jernvarefabrik, se afsnit 13.3.4).



FIGUR 43. Raadvad knivfabrik (173-05036)

Lokalitetens vigtigste oplysninger er:

- Tidligere metalvarefabrik.
- Hotspottet ligger under en fredet bygning.
- Chlorerede opløsningsmidler i grundvand ved kilden: 2.500 µg/l
- Lokaliteten ligger ved Mølleåen, som har en vandføring på måletidspunktet på 372 l/s. Det skal bemærkes, at denne vandføring er større end den estimerede medianminimumsvandføring på 80,4 l/s.

Mulig afværg

Da jordforureningen er forholdsvis afgrænset, og der ingen afstand er til overfladevand, er det oplagt af igangsætte en oprensning af kilden. Valget af afværgemetode er begrænset ved at hotspot ligger under en fredet bygning.

TABEL 45. Mulig afværg ved Raadvad Knivfabrik (173-05036)

Mulig afværg	Kommentarer
Stimulated reductive de-chlorination	Kan foretages under bygningen ved injektion af aktivt stof.
Termisk oprensning	Det er muligt at udføre i hotspots under bygning.
Fixation	Injektion af en sorbent som plumefix kan forhindre udsivning, så koncentrationen kommer under grænseværdien ved Mølleåen.
Andre metoder til kildefjernelsen	Da indsatsen skal omhandle fjernelse af hotspot, er det de konkrete adgangsforhold samt geologien af kildeområdet, der kan afgøre valg af metode

Manglende viden/vidensbehov

- Mangler kildekarakterisering.

Konklusion på Raadvad knivfabrik (173-05036)

Der er tale om en kraftig forurening, ved et stort vandløb. På grund af den store vandføring, er overskridelsen af grænseværdien beskeden. Vinyl chlorid er et flygtigt stof, hvorfor det forventes at koncentrationen falder over en relativt kort afstand nedstrøms. Det skal vurderes om en indsats vil gøre en forskel for vandkvaliteten i Mølleåen, som er påvirket af flere andre kilder i vandsystemet.

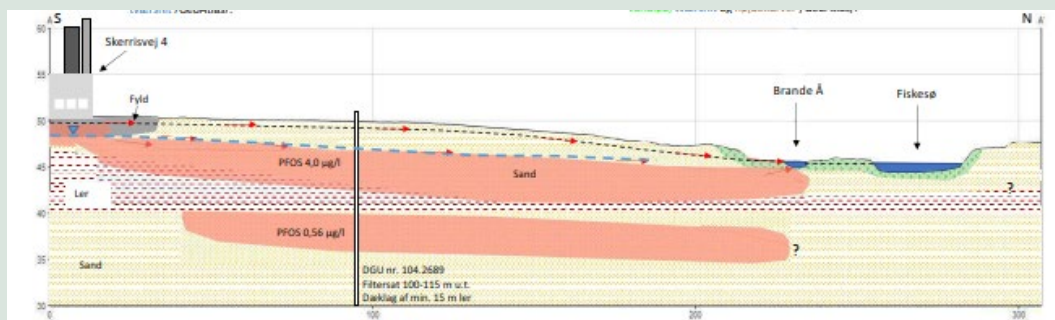
13.6 Tvivl om forureningsoprindelse

13.6.1 Eksempel: Skerrisvej 4, Brande

Skerrisvej 4, Brande (653-90088) er en af de 50 type 2 lokaliteter, hvor det vurderes, at lokaliteten er delvis årsag til forureningen ved det nærliggende overfladevand. Skerrisvej 4 er en af 20 kortlagte lokaliteter inden for en kvadratkilometer omkring Brande Å. Det er derfor svært at afgøre nøjagtig, hvor forureningen i åen stammer fra.

I mange tilfælde konstateres forurening med PFAS i et vandløb uden, at det er muligt at kunne henføre det til en kendt kilde. Ud over Skerrisvej 4 er andre eksempler Laurits Olsens Vej 1, Hvidovre (167-00004) og Hvidsværmervej 156, Rødovre (175-30578).

Her uddyber vi problematikken ved at kigge nærmere på Skerrisvej 4.



