

Til: Miljøstyrelsen
Fra: GEUS og DTU Miljø

J.nr. GEUS: 200-0017
Ref. GEUS: CLKJ
Ref. DTU: PLBJ, PEKJ og HANA

04.12.2020

Vurdering af mulig udvaskning fra nedgravningsområder for mink

Sammenfatning

Dette notat beskriver resultaterne af et litteraturstudie, der er gennemført som et samarbejde mellem GEUS og DTU Miljø. Formålet med studiet har været på et overordnet plan at beskrive de processer, der kan tænkes at forekomme i et nedgravningsområde for mink – og hvilke stoffer, bakterier og vira der potentielt kan udgøre en risiko for overfladevand og grundvand. Der er desuden foretaget en overordnet vurdering af de geologiske og hydrogeologiske forhold ved de aktuelle nedgravningsområder i Danmark.

Overordnet kan det konkluderes, at der fra nedgravningsområderne vil dannes en perkolatfane. Redoxforholdene i perkolatfanen vil være reducerende, og fanen vil have en relativt høj densitet i forhold til grundvandet i området. Det vurderes, at der i perkolatfanen vil være forhøjede koncentrationer af uorganiske stoffer som ammonium og evt. fosfor samt et generelt forhøjet indhold af organisk stof. Derudover vil der potentielt også findes miljøfremmede stoffer (f.eks. antibiotika) samt vira og bakterier – herunder også coronavirus Sars-CoV-2. Det vurderes dog sandsynligt, at vira, der udvasker fra nedgravningsområderne, i overvejende grad – herunder også Sars-CoV-2- ikke længere er virulente, hvilket vil sige, at de ikke længere kan smitte. På baggrund af den detaljerede gennemgang af litteraturen omkring perkolat fra begravede dyrebesætninger og øvrig litteratur fra lossepladsstudier gives anbefalinger til en række stoffer, der kan indgå i et monitoringsprogram ved nedgravningsområderne.

På baggrund af skønsmæssige beregninger vurderes det sandsynligt, at væske, der dannes i gravene, kan udvaske til grundvandet lige under gravene inden for relativt kort tid (dage til måneder). I selve grundvandszonen vil transporten være langsommere. Grundvandets strømningshastighed vurderes således til at være 40-125 m/år og nogenlunde ens i de to nedgravningsområder.

Infiltrerende regnvand kan øge infiltration fra nedgravningsområderne. Det anbefales derfor, at områderne snarest dækkes til, og at gravene ventileres for at kunne aflaste gasudviklingen i gravene. Grundet den højere densitet af perkolatet fra nedgravningsområderne vil der i den mættede zone være en relativt høj vertikal gradient, som vil betyde, at perkolatet kan strømme vertikalt mod dybere

NOTAT

Side 2 af 44

dele af grundvandsmagasinerne. Det anbefales derfor også, at det prioriteres først at etablere monitoringsboringer under og tæt ved nedgravningsområderne for at kunne observere spredningen af forurening fra områderne tidligst muligt.

Det anbefales desuden, at der foretages grundige geologiske og hydrogeologiske studier, og at der etableres monitoringsstationer i både grund- og overfladevand. Det er væsentligt for den fremtidige vurdering af eventuel forurening i monitoringsstationerne, at der så vidt muligt foretages baseline målinger i alle monitoringsstationer hurtigst muligt. Særligt for Kølvrå bør der være opmærksomhed på at monitorere mulig spredning af forurening via Hessellund Bæk.

Endelig anbefales det, at det videre arbejde inkluderer en egentlig risikovurdering, hvor der bl.a. foretages mere konkrete vurderinger af både varighed og spredning af forureningerne og sandsynlige effekter på miljøet, herunder særligt grund- og overfladevand.

NOTAT

Side 3 af 44

Indhold

1. Indledning	4
2. Opgaven	4
3. Baggrund og metode	5
4. Geologi og hydrogeologi ved nedgravningsområderne	7
5. Mulig nedsivning af organiske og uorganiske stoffer fra nedgravningsområderne	17
6. Mulig nedsivning af miljøfremmede stoffer fra nedgravningsområderne	21
7. Mulig nedsivning af vira og bakterier fra nedgravningsområderne.....	24
8. Analogi til perkolatdannelse fra lossepladser med deponeret husholdningsaffald	27
9. Risici for spredning af perkolatfaner til og i grundvandsmagasiner	27
10. Øvrige effekter af nedbrydningen af mink – gasudvikling mv.....	32
11. Forslag til overordnede elementer i et monitorings- og afværgeprogram.....	34
12. Referencer	39

NOTAT

Side 4 af 44

1. Indledning

Med henblik på at kunne opstille et fagligt velfunderet monitorings- og eventuelt afværgeprogram for grund- og overfladevand i nærheden af de områder i Jylland, hvor smittede minkbesætninger er nedgravet, har Miljøstyrelsen ved e-mail af 23.11.2020 ønsket GEUS' faglige input. Efterfølgende er DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet blevet inddraget i arbejdet, hvorfor nærværende notat er resultatet af et samarbejde mellem GEUS og DTU Miljø.

2. Opgaven

Miljøstyrelsen har ønsket udarbejdet et notat, der er baseret på den viden, der kan hentes i litteraturen. Notatet skal på et overordnet plan beskrive de processer, der kan tænkes at forekomme i et nedgravningsområde for mink – og hvilke stoffer, der potentielt kan udgøre en risiko for overfladevand og grundvand. Notatet skal være så bredt dækkende som muligt inden for tidsrammen for udarbejdelsen af notatet på ca. 1,5 uge. Der beskrives derfor flest mulige tænkelige risici ud fra de foretagne litteratursøgninger. Notatet skal inkludere et afsnit om typiske hydrogeologiske forudsætninger i nedgravningsområderne.

Arbejdet har til formål at bidrage til Miljøstyrelsens opstilling af det bedst mulige monitorings- og eventuelt afværgeprogram for forurening af grund- og overfladevand fra nedgravningsområderne.

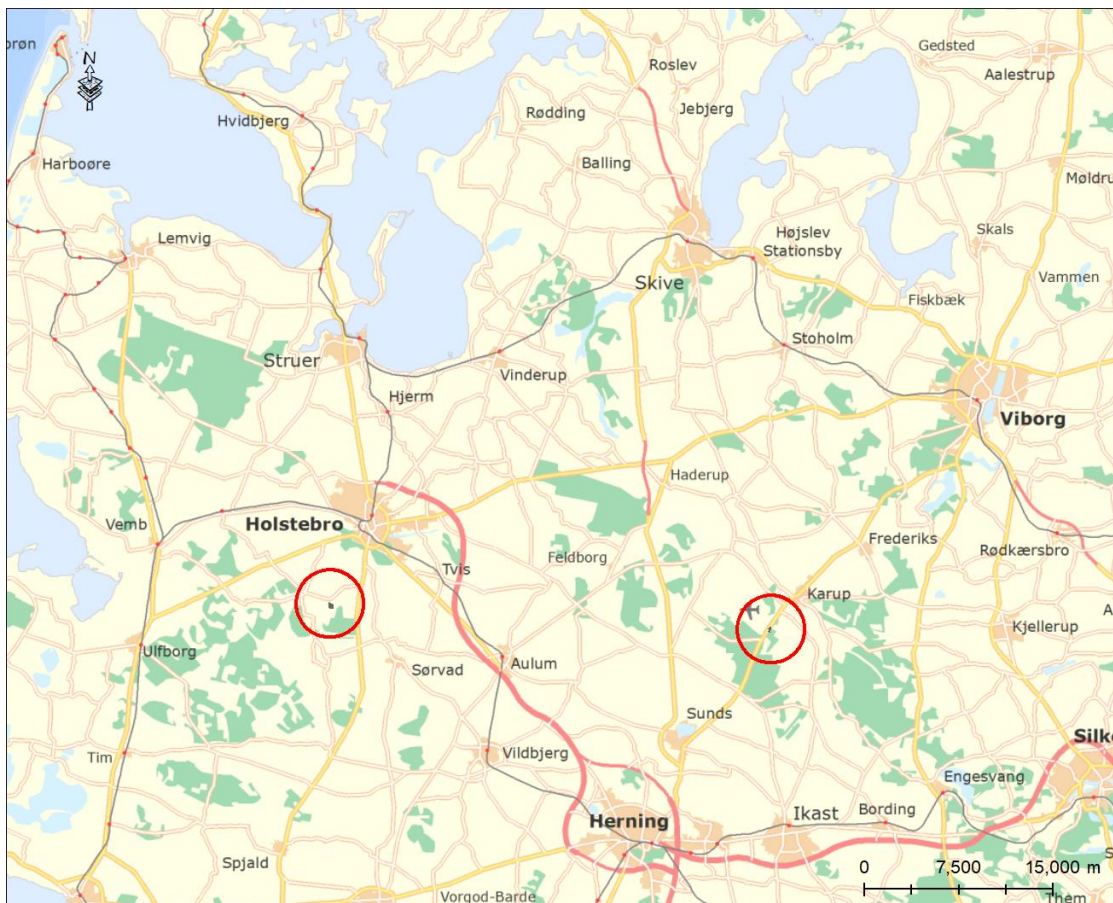
Præmissen er, at minkene forbliver nedgravet i de områder, hvor de pt. er nedgravet.

NOTAT

Side 5 af 44

3. Baggrund og metode

Som grundlag for udarbejdelse af notatet er det fra Miljøstyrelsen oplyst, at der ifølge Fødevarestyrelsen er nedgravet i alt godt 10.500 tons mink fra smittede besætninger på forsvarrets arealer ved henholdsvis Bovtrup i nærheden af Holstebro (5.000 ton) og Kølvrå ved Flyvestation Karup (5.500 ton) (Figur 1). Placeringen af nedgravningsområderne er ligeledes givet af Miljøstyrelsen.



Figur 1: Placering af de to nedgravningsområder for mink ved henholdsvis Bovtrup (Holstebro) og Kølvrå (Karup).

Ifølge Fødevarestyrelsens procedurebeskrivelse for nedgravning af mink (Fødevarestyrelsen, 2020a), nedgraves minkene i 3 m brede render, hvor bunden findes ca. 2,5 m under terræn. Længden af renderne er ikke kendt, men ifølge oplysningerne fra Miljøstyrelsen vurderes det, at det samlede areal inden for hvilket, der nedgraves mink er 7,3 ha ved Kølvrå og 16,4 ha ved Bovtrup. Det reelle areal af selve gravene er formentlig væsentligt mindre i begge områder.

I bunden af gravene lægges 5 cm brændt kalk (CaO) som vandes inden der placeres mink ovenpå i et lag på op til 1 m tykkelse. På toppen af minklaget strøs igen brændt kalk svarende til ca. 5 cm kalk pr. 0,5 m minklag, og der vandes igen. Der dækkes endelig med 1,5-2 m jord afhængig af lagtykkelsen på minkkadaverne, og området kalkes efterfølgende med hydratkalk (Ca(OH)_2).

NOTAT

Side 6 af 44

De lokale geologiske og hydrogeologiske forhold ved de to nedgravningsområder har betydning for en række ting som f.eks.:

- Hastigheden for spredning af stoffer fra nedgravningsområderne til både grund- og overfladevand
- Spredningsveje i grundvandsmagasinerne – ler- og sandaflejringer vil således betinge forskellige spredningsmønstre i undergrunden
- Design af monitoringsprogrammer
- Design af eventuelle afværgeforanstaltninger

Det er derfor valgt at give en overordnet beskrivelse af geologi og hydrogeologi ved nedgravningsområderne. Til brug for denne overordnede beskrivelse, er der indhentet oplysninger fra GEUS' egne rapporter, Jupiter databasen, Den Nationale Vandressource Model (DK-modellen), en enkelt tidligere rapport fra COWI (GEUS, 2002a,b; Orbicon, 2007; Stisen et al. 2019) samt ved henvendelse til NIRAS, som har foretaget en række detailundersøgelser for Forsvaret i området ved Flyvestation Karup (pers. komm. Jette K. Olsen, NIRAS). Region Midt har også været forespurgt om eventuelt kendskab til specifikke geologiske og hydrogeologiske forhold ved nedgravningsområderne (pers. komm. Halfdan R. Sckerl, Region Midt). Det vurderes dog, at de nærmest beliggende lokaliteter med detailviden fra Region Midt's kortlægning er placeret så langt fra nedgravningsområderne, at viden fra disse lokaliteter ikke kan bidrage med yderligere relevans i forhold til de informationer, der i øvrigt er fremskaffet.

Miljøstyrelsen oplyser (pers. komm. Per Schriver, Miljøstyrelsen), at der ikke findes dokumenterede erfaringer fra lignende danske tilfælde med nedgravning af større dyrebesætninger – f.eks. i forbindelse med mund- og klovsygeepidemien i 1982-1983. Der er derfor foretaget en litteratursøgning i den internationale litteratur som grundlag for den overordnede vurdering af, hvilke stoffer, der overordnet kan forventes at nedsive fra områder, hvor store mængder af organisk materiale såsom døde husdyr nedgraves. Herudover er der for vurderingen af mulig nedsivning af miljøfremmede stoffer, vira og bakterier foretaget en vurdering af mulige kilder i nedgravningsområderne baseret på interviews med en række minkekasperter samt søgning på internettet. På baggrund heraf er det undersøgt, om det i litteraturen er beskrevet, hvorvidt disse stoffer har risiko for at spredes til grundvandet i områder med nedgravede husdyr.

Endelig er der draget paralleller til kendte forhold omkring gamle lossepladser, hvor der typisk tidligere har været nedgravet større mængder organisk materiale i form af f.eks. husholdningsaffald.