FIGUR 44. Skerriavej 4, Brande (653-90088)

Karakteristika:

- Ved Skerriavej 4, Brande er der foregået farvning af tekstiler, tryk og imprægnering af tekstiler, oplagring af kemikalier og affald, tanke, værksted og garage samt varmecentral mellem 1974 og 2005.
- Der er målt PFOS i grundvandet i koncentrationer på op til 1,5 µg/l og PFOA på op til 0,42 µg/l i grundvandet 1-3 m u.t. ved lokaliteten.
- Vandprøvetagning i Brande Å viser en stigning af PFOS koncentrationer fra 0,35 ng/l opstrøms til 0,88 ng/l ved lokaliteten, som er lige over grænseværdien på 0,65 ng/l.
- Der er målt PFAS22 i det terrænnære grundvand ved Skerriavej 4 på op til 780 ng/l, som ligger ca. 60 m fra vandløbet.
- Forureningen strømmer via det sekundære sandmagasin til Brande Å. Det primære grundvandsmagasin ligger ca. 100 m under terræn.
- Skerriavej 4 er en af 20 kortlagte lokaliteter på V1 eller V2 niveau inden for en kvadratkilometer. Det er derfor ikke indlysende, om den observerede forurening kun stammer fra Skerriavej 4 eller de andre kortlagte grunde også bidrager til fundene i Brande Å.

Mulig afværg

På nuværende tidspunkt er der kun en meget beskeden overskridelse af grænseværdierne i Brande Å. Der måles meget høje grundvandskoncentrationer af PFOS på Skerriavej 4. Det kan ikke afvises, at forureningen endnu ikke har nået sit gennembrudsmaksimum til vandløbet. Derfor er en oprensning af jordforureningen på selve lokaliteten oplagt. Dette skal ses i lyset af, at Brande Å i dag har en god økologisk tilstand, og at en afværgeindsats vil kunne beskytte denne status for det mere end 50 km lange vandløb. Med en afstand på 140 meter til vandløbet er der også god mulighed for at afværge en eventuel forureningsfane.

Der er begrænsede erfaringer med feltimplementering af afværgeteknologier i forhold til PFAS forurening. De mest afprøvede teknikker er enten oppumpning/vandbehandling eller fiksering af PFAS til jorden uden at nedbryde det (ITRC, 2023).

TABEL 46. Mulig afværg ved Skerriavej 4, Brande (653-90088)

Mulig afværg	Kommentarer
--------------	-------------

Oppumpning/vandbehandling	Fjerner PFAS ved at oppumpe grundvandet med efterfølgende vandbehandling. Denne tilgang udfordres ved, at grænseværdien for PFAS i forhold til udledning af det rensede vand er meget lav, hvilket kræver en effektiv rensning. Derudover vil der være tale om et nærmest permanent behov for afværgе, så længe kilden ikke fjernes
In-situ kemisk fiksering	Fiksering foregår ved at injicere et tilsætningsstof i kildezonen, som er stærk sorberende, fx. aktivt kul eller aktivt kul med tilsat aluminium hydroxid eller kaolin.
Permeabel reaktiv væg	Direkte injektion af fx. aktivt kul, se eksemplet om Haugesund Lufthavn, Norge ved afsnit 12.3.2.
Jordvask af opgravet jord	Rense jorden med vand med tilsætningsstoffer som surfactant eller et opløsningsmiddel.
Termisk oprensning af kilden	Der er på nuværende tidspunkt lovende resultater for termisk oprensning af PFAS forurenet jord

Manglende viden/vidensbehov

For at igangsætte en afværgе, er der behov for at den indledende forureningsundersøgelse fra 2019 suppleres, for at kortlægge forureningskilden.

Der er et behov for at få undersøgt de andre jordforureninger ved Brande Å i forhold til PFAS med henblik på at kunne identificere en eller flere kilder til de påviste fund med PFAS i Brande Å. Inspiration til dette kan hentes ved Petersmindevej 5 (lok. nr. 715-00053), hvor sammen-sætningen af de forskellige PFAS komponenter er blevet anvendt til at identificere forureningskilden.

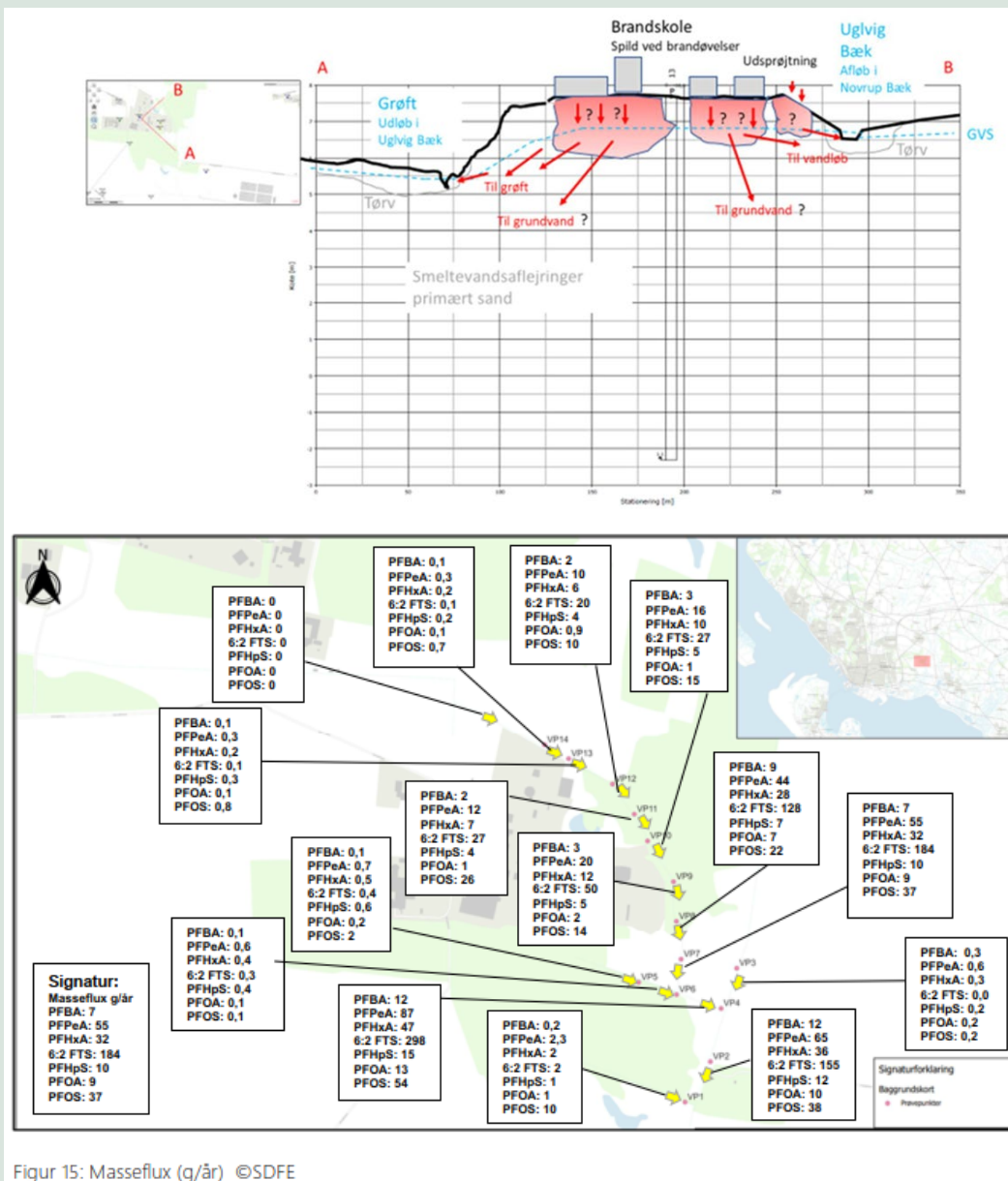
Konklusion på Skerriavej 4, Brande (653-90088)

Det er usikkert, hvorvidt forureningen på lokaliteten har nået fuldt gennembrud til vandløbet, da koncentrationerne i vandløbet er lave i forhold til de høje koncentrationer, der er konstateret på lokaliteten, hvilket også skal ses i sammenhæng med, at lokaliteten ligger forholdsvis tæt på vandløbet. Derfor kan en afværgеindsats ved at fjerne forureningen på selve lokaliteten være en mulighed for dermed at hindre spredning af høje koncentrationer til vandløbet. Det skal bemærkes, at koncentrationerne påvist i Brande Å kun lige er over grænseværdien, men at vandføringen samtidig er stor. Brande Å er et stort vandløb, som i dag har en god økologisk tilstand. Desuden er der et 52 km vandløb nedstrøms fra Skerriavej 4. Udfordringen er dog, at der langs Brande Å ligger 19 kortlagte lokaliteter, som også kan være potentielle kilder til de påviste indhold af PFAS i vandløbet.