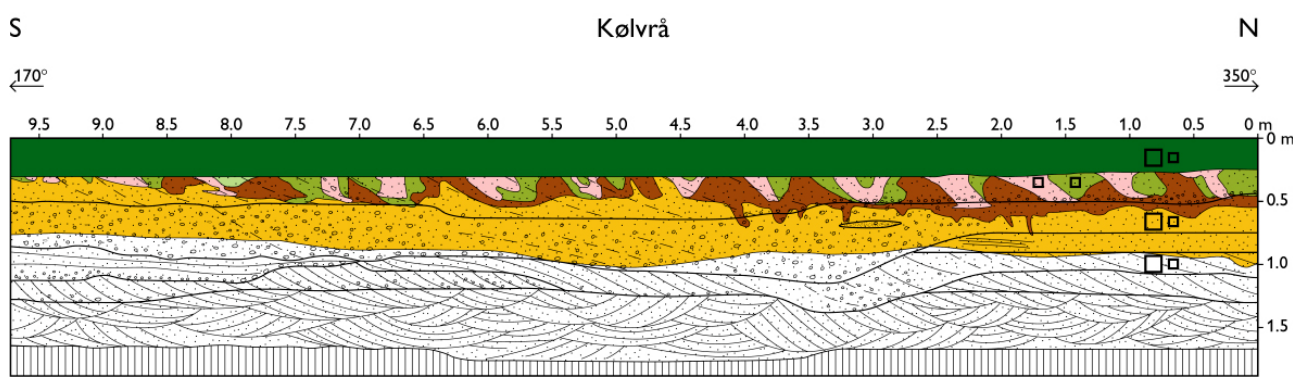
NOTAT

Side 7 af 44

4. Geologi og hydrogeologi ved nedgravningsområderne

Kølvrå (Karup)

Nedgravningsområdet er beliggende på Karup Hedeslette, der overvejende består af sand og grus aflejret ved slutningen af seneste istid. De overfladenære hedesletteaflejringer ved Kølvrå er nærmere undersøgt i forbindelse med KUPA projektet (GEUS, 2002a). Her er fundet kalkfrie sedimenter af fint, mellem- og grovkornet sand med enkelte gruslag. Den øverste meter er præget af jordbundsudvikling og kan klassificeres som en humuspodzol (GEUS, 2002a). I sandet herunder ses primære sediment-strukturer fra strømmende smeltevand (Figur 2).

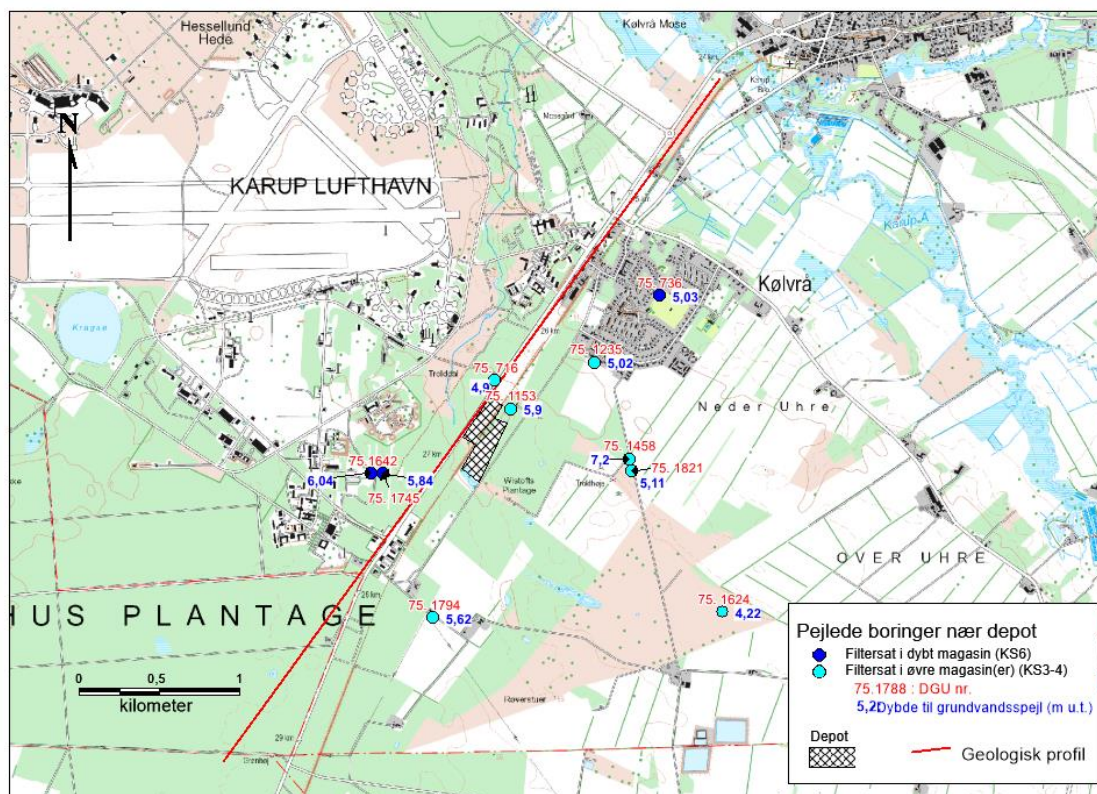


Figur 2: Skitse af syd-nord profilvæg ved Kølvrå. Optegnelse af geologiske strukturer (sort) og pedologiske horisonter (farver). Se GEUS (2002a) for detaljer.

Hedesletten ved Kølvrå er en del af et øvre grundvandsmagasin med frit vandspejl (primært model lag KS4 på 20-40 meters tykkelse i den Nationale Vandressource Model, DK-model2019 (Stisen et al., 2019)). Grundvandsspejlet vurderes ud fra eksisterende pejlinger af vandstanden at stå 4-6 m under terræn (Figur 3).

NOTAT

Side 8 af 44

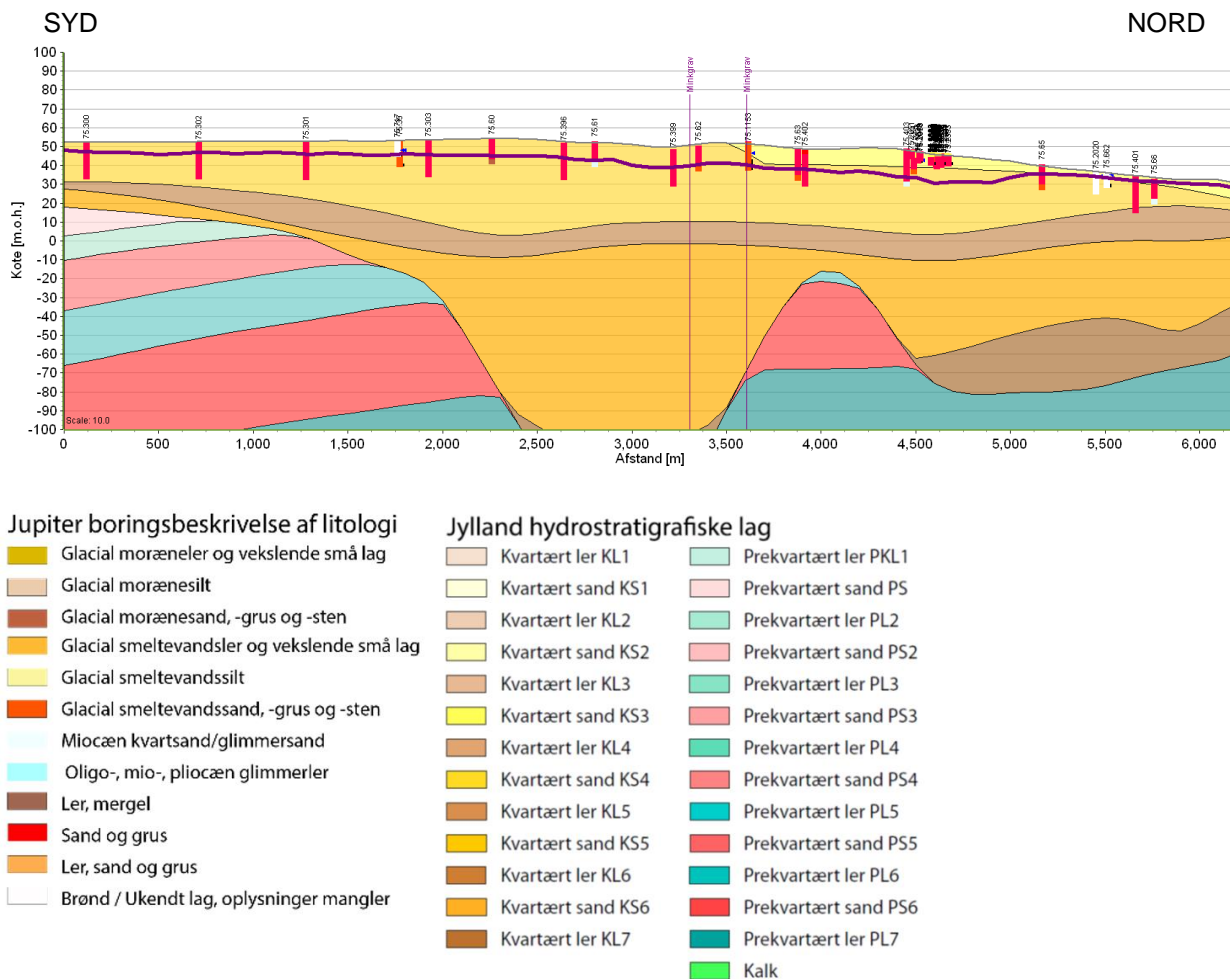


Figur 3: Pejlede borer nær nedgravningsområdet (depot) ved Kølvrå (Karup) med angivelse af DGU nr. og dybde til vandspejlet. Desuden er placering af nedenstående geologiske model-profil (Figur 4) vist.

Det øvre grundvandsmagasin er adskilt fra et nedre grundvandsmagasin af smeltevandssand (modellag KS6 i DK-model2019 (Stisen et al., 2019)), fordi der forekommer et lerlag med varierende tykkelse i den geologiske model (modellag KL5 i DK-model2019 (Stisen et al., 2019)). Lerlaget, som adskiller KS4 og KS6, er tolket til at være 10-20 m tykt. Det er primært kortlagt med geofysiske målinger, og tykkelsen er stedvist usikkert bestemt. Ved vandværksboringerne i Kølvrå (DGU nr. 75.736 og 75.669) er der truffet silt i dybder svarende til KL5. Disse borer indvinder vand fra bunden af det nedre grundvandsmagasin (KS6) ca. 1,2 km NØ for nedgravningsområdet.

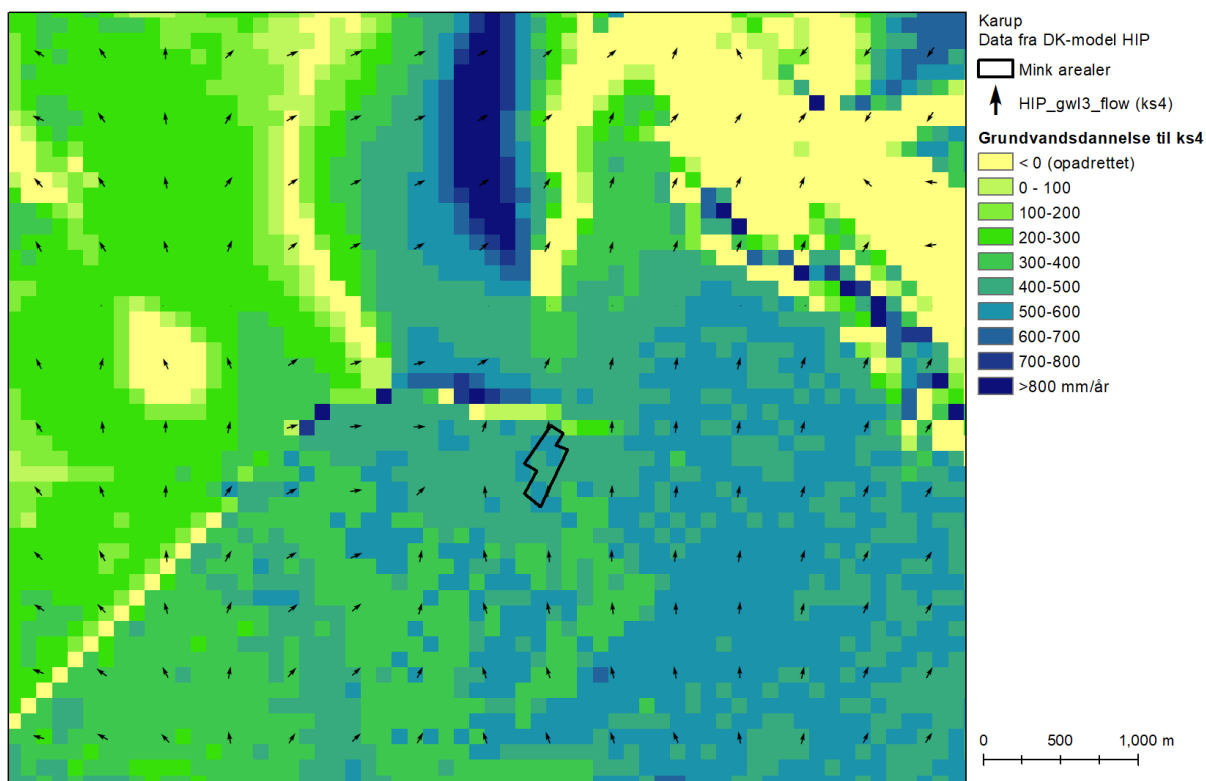
NOTAT

Side 9 af 44



Figur 4: Profil fra den nationale DK-model (Stisen et al., 2019) med boringer. Det øvre grundvandsmagasin (KS4) er angivet med lys gul farve og det nedre grundvandsmagasin (KS6) med mørk gul. Lerlaget der adskiller de to magasiner er angivet med brunt. Dette lerlag er primært kortlagt med geofysiske måling og tykkelsen er stedvis usikkert bestemt.

I forbindelse med HIP4PLUS projektet (Henriksen et al., 2020) er DK-model2019 blevet flyttet fra 500 m beregningsceller til 100 m beregningsceller og særligt kalibreret med henblik på simulering af det terrænnære grundvand (DK-model HIP). For lokaliteten ved Kølvrå er der fra DK-model HIP udtrykket den gennemsnitlige grundvandsdannelse (i perioden 1990-2019) og strømninger (Figur 5) i magasinet for et 100 m grid. Herudover er der vha. maskinlæring (ML) dannet estimater i et 10 m grid for dybden til grundvandsspejlet for en typisk vintersituation (Figur 6).



Figur 5: DK-model HIP 100m simulering af grundvandsdannelse til og strømningsvektorer for magasinlaget ved Karup (Kølvrå)

Den beregnede grundvandsdannelse til magasinet ved nedgravningsområdet for mink er ca. 400-600 mm/år med tilsvarende størrelser for nettonedbøren for området (Figur 5). Antages et vandindhold på 10% i den umættede zone (Hansen & Postma, 1995) vil den vertikale strømningshastighed i den umættede zone således at være på 4-6 m/år.

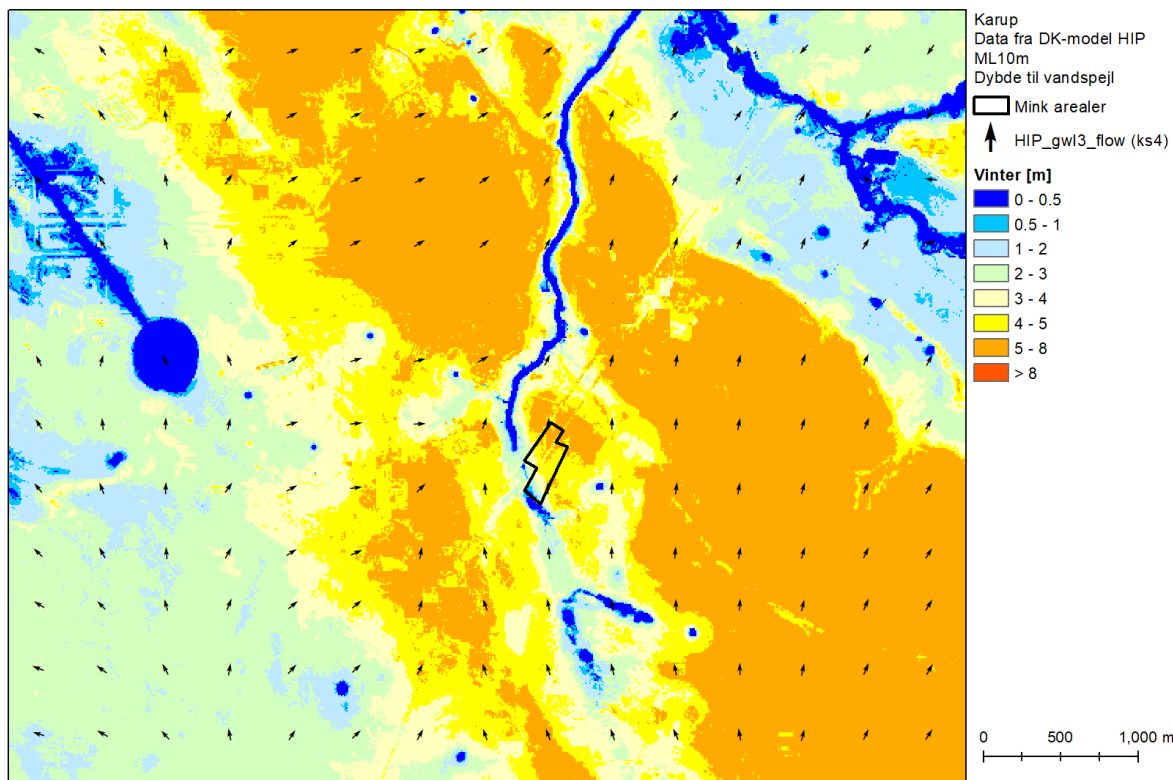
Baseret på maskinlæringsestimater med 10 m grid (Figur 6) skønnes dybden til grundvandsspejlet at være i størrelsesordenen 4-5 m i det meste af nedgravningsområdet med lidt større dybde til grundvandsspejlet i den nordlige ende af nedgravningsområdet og mindre dybde til grundvandsspejlet i den sydlige del af nedgravningsområdet. Dette er i god overensstemmelse med den målte grundvandsstand i området (Figur 3). Et relativt dybtliggende grundvandsspejl og en grundvandsdannelse, der svarer til nettonedbøren, indikerer, at der ikke er overfladeafstrømning eller kunstig dræning af betydning for lokaliteten.

Maskinlæringsestimater for en typisk vintersituation indikerer, at grundvandsspejlet næsten er ved terræn ved den sydlige rand af nedgravningsområdet (Figur 6). Dette skyldes påvirkning af den estimerede grundvandsstand fra vandløbsdata i GeoDanmark datasættet (Hessellund Bæk). Det kan ikke umiddelbart afklares, ud fra kortmaterialet alene, om der rent faktisk er god kontakt mellem vandløbet og grundvandet. En tidligere hydrologisk analyse af Hessellund Bæk (Paludan & Peder-

NOTAT

Side 11 af 44

sen, 2018) angiver udspringet af bækken til at ligge ca. 50-100 meter vest for nedgravningsområderne med sandsynlighed for at rørledningen, der angiver bækkens udspring, afvander området øst for Herningvej, hvor nedgravningsområderne er placeret.



Figur 6: Maskinlærings 10 m estimat af dybden til grundvandsspejlet for Karup (Kølvrå).

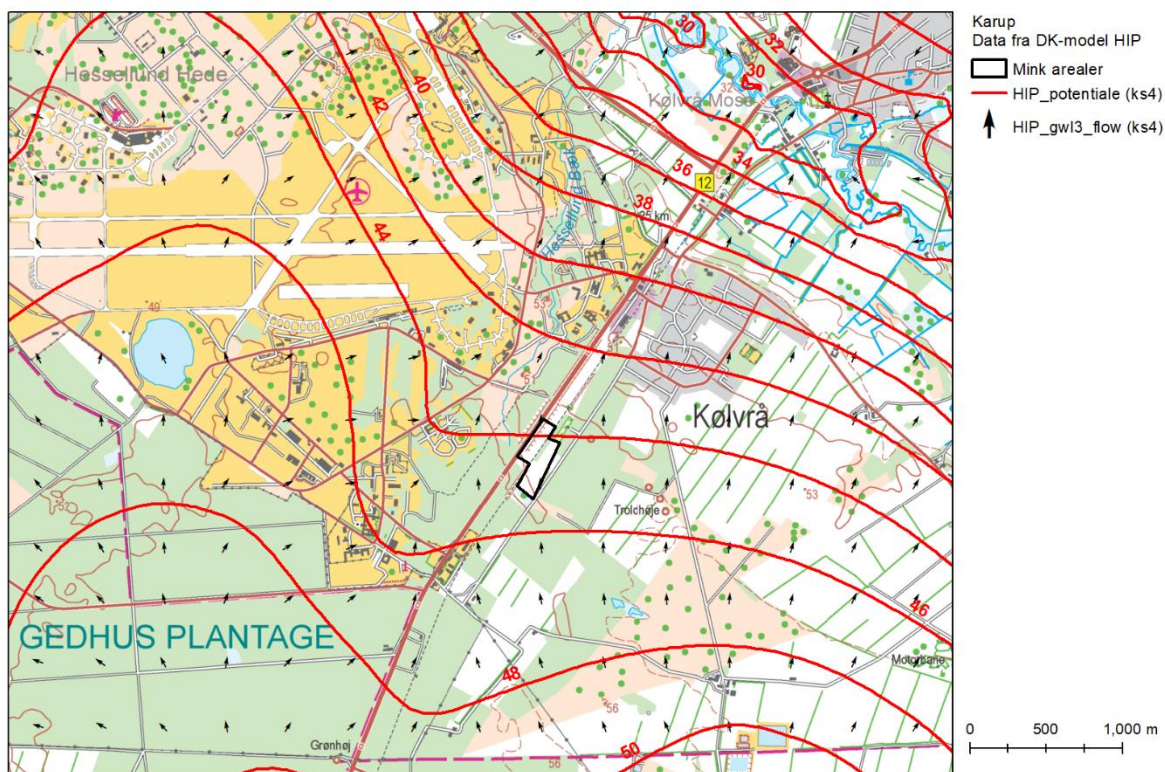
Et ældre regionalt potentialekort for det terrænnære grundvandsmagasin (Orbicon, 2007) og simuleringer med DK-model HIP (Figur 7) viser begge en overvejende nordgående strømningsretning i magasinet, uden nævneværdig påvirkning fra Hessellund Bæk.

På den baggrund kan det ikke entydigt afklares, om der kan ske en påvirkning fra nedgravningsområderne af Hessellund bæk eller området omkring udspringet af bækken.

DK-model HIP simuleringerne viser en strømningsflux på typisk $0,0015 \text{ m}^3/\text{s}$. Under antagelse af en magasinporøsitet på 25-30 %, en model cellebredde på 100 m og en vandmættet magasin tykkelse på 15-35 m, svarer dette til en typisk grundvandsstrømning i nordgående retning på 40-125 m pr. år. Tilsvarende grundvandsstrømningshastigheder kan estimeres ud fra potentialebilledet (Figur 7 eller Orbicon (2007)) og målte hydrauliske ledningsevner fra NIRAS' undersøgelser i området ved Flyvestation Karup på mellem $0,6-4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

NOTAT

Side 12 af 44



Figur 7: Oversigtskort (2 cm kort) med placering af nedgravningsområderne (minkarealerne) og DK-model HIP 100m simulering af grundvandspotentiale og strømningsvektorer for magasinet ved Karup (Kølvrå).

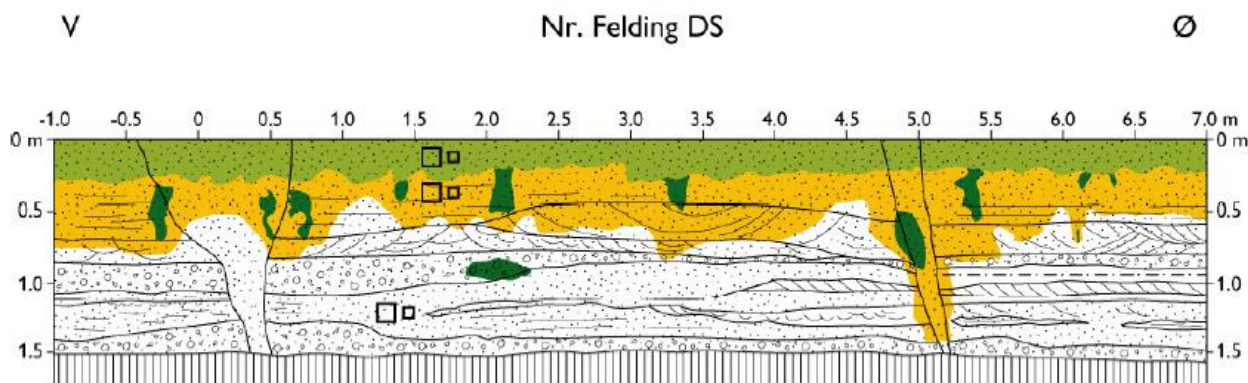
Bovtrup (Holstebro)

Nedgravningsområdet er beliggende i den nordlige del af Skovbjerg Bakkeø, der udgør et glacialt landskab dannet i forrige istid for mere end 100.000 år siden. Der er således tale om et gammelt landskab, der har været blottet og udsat for erosion og udvaskning gennem lang tid.

De overfladenære geologiske og geokemiske forhold i området er undersøgt i et detaljeret feltstudie ved Nørre Felding (GEUS, 2002b). Her viser udgravninger og borer, at jordbunden er præget af podsolering og må betegnes som værende veldrænet. Under muldlaget træffes vekslende lag af fint-mellem og fint smeltevandssand. I nogle lag forekommer desuden øget indhold af bl.a. silt, grus og sten (Figur 8).