13.7 PFAS

13.7.1 Eksempel I: Esbjerg Brandskole

Denne rapport beskriver to eksempler på en PFAS jordforurening ved en brandøvelsesplads. Esbjerg Brandskole, Uglvigårdssvej 3, 6705 Esbjerg (lok. nr. 561-99023) er den første.



FIGUR 45. Esbjerg Brandskole, Uglvigårdssvej 3, 6705 Esbjerg (Lok. nr. 561-99023)

Karakteristika:

- Lokalteteten er blevet anvendt til brandøvelser siden 1968.
- Det er estimeret, at der er anvendt 1.500 kg PFOS og 870 kg 6:2 FTS på lokaliteteten mellem 1970-2019. PFOS blev udfaset efter 2005 og erstattet med 6:2 FTS.
- Der er målt op til 17.000 µg/kg PFAS i jorden på lokaliteteten, primært 6:2 FTS (en hovedkomponent i 3M Light Water AFFF).
- Brandøvelsespladsen ligger ved siden af Uglvig Bæk, hvor der er en målt vandføring på 3,8 l/s, svarende til en medianminimums vandføring.
- Der er målt op til 7.300 ng/l sum PFAS22 ved Uglvig Bæk, hvoraf 1.600 ng/l var 6:2 FTS og 290 ng/l PFOS.
- Massefluxen af PFAS22 ved Uglvig Bæk er estimeret til at være 541 g/år.
- Der er et godt kendskab til den historiske udvikling i brug af forskellige PFAS-komponenter i brandslukningsskum samt analyser for dem ved lokaliteteten og i vandløbet.
- Geologien består af ca. 25 m sand, med et tyndt (1 m) tørvelag under vandløbene.

Mulig afværg

Der er akut brug for en indsats målrettet vandløbet på grund af den høje flux med 541 g/år PFAS22. Da geologien under lokaliteten består af sand, er det sandsynligt, at det meste af forureningen har spredt sig i et stort omfang, herunder til de nærliggende vandløb, og til det dybere grundvand og sydpå med udløb til Vadehavet.

En feltkampagne bør igangsættes for at kortlægge forureningsfanen og dens sandsynlige udløb ved Vadehavet og Uglvig Bæk.

TABEL 47. Mulig afværg ved Esbjerg Brandskole, Uglvigårdsvvej 3, 6705 Esbjerg (lok. nr. 561-99023)

Mulig afværg	Kommentarer
Modificerede sediment-afdækninger	Kan bruges til at fjerne PFAS i Uglvig Bæk.
Permeabel reaktiv væg	Forhindre udsivning af stof til overfladevand.
Oppumpning/vandbehandling	En kortlægning af forureningsfanen kan afgøre om der bør igangsættes en afværg for at forhindre en spredning af forureningen igennem grundvandet.
Fytoremediation	Kan anvendes mod jordforurening (Nopens & Van Cauwenberg, 2025).

Manglende viden/vidensbehov

Da lokaliteten ligger på et tykt sandlag, kunne der være mistanke om, at en del af forureningen har spredt sig vertikalt mod det dybere grundvand, som løber syd mod Vadehavet (6,5 km). Dette burde undersøges.

Konklusion på Esbjerg Brandskole, Uglvigårdsvvej 3, 6705 Esbjerg (lok. nr. 561-99023)

Undersøgelser for at kortlægge forureningsfanen og dens sandsynlige udløb ved Vadehavet bør igangsættes. Her er den kraftige forureningsflux til Uglvig Bæk bemærkelsesværdig, da den udløber ved Vadehavet National Park.

13.7.2 Eksempel II: Kuwait Petroleum

Kuwait Petroleum – Gulf Raffinaderiets brandøvelsesplads, Holtengårdsvej 25, 4230 Skælskør, Slagelse (lok. nr. 331-00014) er et andet eksempel på en PFAS jordforurening ved en brandøvelsesplads. Holtengårdsvej 25 er den jordforurening i denne rapport, som ligger længst fra overfladevand med en afstand på 700 m.



FIGUR 46. Kuwait Petroleum – Gulf Raffinaderiets brandøvelsesplads, Holtengårdsvej 25, 4230 Skælskør, Slagelse (lok. nr. 331-00014)

Karakteristika:

- Tidligere brandøvelsesplads ved et raffinaderi (1964-1997).
- Det målsatte overfladevand er Agersø Sund, som forureningen udgør en risiko overfor via en ikke målsat grøft og dræn fra lokaliteten med lav vandføring, delvis tørt.
- Kilden er endnu ikke kortlagt.
- Forureningen består primært af 4 PFAS-stoffer (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) i koncentrationer på op til 12.100 ng/l.
- På grund af den lave vandstrømning er det ikke muligt at bestemme massefluxen til Agersø Sund.
- På grund af manglende oplysninger vises ikke en opsummeringstabel for denne lokalitet.