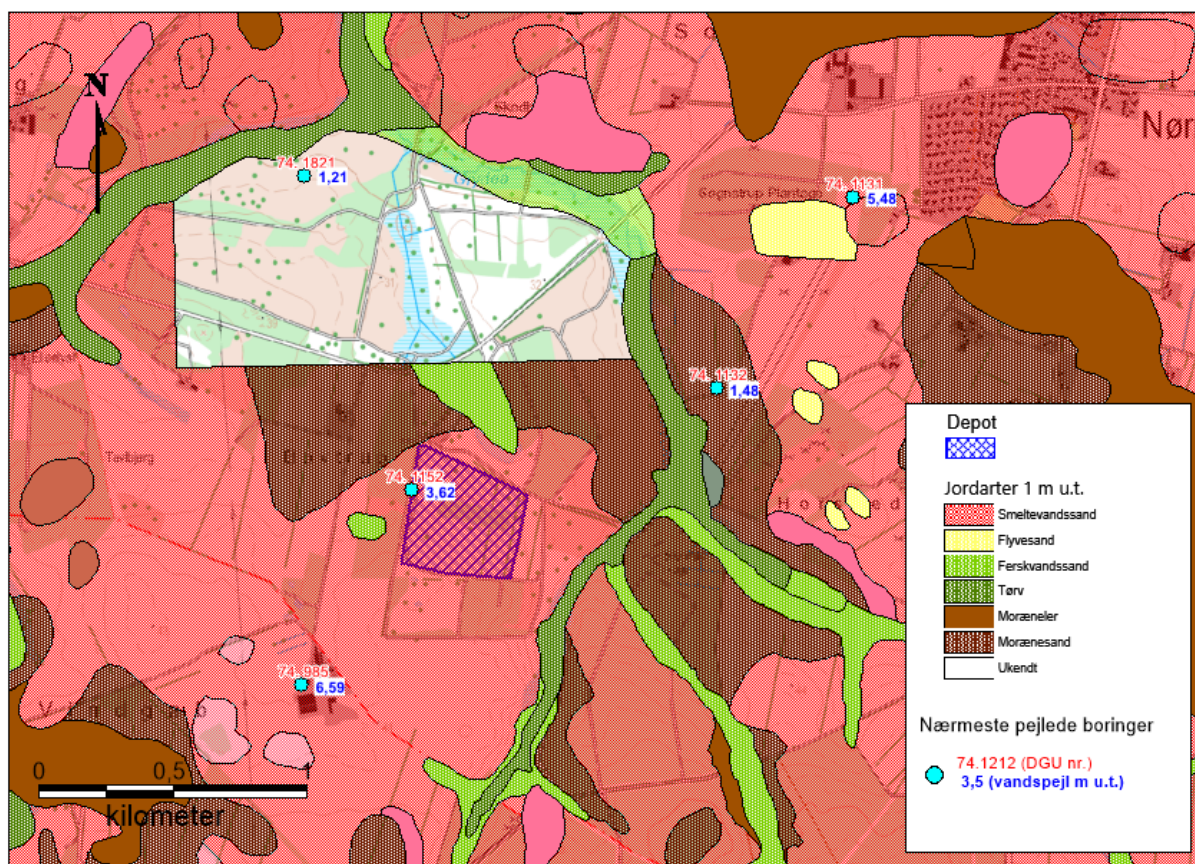
NOTAT

Side 13 af 44



Figur 8: Profil af de øverste 1,5 m ved Nørre Felding (GEUS, 2002b). Farverne illustrer jordbundsudviklingen mens der med sort er angivet primære sedimentstrukturer. Se (GEUS, 2002b) for detaljer.

Ifølge det geologiske jordartskort (Figur 9), der viser de primære geologiske jordarter under muldlaget, udgøres de øverste aflejringer ved nedgravningsområdet af smeltevandssand (lys rød). Nord for nedgravningsområdet i området omkring Bovtrup Sø træffes ferskvandssand (lys grøn) omgivet af et lidt højere liggende område med morænesand (brun). Nord for søen er der ikke foretaget jordartskortlægning.



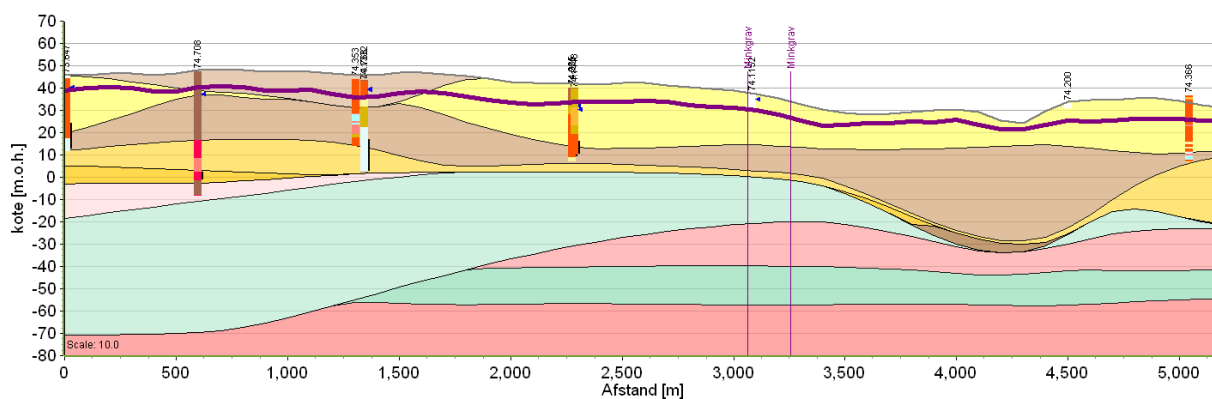
Figur 9: Geologisk jordartskort for området omkring nedgravningsområdet (depotet) ved Bovtrup. Desuden er angivet dybden til vandspejlet i nærliggende pejlede borer

NOTAT

Side 14 af 44

Der er relativt få boringer omkring nedgravningsområdet. I lighed med de øverste aflejringer, tyder de nærmeste boringer på, at aflejringerne fra terræn til omkring kote 0 nær nedgravningsområdet overvejende består af smeltevandssand med indslag af morænesand og moræneler. Da der er tale om et gammelt glacialt landskab, vil lagene formodentlig være skrånede som følge af glacial deformation og jordflydning. Under omkring kote -10 forventes miocæne aflejringer af glimmerler.

Ifølge DK-model2019 træffes et udbredt øvre grundvandsmagasin på 20-30 m tykkelse (modellag KS3) under nedgravningsområdet (Figur 10). I området er det dog meget varierende, hvor god en overensstemmelse der er mellem DK-modellens lag og logs fra boringer, hvilket også indikerer at geologien på bakkeøen er kompleks og varierer over korte afstande.

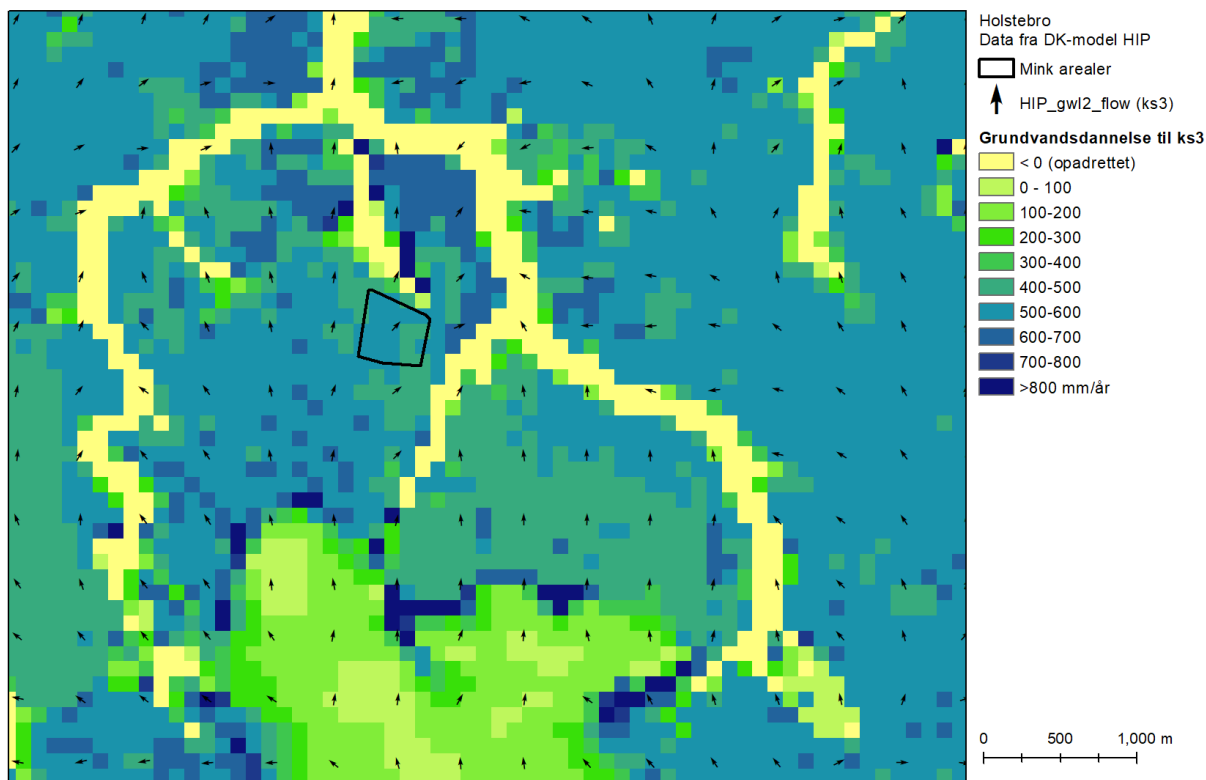


Figur 10: Et syd-nord gående snit gennem DK-model2019. Snittet forløber lige vest for nedgravningsområdet. Med lys gul farve er angivet sandlag KS3, som udgør det overfladenære grundvandsmagasin under nedgravningsområdet. For legende se Figur 4.

For lokaliteten er der for DK-model HIP beregningerne udtrukket gennemsnits (1990-2019) grundvanddannelse og -strømninger i magasinet (Figur 11). Herudover er der vha. ML dannet 10x10m estimer for dybden til grundvandsspejlet for en typisk vintersituation (Figur 12).

NOTAT

Side 15 af 44



Figur 11: DK-model HIP simulering af grundvandsdannelse til og strømningsvektorer for magasinlaget ved Holstebro (Bovtrup)

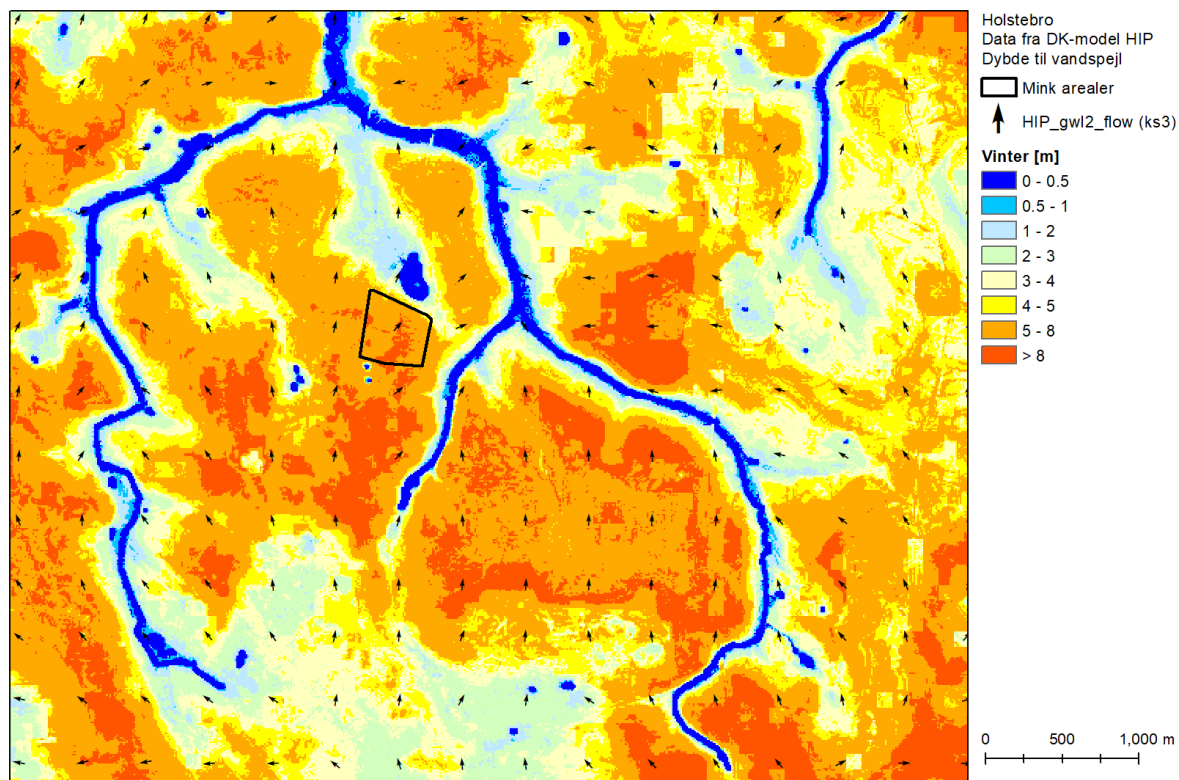
Den estimerede grundvandsdannelse til magasinet ved nedgravningsområdet er ca. 400-600 mm/år, med tilsvarende størrelser for nettonedbøren for området. Antages et vandindhold på 10% i den umættede zone (Hansen & Postma, 1995) vil den vertikale strømningshastighed i den umættede zone således at være på 4-6 m/år.

Grundvandsspejlet vurderes generelt ud fra eksisterende pejlinger at findes 3-6 m under terræn (Figur 9) med en væsentligt mindre dybde af grundvandsspejlet i de lavere beliggende dele af terrænet i ådalene. I en sløjfet brønd (DGU nr. 74.1152) tæt ved depotet var vandstanden i 2005 registreret til 3,62 m.u.t. Maskinlæringsestimater for en typisk vinter situation resulterer i rimelig overensstemmelse hermed i et grundvandsspejl beliggende mellem 5 m og mere end 8 m under terræn (Figur 12). Forskellene i målt og estimeret grundvandsspejl skyldes formentlig den komplekse geologi i området.

Det forholdsvist dybe grundvandsspejl og grundvandsdannelse svarende til nettonedbøren indikerer, at der ikke vil være overfladeafstrømning eller kunstig dræning af betydning for lokaliteten.