Mulig afværgelse

I dag foregår der undersøgelser af lokaliteten som endnu ikke er kortlagt. Et bedre datagrundlag i forhold til kilden, transportveje og fanen er nødvendigt for at pege på gode afværgeløsningsmuligheder.

TABEL 48. Mulig afværgе ved Kuwait Petroleum – Gulf Raffinaderiets brandøvelsesplads, Holtengårdsvej 25, 4230 Skælskør, Slagelse (Lok. nr. 331-00014)

Mulig afværgе	Kommentarer
Afgravning	En kortlægning af jordforureningen er nødvendig for at afdække mulighederne for afgravning.
Dæklag og vertikal væg	En kildeindkapsling kunne blive relevant, hvis en fremtidig kortlægning viser at transporten fra kilden kan begrænses indtil en evt. afværgеindsats.
Hydraulisk kontrol og vandbehandling	Da der er en meget lav vandføring ved grunden, kunne oppumpning og vandrensning overvejes.
Kemisk fiksering	Oplagt mulighed da der ikke forekommer overfladeafstrømning, da lokaliteten er flad og lokaliteten er underlagt af et tyk lerlag
Fytoremediation	Kan anvendes mod jordforurening (Nopens & Van Cauwenberg, 2025).

Manglende viden/vidensbehov

Forureningssituationen på lokalitet er dårligt belyst, da der ikke er foretaget en egentlig undersøgelse af lokaliteten. Grøften og Maderenden er den primære transportvej til Agersø Sund. Da kildekonzentrationserne er meget høje, kan en videre forureningsundersøgelse anbefales.

- Da grøften ved pladsen var delvist tørlagt på prøvetagningsdagen både op og nedstrøms, er der brug for en opfølgende feltundersøgelse af overfladevandet.
- Kommunen har fundet PFAS i høje koncentrationer (460 ng/l) i vandprøver opstrøms brandøvelsespladsen. Kilden til forureningen er endnu ikke kortlagt og det burde undersøges nærmere.
- Det må formodes at der af strømmer forurening i dræn ved grunden. Der er dræn uden om selve lokaliteten, men der mangler oplysninger om deres placering og vandføringen i dem.
- Der er mange borer på lokaliteten, men de er ikke digitaliseret, og der er heller ikke blevet foretaget grundvandspejlinger eller taget grundvandsprøver.

Konklusion på Kuwait Petroleum

Det er nødvendigt at afklare om de meget høje koncentrationer i kildeområdet kan give anledning til spredning af forureningen til Agersø Sund via grøften.

13.8 Pesticidforurening

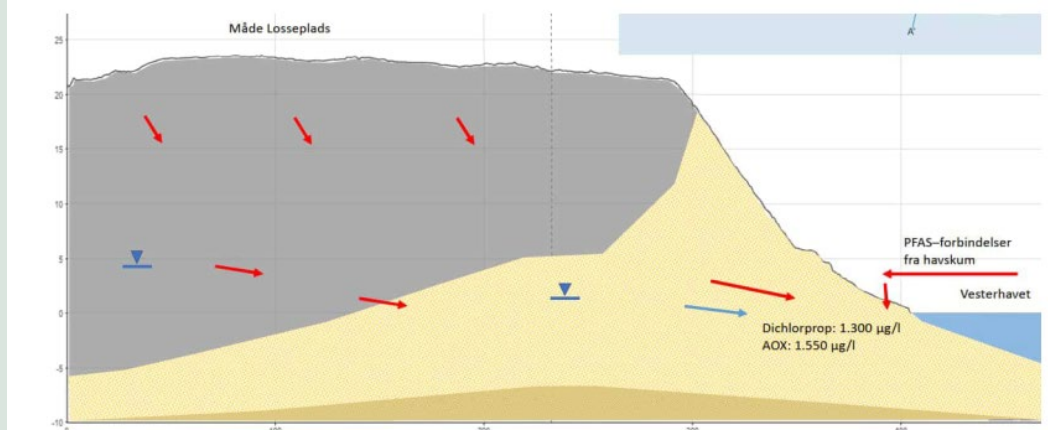
13.8.1 Eksempel: Måde Losseplads

Måde Losseplads, Mådevej 113C, 91C og 93, 6705 Esbjerg Ø (lok. nr. 561-00201) er et eksempel på en markant pesticidforurening fra en losseplads. Denne rapport omfatter 12 pesticidforureninger, hvoraf 6 vurderes til at være den primære årsag til forurening af overfladevand.