NOTAT

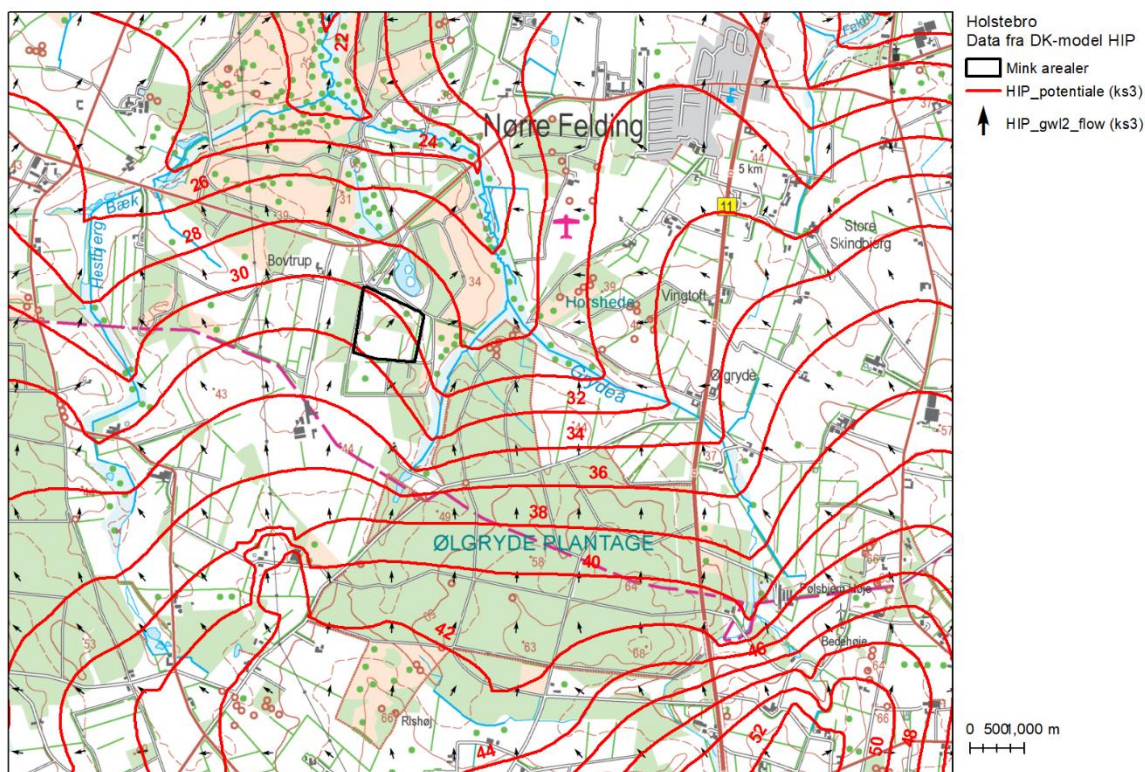
Side 16 af 44



Figur 12: HIP maskinlærings estimat i 10 m grid for dybden til grundvandsspejlet for en typisk vinter situation med Holstebro (Bovtrup)

Et ældre regionalt potentialekort for det terrænnære grundvandsmagasin (Orbicon, 2007) og simuleringer med DK-model HIP (Henriksen et al., 2020; Figur 13) stemmer overordnet overens, og begge viser en overvejende nordøst gående strømningsretning i magasinet mod Bovtrup Sø.

DK-model HIP simuleringerne viser en strømningsflux på typisk $0,0015 \text{ m}^3/\text{s}$. Under antagelse af en magasinporøsitet på 25-30 %, en model cellebredde på 100 m og en vandmættet magasintykkelse på 15-25 m, svarer dette til en typisk grundvandsstrømning i nordgående retning på 55-125 m pr. år. Der er ikke fundet målte hydrauliske ledningsevner fra området.



Figur 13: DK-model HIP simuleringer af grundvandspotentiale og strømninger for magasinet ved Holstebro (Bovtrup).

5. Mulig nedsivning af organiske og uorganiske stoffer fra nedgravningsområderne

Der findes ingen videnskabelige studier af, hvad nedgravning af mink kan medføre af dannelse af organiske og uorganiske stoffer. Der er til gengæld udført en række studier af nedgravning af andre husdyr, såsom fjerkræ, grise og kvæg. De fleste studier stammer fra Korea, som igangsatte et større monitoringsarbejde efter omfattende smitte med mund- og klovsyge i starten af 2000-tallet, som resulterede i ca. 4.000 grave med i alt ca. 4 mio. dyr (Kim & Kim, 2012). Der er dog også publiceret enkelte studier fra andre steder i verden. Det er forsøgt at udvælge de studier, som er mest repræsentative for den danske situation med mink. Dvs. studier af nedgravning af enkelte dyr og studier på steder med mere avancerede nedgravningsteknikker (f.eks. iltning i gravene) er kun inkluderet i mindre grad, hvor det alligevel vurderes relevant, eller der ikke er andre erfaringer.

Helt overordnet nævnes typisk tre grupper af stoffer som værende karakteristiske i nedsivning fra nedgravningsområderne: Kvælstofforbindelser (hovedsageligt ammonium), opløst organisk stof (hovedsageligt let-omsætteligt ved tilgængelighed af ilt) og uorganiske ioner (f.eks. klorid). Det er

NOTAT

Side 18 af 44

også disse stoffer, som er konkluderet at kunne bruges som indikatorstoffer i monitoringsprogrammer for grundvand i områder med nedgravede dyr i Korea, idet de forekommer i langt højere koncentrationer i perkolat fra nedgravningsområder end i det grundvand perkolatet nedsiver til (Koh et al., 2019; Oh et al., 2020).

Kvælstof

Kvælstofforbindelser stammer hovedsageligt fra nedbrydning af proteiner, f.eks. muskler. Når nedbrydningen foregår under iltfrie forhold, som må formodes at være fremherskende i nedgravningsområderne, dannes hovedsageligt ammonium. Der er ved tidligere studier konstateret endog meget høje koncentrationer af ammonium under nedgravede husdyr. MacArthur et al. (2003) fandt i en to-årig periode efter etablering en gennemsnitlig koncentration af ammonium på ca. 3.000 mg/L i perkolat fra seks skotske massegrave med tilsammen 400.000 får, slået ned på grund af mund- og klovsyge. Pratt (2009) lavede kontrollerede forsøg med nedgravning af kvæg (10 tons), svin (6 tons) og fjerkræ (1.3 tons) og fandt 16.000 mg/L ammonium som gennemsnitskoncentration over 2 år i perkolat fra nedgravningerne. De nedgravede kvæg afgav mest ammonium og fjerkræ mindst, men der var ikke væsentlig forskel på nedsivning fra de forskellige dyretyper. Koncentrationen af ammonium var på sit maksimale, da forsøget stoppede efter to år.

Der er også enkelte undersøgelser af ammonium i grundvand i umiddelbar nærhed til massegrave med dyr, i hvilke der forventeligt er set forhøjede ammonium-koncentrationer på op til 470 mg/L (Ritter & Chirnside, 1995). I drikkevand er kvalitetskravet for ammonium 0,05 mg/L, men den naturlige baggrund i dybereliggende dansk grundvand er typisk 0,1-1 mg/L. Normal vandbehandling på danske vandværker vil kunne behandle op til et par mg/L ammonium. Udover ammonium må der også forventes en del organisk bundet kvælstof i perkolat fra minkgravene, som senere kan frigives som uorganiske forbindelser. Denne fraktion er dog ikke målt i de tidligere studier.

Nedgravningsområderne forventes som udgangspunkt at indeholde ca. 30 tons kvælstof pr. 1.000 tons nedgravede mink (Prothero, 2015). Det er ikke muligt inden for rammerne af dette notat, at vurdere konkrete frigivelsesrater eller koncentrationer for områderne ved Kølvrå og Bovtrup, men som indikeret ud fra de ovenfor beskrevne studier fra Skotland og Canada, vil frigivelsen af kvælstof fra gravene sandsynligvis fordeles hen over flere år med høje koncentrationer i perkolatet.

Organisk kulstof

De fleste pattedyr indeholder omkring 20% organisk kulstof, fordelt på proteiner, fedt og kulhydrater. Under nedbrydning af det organiske stof omdannes kulstoffet ultimativt til CO₂, men kun hvis der er tilstrækkeligt ilt til stede. I nedgravningsområderne må ilttilførslen forventes at være utilstrækkelig, og det organiske kulstof i minkene vil derfor i høj grad blive omdannet til andre organiske stoffer, hvoraf en del vil være opløselige og derfor frigives i den nedsivende nedbør. Der vil være tale om tusindvis af organiske stoffer, som man derfor ikke alle kan måle enkeltvis. I stedet vil

NOTAT

Side 19 af 44

man typisk anvende samleparametre såsom NVOC (totalt opløst ikke-flygtigt organisk kulstof), BOD (biokemisk iltforbrug – let-omsætteligt organisk stof) eller COD (kemisk iltforbrug – totalt organisk stof). BOD og COD bruges ofte i forbindelse med monitoring af spildevand, som i urensset form typisk vil indeholde 150-400 mg/L BOD og 400-900 mg/L COD. BOD og COD kan groft omregnes fra ilt til kulstof ved at dividere tallene med tre. NVOC er typisk den parameter man analyserer for i grundvand, og den opgives direkte i mg kulstof pr. L. I drikkevand er kvalitetskravet for NVOC 4 mg/L.

I det skotske studie (MacArthur et al., 2003), fandt man i de første to år efter nedgravning et nogenlunde konstant indhold af organisk stof med gennemsnitligt ca. 13.000 mg/L BOD og gennemsnitligt ca. 20.000 mg/L COD i perkolatet (det nedsivende vand fra gravene). Det var altså en forholdsmæssig meget stor del af det nedsivende kulstof, som var let omsætteligt (BOD) under tilgængelighed af ilt, på niveau eller højere end det ses i urensset spildevand. Koncentrationerne af organisk stof i det nedsivende vand var dog ca. 50 gange højere end i urensset spildevand. Pratt (2009) målte på NVOC i de kontrollerede forsøg med nedgravning af kvæg, svin og fjerkræ og fandt gennemsnitlige koncentrationer over 2 år på 71.000 mg/L uden den store variation mellem forskellige dyretyper. Yuan et al (2013) undersøgte perkolat fra nedgravning af 1,4 tons kvæg og fandt NVOC koncentrationer i samme størrelsesorden som MacArthur et al. (2003), men af kortere varighed, muligvis på grund af den mindre mængde nedgravet dyr.

Udover uspecificerede organiske kulstofforbindelser (BOD, COD, NVOC) kan det også forventes, at der dannes visse organiske forbindelser, som kan anses for problematiske i selv meget små koncentrationer, og som har en grænseværdi i grundvand og drikkevand, som ligger langt under samleparametrene. Eksempler på dette er phenol, cresoler og mono-nitrophenoler, som er indikatorstoffer under nedbrydning af pattedyr (Dekeirsschietter et al., 2009; Koziel et al., 2018), ligesom de findes i høje koncentrationer i flydende husdyrgødning (Fyns Amt, 2002). Grænseværdien i drikkevand for phenol og cresoler er 0,5 µg/L og for mono-nitrophenoler er den 90 µg/L. Under iltfrie forhold kan særligt phenol og cresoler forventes at have en lang levetid mens nitrophenolerne muligvis hurtigt vil blive reduceret til aniliner. Da detektionsgrænsen for phenol og cresoler er meget lav (0,05 µg/L for en typisk analyse af grundvand på et kommercielt laboratorium), vil disse stoffer muligvis kunne fungere som markører af, om grundvandet er påvirket af perkolat fra massegravene. En endnu mere specifik markør for perkolat fra nedgravede dyr kunne være fedtsyren arakidonsyre (omega-6 fedtsyre 20:04), sådan som det er foreslået af Lim et al. (2016). Arakidonsyres stabilitet i jord og grundvand kendes dog ikke. Formentlig er levetiden kort ved tilstedeværelse af ilt, men kunne tænkes at være lang under iltfrie forhold.

Nedgravningsområderne forventes som udgangspunkt at indeholde ca. 200 tons organisk kulstof pr. 1.000 tons nedgravede mink (Prothero, 2015). Det er ikke muligt inden for rammerne af dette notat, at vurdere konkrete frigivelsesrater eller koncentrationer for områderne ved Kølvrå og Bovtrup.

NOTAT

Side 20 af 44

Moniteringsrapporter, ikke publiceret videnskabeligt, ser ud til at bekræfte, at meget høje koncentrationer af ammonium og organisk stof, omsætteligt under iltrige forhold, kan findes i perkolat fra nedgravningsområder med husdyr. Nutsch & Spire (2004) opsummerer en række monitoringsundersøgelser, som konstaterer ammonium-koncentrationer i størrelsesorden hundreder til tusindvis af mg/L og organisk stof målt som BOD eller COD i tusinder af mg/L, begge dele i mange måneder efter nedgravning.

Fosfor

Fosfor nævnes sjældent i litteraturen omkring nedgravning af dyr, men der vil typisk blive frigivet en stor mængde fosfor ved nedbrydning af dyr (Pratt, 2009). Det er kendt at minkgylle er meget rigt på fosfor på grund af det høje fosforindhold i foder (hovedsageligt rester af fisk og fjerkræ), og det må forventes at fosfor-påvirkningen fra nedgravede mink vil være på niveau eller højere, end det kendes fra andre husdyr. En del af fosforen vil frigives som frit fosfat. Hvis der ikke er jern- eller aluminium-oxider til stede i grundvandssedimentet, må det forventes, at dette fosfat er mobilt. Det vil være tilfældet, hvis grundvandssedimentet generelt er iltfrit. Eventuelle oxider i sedimentet må forventes at nedbrydes i forbindelse med nedsivningen af let-omsætteligt organisk stof fra minkgravene, så bindingen af fosfat til disse under alle omstændigheder kan tænkes at være begrænset i en evt. forureningsfane. Omvendt vil der ved reduktion af jernoxider dannes reduceret jern (Fe(II)), som potentielt kan resultere i, at fosfat udfælder og immobiliseres. Dannelse af vivianit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) kendes bl.a. fra anoxiske sø-sedimenter (O'Connell et al., 2015). Andre fosfat-holdige mineraler kan muligvis også udfælde i perkolatet – f.eks. forskellige apatit-mineraler, som er mineraler der indeholder calcium og fosfat sammen med fluor, chlor eller hydroxylioner. Dette tænkes særligt at kunne være tilfældet ved nedgravningsområderne, hvor der har været anvendt store mængder brændt kalk og hydratkalk.

Størstedelen af den frigivne fosfor vil sandsynligvis være organisk bundet og vil dermed transporteres med det organiske stof. Denne del af fosforen vil så frigives, efterhånden som det organiske stof nedbrydes. Denne hypotese passer med, at Pratt et al. (2009) fandt langt højere fosfor-værdier i perkolat (1.000-2.000 mg/L total-P målt med ICP-AES som gennemsnit over 2 år) i forhold til MacArthur et al. (2003), som fandt et gennemsnit på 55 mg/L fosfat over 2 år. Som beskrevet i foregående afsnit fandt Pratt et al. (2009) nemlig også langt højere indhold af organisk stof i perkolat, end det var tilfældet for MacArthur et al. (2003).

Gravene forventes som udgangspunkt at indeholde ca. 10-20 tons fosfor pr. 1.000 tons nedgravede mink, hvoraf størstedelen vil sidde bundet i knoglerne og frigives langsomt (Prothero, 2015). Det er ikke muligt inden for rammerne af dette notat, at vurdere konkrete frigivelsesrater eller koncentrationer for områderne ved Kølvrå og Bovtrup, men vurderet ud fra de ovenfor beskrevne studier fra Skotland og Canada, vil frigivelsen af fosfor fra gravene sandsynligvis fordeles hen over flere år med høje koncentrationer i perkolatet.

NOTAT

Side 21 af 44

6. Mulig nedsivning af miljøfremmede stoffer fra nedgravningsområderne

De mulige kilder til nedsivning af miljøfremmede stoffer i nedgravningsområderne synes hovedsageligt at være forbundet med fire områder: Loppebehandling, foder, sygdomsbehandling (her særligt antibiotika) og desinfektion af materiel anvendt til nedgravning.

Loppebehandling

Mink kan få egerlopper. De voksne egerlopper opholder sig primært i værtsdyrets rede/redemateriale og sekundært på værtsdyret. Mink behandles udvortes mod lopper med ektoparasitocider indeholdende aktivstofferne imidacloprid og permethrin og med phoxim (Lægemiddelstyrelsen, 2018; Larsen, 2020). Phoxim hydrolyseres hurtigt til ugiftige metabolitter, der primært udskilles med urinen (Larsen et al. 2005; Lægemiddelstyrelsen 2018). Størstedelen af indsatsen for at bekæmpe lopper sker ved behandling og rengøring af redekassen. Behandling med ektoparasitocider sker på individniveau og typisk ved mere akutte behov, og der skal gå 28 dage mellem to behandlinger.

Det vides ikke om minkene i nedgravningsområderne har været i behandling med loppemidler på aflivningstidspunktet, og det vides derfor ikke, om der kan ske en nedsivning af imidacloprid, permethrin og phoxim fra minkgravene.

Minkfoder

Stoffer tilført minkene via minkfoderet, kan være en anden kilde til nedsivning af miljøfremmede stoffer til grundvandet. Minkfoder består typisk af fiske- eller kyllingeaffald tilsat vitamin A, B, D og E samt selen (Vitfoss & Dlg 2020; Landbrugsavisen 2014). Det har ikke været muligt at opnå viden om, hvorvidt, der tilsættes andet til minkfoderet.

Dioxin og dioxinlignende PCB'er (polychlorerede biphenyler) bliver ophobet i fedtvæv og vil derfor være tilstede i animalske produkter og fisk og vil opkoncentreres op igennem fødekæden. Det betyder, at der er mest dioxin og dioxinlignende PCB i store fede fisk som laks og sild i Østersøen (Fødevarestyrelsen, 2020b). Foder til mink består typisk af fiskerester fra fiskeindustrien, og det må derfor forventes, at der vil være et indhold af dioxiner og dioxinlignende PCB'er i foderet, der potentielt kan ophobes i minkene. Tidligere studier har vist at de dioxinlignende PCB'er akkumuleres i det subkutane kropsfedt på mink, hvor der kan ophobes op til 38 gange diætniveauet og i enkelte individer helt op til 200 gange. PCB'er ophobet i fedtvævet på mink er målt til at have en halveringstid på 98 dage (Hornshaw et al., 1983; Bursian et al., 2018).

Det er ikke fundet konkret viden om indhold af dioxin og PCB'er i minkfoder, men i henhold til NOVANA overvågningen – delprogram marine områder, viste dioxindata i fisk fra perioden 2016-

NOTAT

Side 22 af 44

2018 generelt et indhold over gældende grænseværdier for PCB (Hansen & Høgslund, 2019). Modsat viser Fødevarestyrelsen i en slutrapport om dioxin og PCB-indholdet i Østersø laks, at koncentrationerne er faldet siden 2005 og i ingen af de undersøgte laks var grænseværdierne for dioxin eller summen af dioxin og PCB overskredet (Fødevarestyrelsen, 2019).

Indholdet af dioxiner og dioxinlignende PCB'er i de begravede mink er således usikkert. Risikoen for nedsivning af kritisk høje koncentrationer af dioxin og PCB'er fra nedgravningsområderne vurderes dog umiddelbart at være lille, bl.a. fordi minkene ikke alene fodres med fisk.

Kviksølv findes også som en generel miljøforurening, der ligesom dioxinerne og PCB'er ophobes gennem fødekæden og vil på samme måde ophobes i store rovfisk, som for eksempel tun (Fødevarestyrelsen 2020c). Kviksølv ophobes primært som methyl-kviksølv (MeHg), og i mink ophobes det primært i lever, nyre, og hjerne, men bliver også i lavere koncentrationer ophobet i muskler og skind. Et studie viser at indholdet af kviksølv i vilde mink er en størrelsesorden højere end i de fisk, de lever af fra det samme flodsystem (Kucera 1982; Tollefson & Cordle 1989). Indholdet af kviksølv i de begravede mink kendes ikke, men det forventes, at der vil være et indhold, da overvågningen af fiskebestande i de danske farvande viser et indhold af kviksølv i fisk (Hansen & Høgslund, 2019). Det forventes ikke umiddelbart at kviksølv udvasker til grundvandet, men det er tidligere vist, at kalkning har en signifikant effekt på omdannelsen af tungmetal-forbindelser ved ændring af de kemiske og mikrobielle forhold (f.eks. Wong & Selvam, 2006).

Antibiotika

Antibiotikaforbruget i mink er højest omkring maj, hvor de får hvalpe og lidt lavere hen over efteråret, indtil de bliver pelset. Antibiotika bliver typisk administreret og doseret til besætningen via foderet, hvilket betyder, at langt flere end de syge mink bliver behandlet (Jensen et al., 2016). Da de fleste antibiotika er vandopløselige, anslås det, at 30-90% af det tildelte antibiotika ikke optages i dyrene, men udskilles i urin og fæces (Sarmah et al. 2006).

De hyppigst anvendte antibiotika til behandling af mink er amoxicillin (aminopenicillin), doxycyklin (tetracyklin), tylosin (makrolid) og lincomycin (lincosamid) i kombination med spectinomycin, og disse fem stoffer tilsammen udgør mere end 85% af alle anvendte doser administreret til mink på årlig basis (pers. komm. Vibeke F. Jensen, DTU Sundhedsteknologi). Sulfonamiderne, sulfadiazin og sulfamethoxazol anvendes også, men i mindre grad.

I henhold til "Bekendtgørelsen om dyrlægers anvendelse, udlevering og ordinerings af lægemidler til dyr" (BEK nr. 1227 af 19/11/2019), må dyrlæger i perioden 1. august til 1. december ordinere receptpligtige antibiotika til anvendelse i indtil 63 dage til enkelt mink og hele besætninger, hvor der er stillet en besætningsdiagnose og i 35 dage, hvor der ikke foreligger en besætningsdiagnose. Minkfarmerne kan derfor have fået ordineret antibiotika før beslutningen om aflivning blev truffet

NOTAT

Side 23 af 44

d. 3. november 2020, hvorfor de har haft mulighed for at behandle deres besætninger lige op til aflivningen. Derfor kan der potentielt set være antibiotika både optaget i kroppen på minkene samt i den fæces der vil være i tarmsystemet på minkene.

Som beskrevet tidligere findes der ingen danske studier af nedsivning fra nedgravede husdyr, hvorfor vurderingen af nedsivning af antibiotika fra nedgravningsområderne hovedsageligt er baseret på undersøgelserne, der er foretaget i forbindelse med de store udbrud af mund- og klovsyge i Korea og UK (Chowdhury et al., 2019; Kim & Kim, 2012; Koh et al., 2019; MacArthur et al., 2003).

I et studie af Lim et al. (2014) blev koncentrationen af antibiotika i jorden omkring to lokaliteter med nedgravede kvæg sammenlignet med to næved liggende marker i landbrugsdrift. Der blev i studiet analyseret for fem tetracycliner og to sulfonamider, men kun tetracyclin og sulfamethazin blev fundet i højere koncentrationer i jorden fra nedgravningslokaliteterne. De målte koncentrationer af tetracyclin i jord var 144,26–350,73 µg/kg ved nedgravningslokaliteterne og 134,16–320,73 µg/kg i landbrugsjorden, mens koncentrationen af sulfamethazin var noget lavere og på henholdsvis 17,72–44,94 µg/kg og 6,48–8,85 µg/kg. De resterende antibiotika blev ikke detekteret i jord fra nogen af lokaliteterne. Studiet konkluderede, at antibiotika fra de nedgravede husdyr, på trods af det høje niveau i landbrugsjorden, potentielt ville kunne bidrage yderligere til forurening af det omkringliggende jordmiljø og være kilde til grundvandsforurening.

I et tilsvarende amerikansk studie af Yuan et al. (2013) blev der i en periode på 20 måneder monitoreret for 17 veterinære antibiotika (monensin, ractopamine, tylosin, sulfonamider og tetracycliner) og 20 steroid hormoner (inkl 17 α -estradiol, androsteron, estriol, estrone og testosteron) i nedsivningsvand fra nedgravede kvæg. De fleste af forureningskomponenterne blev fundet i nedsivningsvandet efter 50 dage og toppede i koncentration ca 150 dage efter nedgravning, hvorefter koncentrationerne var tilbage til baggrundsniveauerne efter 400 dage. De stoffer, der blev observeret i de højeste koncentrationer i nedsivningsvandet var østrogenerne 17 β -estradiol (20 µg/L) og det veterinære antibiotika, monensin (12 µg/L). Yuan et al. (2013) estimerede den totale belastning med steroid hormoner og veterinære antibiotika til at være henholdsvis 1.84 og 1.01 µg pr. kg nedgravet kvæg. Der blev ikke monitoreret for nedbrydningsprodukter i dette studie.

Det er ikke muligt at sammenligne disse tal direkte med indholdet i danske husdyr, da vi i Danmark har et af de laveste forbrug af antibiotika på verdensplan i vores dyrehold. Dog er det sandsynligt, at der ved nedgravning af ca. 5.000 ton mink på én lokalitet vil være rester af antibiotika i nedsivningsvandet. Forudsætningen er dog, at minkbesætningerne har været i behandling med antibiotika i perioden op til aflivning.

NOTAT

Side 24 af 44

Desinfektion

Der har i forbindelse med nedgravningen af minkene været anvendt desinfektionsmidlet Virkon S til desinfektion af det anvendte materiel (Fødevarestyrelsen, 2020d). De anvendte mængder af Virkon S kendes ikke. Det koncentrerede middel indeholder primært (50-70 %) af den uorganiske forbindelse pentakalium-bis(peroxymonosulfat)-bis(sulfat) samt 10-20 % benzensulfonsyre (Virkon, 2018).

Det vurderes ikke at pentakalium-bis(peroxymonosulfat)-bis(sulfat) vil være et problem i forhold til nedsivning til grundvandet, da det formentlig nedbrydes relativt hurtigt og er et uorganisk salt.

Benzensulfonsyre er en linær alkylbenzen sulfonat (LAS) og er på listen over uønskede stoffer hos Miljøstyrelsen. Den udgør mere end 98% af det LAS, der sælges på det europæiske marked. LAS er ikke klassificeret med carcinogene, mutagene eller reproduktionsskadende egenskaber og er ikke opført på EUs liste over stoffer med registrerede hormonforstyrrende egenskaber. LAS anses for at være let nedbrydeligt i det akvatiske miljø og for at være ikke-bioakkumulerbart. Kun under anaerobe forhold er LAS ikke ultimativt anaerobt bionedbrydeligt (Miljøstyrelsen, 2009). Da forholdene i minkgravene må forventes at være anaerobe, vil dette måske have en betydning for nedbrydningen af LAS.

Da der ikke foreligger oplysninger om og hvor meget Virkon S, der er anvendt i og omkring gravene og hvorvidt der foretages opsamling af vand med midlet i, vides det ikke, om det vil have en betydning for miljøet.

7. Mulig nedsivning af vira og bakterier fra nedgravningsområderne

Som for vurderingen af nedsivning af organiske, uorganiske og miljøfremmede stoffer, er vurderingen af nedsivning og videre transport af vira og bakterier baseret på den viden, der findes fra nedgravning af kvæg, svin og fjerkræ – særligt i UK og Korea. Ud over en forventelig forekomst af coronavirus i den aktuelle situation vil det også være relevant at undersøge for typiske vira og bakterier fra tarmfloraen som for eksempel enterovira og fækale coliforme bakterier.

Overlevelse i nedgravningsområdet.

Selve nedgravningsområdet er opbygget med calciumoxid (CaO) under og over minkene, som ligger i et lag på 0,5 m eller mere (Fødevarestyrelsen, 2020a). Den udlagte calciumoxid i bunden af graven danner en barriere med højt pH (>12), hvilket umiddelbart reducerer spredningen af levende patogener bakterier og vira i væsker, som frigives fra de døde mink.