Denne losseplads er en af fire lossepladser, som er med i rapporten for at illustrerer udfordringer ved at sammenligne på tværs af lignende jordforureninger (se afsnit 5.3).



#6 Kørevej mellem lokalitet og overfladevand, set mod vest.



FIGUR 47. Mådevej 113C, 91C og 93, 6705 Esbjerg Ø (561-00201)

Karakteristika:

- Losseplads, med ukontrolleret deponi, 1969-1986.
- Lossepladsperkolat udsiver til Vesterhavet, som ligger 30 m fra lossepladsen.
- Der er målt arsen, kulbrinter, sum af pesticider, PFAS, PFOS, ammoniak+ammonium-N, organisk kulstof og NVOC ved lossepladsen.
- Der er estimeret en årlig flux af sum pesticider på 12,7 kg, med målte grundvandskoncentrationer op til 2.400 µg/l. Det vurderes at koncentrationen af pesticider i Vesterhavet er 1,3 µg/l. Ved lossepladsen er det højeste målte pesticid 4-CPP med koncentrationer op til 2.200 µg/l.
- Andre betydende forureninger er PFAS med en flux på 13 g/år og grundvandskoncentrationer af PFAS22 på op til 0,82 µg/l. Det vurderes at der er risiko for at PFAS opkoncentreres i havskum ved Vesterhavet.
- Lossepladsen er etableret i en tidligere lergrav og affaldet ligger direkte oven på smeltvandssandet, som har direkte kontakt til Vesterhavet.

Mulig afværgе

TABEL 49. Mulig afværgе ved Mådevej 113C, 91C og 93, 6705 Esbjerg Ø (561-00201)

Mulig afværgе	Kommentarer
Perkolatopsamling og indkapsling	Vandføring igennem lossepladsen burde minimeres og et perkolatopsamlings-system etableres.
Dækklag over lossepladsen	Etablering af et dækklag vil nedbringe udsivning af perkolat.

Manglende viden/vidensbehov

- Der er ikke sat grænseværdier for alle relevante pesticider i overfladevand. Her anvendes i stedet grænseværdierne i grundvand for enkelt pesticider.
- Det skal bemærkes at regionerne kun har analyseret for de pesticider, som er omfattet af den gamle standardpakke.
- Der er kun blevet målt chlorid og natrium i Vesterhavet.

Konklusion på Mådevej 113C, 91C og 93, 6705 Esbjerg Ø (561-00201)

En typisk ukontrolleret ældre losseplads med en betydelig udsivning af pesticider, losseplads-perkolat og PFOS til Vesterhavet. Fortynding i Vesterhavet betyder, at påvirkningen er lille. Da lossepladsen ligger lige op til et Natura 2000 område, og da klassiske tiltag som indkapsling og perkolatindsamling kan iværksættes, er en sådan indsats oplagt. En beslutning om afværgе kræver en bedre forståelse af forureningssituationen. Fx er der ikke udtaget havvandsprøver ude for lokaliteten, så problemets omfang er stadig ikke fuldt belyst.

Afværge af jordforureninger der truer overfladevand

Formålet med projektet er at beskrive en strategi for regionernes videre indsats på lokaliteter, hvor det er konstateret, at jordforurening kan påvirke nærliggende overfladevand.

Rapporten identificerer de mest udbredte typer af forurening, der påvirker overfladevand og præsenterer en række konkrete eksempler på typiske lokaliteter. Egnede afværgeteknologier til oprydning af jordforurening, som påvirker overfladevand, identificeres.

Rapporten fremlægger forslag til vurderingskriterier, der kan anvendes til at målrette den videre indsats for jordforurening, som påvirker overfladevand. Processen understøtter og bygger videre på den systematiske tilgang som Regionerne allerede anvender over for overfladevandstruende jordforureninger. Et centralt element i den videre indsats er behovet for supplerende undersøgelser for at identificere de forureninger, hvor en afværgeindsats vil gøre størst gavn for miljøet.



Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35
5000 Odense C

www.mst.dk