I en sammenlignelig matrix fra døde dyr fandt Avery et al. (2009), at 10 g CaO pr. liter biologisk affald medførte en inaktivering af *E. coli* O157:H2 under kontrollerede laboratorieforsøg. Sánchez et al. (2008) undersøgte effekten af henholdsvis 100 (10%), 200 (20%) og 300 (30%) g CaO pr. kg

NOTAT

Side 25 af 44

kropsvægt for fjerkræ og fandt, at alle tre koncentrationer var effektive i fjernelse af coliforme, *E. coli*, *Streptococcus faecalis*, *Salmonella*, *Listeria* og *Campylobacter*. Mellem dag 30 og dag 40 blev koncentrationen af bakterierne undersøgt. For den lave koncentration på 10% blev der målt coliforme bakterier frem til dag 93, og for 20% og 30% behandlingerne blev coliforme bakterier målt henholdsvis frem til dag 54 og 44. For pH resulterede 10% og 20% behandlingerne i pH værdier i intervallet 7,8 til 9,8, hvorimod 30% behandlingen resulterede i pH stigninger op til 12,25. Den effektive fjernelse af bakterier ved de tre calciumoxid koncentrationer kan også skyldes, at der under forrådnelsen blev målt temperatur op til 50 °C i midten af matricen med døde dyr. Der er så vidt vides ikke målt temperaturer i midten af matricen af mink ved nedgravningsområderne i Jylland, men den information, det har været muligt at fremskaffe vedrørende temperaturmålinger ved gravene, tyder på, at der ved blanding af calciumoxid og vand kortvarigt opnås overfladetemperaturer omkring 1.000°C, og at minkene placeres i gravene, når en temperatur på 35°C relativt hurtigt herefter er nået (pers. komm. Carl J. Aarestrup, Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse; Fødevarestyrelsen, 2020a).

Ud over den tilsatte kalk, som øger pH uden for minkkroppen, sker der også en naturlig ændring i pH i minkkroppen. Ved rigor mortis starter glykolysen, hvor der produceres mælkesyre, som medfører, at pH reduceres til under 6. Gale (2002) vurderede, at virus hurtigt blev inaktiveret grundet kroppens pH-fald efter aflivning i inficerede kroppe med mund- og klovsyge (picornavirus). I et studie fra Skotland blev den naturlige forrådnelse og dertil hørende reduktion af pH påvirket af nedbør, hvilket bevirkede at pH ikke blev reduceret tilstrækkeligt til inaktivering af virus (MacArthur, 2003).

Overlevelse i jord og grundvand

Mikroorganismer, som er en naturlig del af kroppen, frigives i forbindelse med kroppens nedbrydning. I fordøjelsessystemet findes størstedelen af den mikrobielle biomasse, som består af specialiserede organismer, hvoraf størstedelen højst sandsynligt ikke vil overleve i jordmiljøet. Proteolytiske bakterier er medvirkende til nedbrydningsprocesserne, og kan leve både i en vært eller jord og grundvand. Proteolytiske bakterier kan blandt andet være *Enterococcus faecalis*, *E. gallinarum*, og *Proteus marabilis* (Kim & Kim, 2012). Hvor hurtigt en frigivelse af disse bakterier vil kunne ske fra nedgravningsområderne ved Kølvrå og Bovtrup vil blandt andet afhænge af i hvor stort et omfang håndteringen af minkene har forårsaget strukturelle skader på minkene.

Tarmbakteriers overlevelse i jordmiljøet er kompleks og er influeret af flere parametre som jordens vandindhold, temperatur og individuelle bakterielle egenskaber (Berry & Miller, 2005; Oliver et al., 2006; Semenov et al., 2007; García et al., 2010). Komplexiteten af disse parametre kan være en medvirkende forklaring på stor variation af overlevelsestider fra få uger til få måneder (Sandvang et al., 2000; Oliver et al., 2006; Leclercq et al., 2016). Det må forventes, at når en større mængde bakterier frigives fra en punktkilde, så vil det resultere i en længere overlevelsestid i det eksterne miljø sammenholdt med en mindre frigivet mængde bakterier. Udvaskningsstudier fra marker i det

NOTAT

Side 26 af 44

danske pesticidvarslingsprogram (VAP) har vist, at tarmbakterier genfindes op til seks måneder efter gylleudbringning (Bech et al., 2014), hvilket kan indikere, at tarmbakterier har en længere overlevelse i underjorden sammenholdt med almindeligvis 2-8 uger i pløjelaget. Fra nedgravningsområderne vil der som diskuteret ovenfor frigives en stor mængde organisk materiale, som muligvis vil forlænge overlevelsen af tarmbakterierne i den ellers mere næringsfattige underjord.

Det er fundet, at nogle tarmbakterier kan overleve i jordmiljøet (Ihssen & Egli, 2005). Dette skyldes, at tarmbakterier kan have udviklet egenskaber, som øger sandsynligheden for overlevelse både i og uden for værten (van Elsas et al., 2011). Øget overlevelse i miljøet kan kobles til øget virulens grundet udvikling af egenskaber som adhæsion, invasion, udskillelse af giftstoffer og mobilitet (Touchon et al., 2009). Derfor kan tarmbakterier, som overlever i jordmiljøet, være et potentielt problem. Specielt hvis disse også er antibiotikaresistente.

For vira forholder det sig anderledes, da de har brug for en vært for den videre overlevelse. De vigtigste parametre, som påvirker overlevelse i jord, er temperatur og vandindhold samt egenskaber ved den enkelte virus. I et review omhandlende vira i miljøet, blev der fundet op til 180 dages overlevelse i jord (Bosch et al., 2006). Et andet jordforsøg genfandt hepatitis A efter 12 uger og poliovirus og Echovirus efter 11 uger ved sammenlignelige grundvandstemperaturer (Sobsey et al., 1986). Der må formodes at være både køligt og fugtigt under minkgraven, hvilket fremmer persistensen i miljøet. Der vil dog centralt i nedgravningsområdet formentlig være forhøjede temperaturer grundet nedbrydningen af minkene, hvilket taler i modsat retning.

Vira med fækal oprindelse er generelt persistente i det akvatiske miljø og derfor typisk skyld i smitteudbrud fra drikkevand (Hynds et al., 2014). Det er imidlertid vigtigt i forhold til den konkrete problemstilling omkring nedgravning af smittede mink, at vurdere overlevelsen af SARS-CoV-2 i grundvand. Gundy et al. (2009) estimerede, at coronavirus (ATCC-740) ved 5 °C kunne overleve 392 dage i filtreret drikkevand, hvorimod virus kun overlevede i 6,76 dage ved 23 °C. Samme forsøg viste for poliovirus 135 dages overlevelse ved 5 °C og 43,3 dage ved 23 °C. I et nyt review af La Rosa et al. (2020) omhandlende coronavirus i vandmiljøet, blev det konkluderet at coronavirus må forventes, at have en lav stabilitet i det eksterne miljø. Desuden vil coronavirus inaktiveres hurtigere end enterovirus, som almindeligvis er den virus, der forurener drikkevand. Når man detekterer virus i miljøprøver, er det også vigtigt at forholde sig til, om den fortsat er virulent. I de studier, som har fundet SARS-CoV-2 i spildevand i 2020, har de fundne vira ikke været infektiøse (Medema et al., 2020). Studiet af Gundy et al. (2009) med estimeret overlevelse af corona på 392 dage er baseret på, at virus fortsat er virulent.

NOTAT

Side 27 af 44

8. Analogi til perkolatdannelse fra lossepladser med deponeret husholdningsaffald

Husholdningsaffald og industriaffald indeholdende organisk materiale blev i Danmark tidligere deponeret på almindelige lossepladser, og det er stadigvæk praksis i visse lande. Nedbrydningsforholdene af det organiske materiale i lossepladser har i en lang årrække været genstand for intensiv forskning mest i form af laboratoriestudier, men også udvalgte feltstudier. Nedbrydningsprocesserne og de resulterende perkolatsammensætninger er reviewet i Kjeldsen et al. (2002). Reviewet præsenterer sammenstillinger af perkolatkoncentrationer, som for den indledende syredannede fase ligger i samme niveauer for ammonium og generelt organisk stof (målt som BOD og COD), som observeret ved nedgravningsområder for husdyr. Det ses, at man hurtigt vil komme ind i den syredannende fase, hvor der også kan observeres lavt pH (< 6). Den omfattende indblanding af kalk i form af brændt kalk og hydratkalk og tilsætning af vand i nedgravningsområderne giver en indledende opvarmning af minklagene og en buffring af de lave pH-værdier under syredannelsen. Dette kan resultere i, at der opstår gunstige forhold for de metanogene bakterier, som vil begynde at omsætte de letomsættelige organiske forbindelser under iltfrie forhold. Herved dannes gas i form af metan og kuldioxid. Den dannede gas vil bevæge sig opad fra deponeret affald til det overliggende jorddække, og muligvis igennem det, resulterende i udslip af metan til atmosfæren. Den dannede gas kan indeholde andre flygtige forbindelser, som kan give gassen en kraftig lugt. Det frigivne ammonium omdannes ikke yderligere under de iltfrie forhold, så man ser en langvarig tilstedeværelse af ammonium i perkolatet i høje koncentrationer - også i den metandannende fase.

9. Risici for spredning af perkolatfaner til og i grundvandsmagasiner

Generelt om perkolatfaner

Adskillige studier af perkolatfaner i grundvandet er gennemført og rapporteret i litteraturen. Der er en variation i udbredelsen af sådanne faner, men de findes sjældent mere end 1.000 m fra kildeområdet (Christensen et al., 1994). Christensen et al. (2001) gennemgik de rapporterede studier af perkolatfaner med speciel fokus på detaljerede studier gennemført ved to danske lossepladser, Vejen Losseplads og Grindsted Losseplads. De fleste studier er lavet mange år efter at udsivningen fra lossepladserne er startet. Der findes ingen studier af den helt indledende fase, hvor det højkoncentrerede syrefaseperkolat siver ud og begynder dets transport i grundvandet.

Christensen et al. (1994; 2001) beskriver en vigtig proces, som kan være yderst relevant for de to nedgravningsområder med mink. Grundet det høje indhold af opløste stoffer vil perkolatet have en forøget densitet, som kan påvirke strømningsmønstret under nedgravningsområderne. Der rapporteres eksempler på en væsentlig nedadrettet strømning grundet perkolatets højere densitet end

NOTAT

Side 28 af 44

grundvandet, så perkolatet strømmer nedad i de grundvandsførende lag og kan være til stede i stor dybde i grundvandet få meter nedstrøms depotområdet.

De stoffer, som findes i lossepladser, kan opdeles i ”klassiske” perkolatparametre, miljøfremmede organiske stoffer og tungmetaller. Perkolatparametrene er fortrinsvis organisk stof og en lang række uorganiske stoffer såsom klorid, kalium, ammonium og jern. I forhold til risikoen for forurening af overfladevand betyder forekomsten af organisk stof, ammonium og jern, at der potentielt kan ske et stort iltforbrug ved udsivning til overfladevand. Ammonium, jern, en række tungmetaller samt specifikke miljøfremmede stoffer har også en toksisk effekt, som er afspejlet i kvalitetskriterierne for både grundvand, drikkevand og overfladevand. Ammonium udgør desuden en kilde til kvælstofbelastning af overfladevand. Som nævnt tidligere vil der også i nedgravningsområderne mobiliseres fosfor som potentielt kan bidrage til næringsstofbelastning af overfladevand. Tidligere lossepladsstudier viser varierende indhold af fosfor i grundvandet (Kjeldsen et al., 2002), og det vil formentlig være den konkrete sammensætning af perkolatet, der sammen med lokale geokemiske forhold er bestemmende for, hvor mobilt fosfor er i et specifikt tilfælde.

Christensen et al. (2000; 2001) beskriver de redox-reaktioner, som vil opstå, når perkolatet strømmer videre i grundvandets strømningsretning. Disse er i høj grad styret af perkolatets indhold af letomsætteligt organisk stof. Under perkolatets transport i grundvandet vil der ske væsentlige omsætningsprocesser, som vil reducere perkolatkoncentrationerne videre nedstrøms, primært på grund af fortynding og mikrobielle omsætningsprocesser. Ved transport i oprindeligt iltholdige grundvandslag, kan der opstå iltfrie forhold, som vil reducere sedimenternes indhold af iltede jern- og manganforbindelser, så der dannes høje opløste koncentrationer af reduceret jern og mangan i grundvandet. Der er mange eksempler på, at perkolatfaner har nået nedstrøms beliggende overfladevand, hvor jern og mangan i perkolatet geniltes med dannelse af rødlige okkerforbindelser (Bjerg et al., 2014).

Perkolatets ammonium indhold vil under perkolatets transport blive påvirket af ionbytning med naturlige forekommende kationer, primært calcium, som kan give en nedsat transporthastighed for ammonium i de grundvandsførende lag. Tilbageholdelsen er primært styret af sedimenternes ionbytningskapacitet, som for sandede aflejringer vil være mindre end 5 meq/100 g. Ved meget høje koncentrationer af ammonium og andre kationer, vil tilbageholdelsen være begrænset, men i takt med fortynding og kontakt med stigende mængder af sediment, vil tilbageholdelsen øges (Bjerg & Christensen, 1993). Ammonium kan også ved hjælp af ilt nitrificeres til oxiderede kvælstof-forbindelser, primært nitrat. Dette kræver, at der sker en geniltning af perkolatfanen ved at ilt fra omgivelserne blandes ind i fanen – inden fanen løber ud i et grundvandsfødt overfladevand. Der er også rapporteret, at ammonium kan omdannes til frit kvælstof under iltfattige forhold ved den såkaldte anammoxprocess, som bl.a. er kendt fra spildevandsrensning og i sedimenter i havet.

NOTAT

Side 29 af 44

Tungmetaller vil som udgangspunkt ikke være mobile under de pH værdier og reducerede forhold, der ofte findes i en losseplads i den metanogene fase (Christensen et al., 2001). Under den første syredannende fase kan der forventes transport af eventuelle tungmetaller i grundvandet, hvis pH er tilstrækkelig lav. Der er dog ingen rapporterede studier af dette fra lossepladsfaner, men fra studier af forsurede grundvandsmagasiner vides det, at lave pH værdier (<5,5) kan medføre mobilisering af tungmetaller såsom nikkel, kobolt og cadmium fra sedimenter, der er sammenlignelige med smeltevandssandet ved nedgravningsområderne (Kjøller et al., 2004).

I selve forureningsfanen vil der, afledt af omsætning af det organiske stof, ske en mobilisering af metaller p.g.a. reduktion af iltede jern- og manganforbindelser. En del tungmetaller vil effektivt udfælde med karbonat (fx bly og kobber) og/eller udfælde som sulfider under stærkt reducerede forhold (fx kobber og zink) (Kjeldsen et al., 2002). En undtagelse herfra er arsen, der vil være mere mobilt under reducerede forhold, idet As(III) kun tilbageholdes svagt i reducerede grundvandsmagasiner (f.eks. Postma et al., 2016). I en udstrømningszone ved overgangen til oxiske forhold vil arsen og en række andre tungmetaller sandsynligvis udfælde via co-precipitation med eller sorption på jernoxider og være at finde i okkeraflejringer i vandløbsbunden, brinken eller i dræn. Tilbageholdelse i brinker og dræn kan forhindre spredning af tungmetaller til vandløbet, men tungmetallerne vil kunne mobiliseres som kolloider ved stor vandføring eller oversvømmelse af brinken. Binded tungmetallerne til oxiderne ved sorption, vil der være en sorptionsligevægt, der betinger, at der er en vis mængde af tungmetaller i vandfasen, som vil afhænge af de konkrete geokemiske forhold i grundvandsmagasinet (f.eks. Kjøller et al., 2004; Kjøller et al., 2006).

Miljøfremmede stoffer

Miljøfremmede organiske stoffer vil ofte undergå en betydelig nedbrydning under de forskellige redoxforhold, der er dannet på grund af nedbrydning af organisk stof (Bjerg et al., 2011). På baggrund af de tidligere studier, der viser, at nedgravning af aflivede landbrugsdyr vil kunne give ophav til antibiotika i nedsivningsvandet, vil der potentielt kunne ske en transport af antibiotika med nedsivningsvandet og videre til grund- og overfladevand.

Udvaskning af antibiotika til grundvand efter en gylleudbringning på en opsprækket lermark fra varslingssystemet (VAP) er også blevet undersøgt under NOVANA overvågningsprogrammet (Mogenssen et al., 2007). Der blev ikke fundet antibiotika i hverken dræn- eller grundvand under marken og heller ikke i vandløb i oplande med gylleudbringning. Der faldt meget lidt nedbør i perioden efter gylleudbringning, hvorfor det ikke er muligt på denne baggrund at drage konklusioner om risikoen for udvaskning af lægemidler fra gylleudbringningen. Modsat det danske udvaskningsstudie fra VAP, er udvaskning af antibiotika fra gylleudbringning blevet rapporteret flere gange i udenlandske studier (mfl. Sarmah et al. 2006; Spielmeyer et al. 2017; Kivits et al. 2018; Blackwell et al. 2009; Kaczala & Blum 2016; Burke et al. 2016). I det tyske studie fra Spielmeyer et al. (2017) blev der i vandprøver, udtaget i 1,4 m dybde under en sandet mark behandlet med gylle fra slagtesvin- og kødkvæghold, fundet sulfonamidet sulfamethazin i koncentrationer op til 0,1 µg/L. Desuden viste

NOTAT

Side 30 af 44

feltlysimeterforsøg, med sulfonamid-beriget gylle, at der fire år efter gylleapplikationen stadig kunne detekteres sulfonamider i udløbsvandet. Spielmeyer et al. (2017) konkluderede på denne baggrund, at marker gødet med gylle indeholdende sulfonamider kan være en kilde til langtidsudvaskning af antibiotika til grundvand. Kivits et al. (2018) undersøgte tilstedeværelsen af veterinære antibiotika i grundvand i to regioner med intensivt dyrebrug i Holland. De målte for 22 forskellige antibiotika tilhørende grupperne: tetracycliner, sulfonamider, trimethoprim, beta-lactamer, makrolider, lincosamider, quinoloner, nitrofuraner og chloramphenicol og fandt lave koncentrationer af seks af stofferne (maks. koncentration på 0,02 µg/L), men de fandt antibiotika i 31 ud af 46 grundvandsfiltre og sulfamethoxazol og sulfamethazin blev fundet i alle dybder ned til 23 m under overfladen. Der blev ikke detekteret antibiotika under redoxgrænsen, hvorfor Kivits et al. (2018) noget generaliserende foreslår, at antibiotika nedbrydes under nitrat-reducerende forhold.

Det ses i flere af studierne, at specielt sulfonamiderne udvasker. Denne gruppe af antibiotika har både syre og base egenskaber og vil derfor afhængigt af pH forekomme enten som positivt ladede (lavt pH), neutrale eller anioniske (højt pH), og det er vist i batch forsøg, at sorptionen falder ved stigende pH (Białk-Bielińska et al., 2012; Zhang et al., 2014).

I et nyt dansk studie omhandlende forureningen fra Grindstedværket, undersøgte Balbarini et al. (2020), hvordan antibiotika i fanen fra værket transporteres i et grundvandsmagasin og videre til den nærliggende Grindsted å. Balbarini et al. (2020) observerede, at antibiotika enten ikke nedbrydes eller nedbrydes meget langsomt i grundvandsmagasinet. Desuden fandt de, at forureningsfanen transporteres flere kilometer, og at antibiotika stammende fra fanen kunne måles flere steder i Grindsted å.

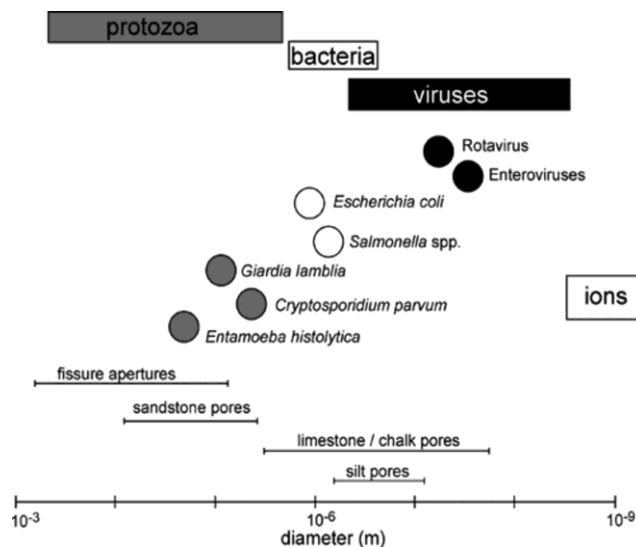
Ingen af de nævnte studier inkluderer nedbrydningsprodukter fra de undersøgte stoffer, men analyserer kun de anvendte aktive antibiotika.

Vira og bakterier

UK Department of Health har identificeret de største risici over for human sundhed fra massegrave som værende patogene bakterier, vandbårne protozoer og vira (Nutsch & Spire, 2004). Forurenede drikkevand forventes at være den mest sandsynlige smittevej. Udvaskning af mikroorganismer fra nedgravningsområderne i Jylland via den underliggende jord vil være afhængig både af geologien samt størrelse og overfladeegenskaber på organismen, der udvasker. I Figur 14 ses en sammenhæng mellem typiske størrelser for protozoer, bakterier og vira i forhold porestørrelser i geologiske materialer.

NOTAT

Side 31 af 44



Figur 14: Størrelse af protozoer, bakterier og vira (logaritmisk skala) sammenholdt med porestørrelse i forskellige geologiske materialer (Taylor et al., 2004).

Ud fra en størrelsesmæssig betragtning, må det forventes, at der er størst risiko for udvaskning af vira (Figur 14). Samtidig er vira også kendetegnet ved en lav infektions dosis (en virus partikel) i forhold til flere patogene bakterier. De mest typiske smitteudbrud i drikkevand skyldes bakterier (*E. coli* VTEC/EPEC, *Salmonella* og *Campylobacter Jejuni*) eller virus (enterovirus, norovirus og hepatitis A), hvor vira er skyld i et større antal udbrud end bakterier (Hynds et al., 2014). I et udvaskningsstudie, hvor der bl.a. blev undersøgt for udvaskning af vira fra en VAP-mark med udbragt gylle, blev det tydeligt vist, at de fire undersøgte vira hurtigt blev udvasket til dræn og kunne findes i op til 4 måneder efter gylleudbringning. Den ene af de fundne vira kunne yderligere detekteres i grundvandet i 3,5 m dybde 2 måneder efter gylleudbringning (Krog et al., 2017). De fire undersøgte vira blev detekteret ved qPCR og er derfor en påvisning af tilstedeværelse af specifikt DNA, men ikke en information om, hvorvidt vira er i stand til at inficere. Lignende data i et kontrolleret multi-kolonne lysimeterudvaskningsforsøg viste, at den største genfindelse blev observeret for henholdsvis *Salmonella* fag 28B, *E. coli*, og *C. parvum* oocysts (Forslund et al., 2011).

Joseph & Charles (1980) skriver i et review, at virus kan blive transporteret over større afstande i et porøst sediment bestående af sand og grus. Grundet den mindre størrelse er adhesion til partikler den vigtigste proces for fjernelse af vira i grundvandsmagasiner (Kumar et al., 2020). Specifikt for SARS-CoV-2 er det isoelektriske punkt 6,24 (Kumar et al., 2020), hvilket betyder, at ved en lavere pH end 6,24 forventes virus at have en positiv overflade, og ved pH værdier højere end 6,24 en neutral eller negativ overflade. En amerikansk undersøgelse viste, at Norovirus, som var skyld i ca. 20% af de virusrelaterede smitteudbrud, har en pI på 5,9 (Hynds et al., 2014; Kumar et al., 2020). Ved lave pH værdier vil overfladerne i et grundvandsmagasin være mere positivt ladede end ved høje pH værdier (Appelo og Postma, 2005). Da vira og overflader i grundvandsmagasinet således

NOTAT

Side 32 af 44

har samme ladning, er det derfor forventeligt, at SARS-CoV-2 også vil transporteres med vandet frem for at adsorbere til partikeloverfladerne.

I 1997 opstod et udbrud af mund- og klovsyge i Taiwan, hvor 3,8 millioner grise blev begravet (Hseu & Chen, 2016). Der blev i studiet målt coliform og fækal coliform, men begge bakterier blev detekteret både op- og nedstrøms i nedgravningsområdet, hvorfor det ikke entydigt kunne konkluderes, hvor de coliforme bakterier stammede fra.

I Korea blev 1.200 grundvandsprøver i forbindelse med 600 massegrave monitoreret for forekomsten af bakterier og vira. Der var en aftagende koncentration som funktion af afstanden fra graven. Norovirus og enterovirus blev fundet op til 400 m fra gravene og *E. coli* blev fundet op til 600 m fra gravene (Joung et al., 2013)

10. Øvrige effekter af nedbrydningen af mink – gasudvikling mv.

Ved en analogi til lossepladser med deponeret husholdningsaffald vil det forventes, at der dannes gas indeholdende primært metan og kuldioxid. De iltfrie omdannelsesprocesser danner erfaringsmæssigt mange kraftigt lugtende stoffer (fede syrer, mercaptaner, svovlbrinte mm), så ud over en fokus på udslippet af drivhusgassen, metan, kan lugt formentlig også blive en udfordring.

I litteraturen findes et enkelt studie af gasdannelse ved nedgravning af kvæg i massegrave. I studiet er der gennemført laboratoriestudier (Yuan et al., 2012), som viser et metandannelsespotentialt på mellem 0,09 og 0,33 m³ gas/kg tørvægt. I Tabel 1 er gasdannelsen estimeret ud fra denne undersøgelse samt en række antagelser om minkvægt, vandindhold i mink, mv. Endvidere er den arealmæssige metanflux op fra minklaget til det overliggende jorddække estimeret. Der opnås en estimeret gennemsnitlig metanbelastning til jorddækket på 13 g CH₄/(m² og dag). Belastningen vil umiddelbart efter at metandannelsen er startet være større, ligesom at arealmæssige variationer forventes at forekomme, så belastningen i tid og sted kan variere væsentligt fra dette estimat. Der forventes med den beregnede metanbelastning en betydelig metanoxidation i jorddækket, som i øvrigt vil kunne forøges ved iblanding af havekompost i de øverste lag af jorddækket. Iblanding af havekompost vil forventeligt også være effektivt til at tilbageholde lugtstoffer, og dermed reducere spredning af lugt til omgivelserne fra minkgravene.

NOTAT

Side 33 af 44

Tabel 1: Estimat for gasdannelse i minkgrave baseret på Yuan et al. (2012)

Gennemsnitlig gasdannelsepotentiale fra forsøg med døde køer (Yuan et al., 2012)	0,2 m ³ /kg DW
Halvdelen forudsættes at være metan	0,1 m ³ CH ₄ / kg DW
1 m ³ CH ₄ vejer 640 gram	64 gram CH ₄ / kg DW
Antal begravede mink	3.000.000
Estimeret vægt af en mink	2 kg
Estimeret vandindhold af mink	50 %
Tørvægt af en mink	1 kg
Total dannet metan	192 tons CH ₄
Anslået totalareal af alle minkgrave	8.000 m ²
Anslået varighed af metandannelsen	5 år
Den gennemsnitlige arealmæssige metanflux op til jorddækket	13 g CH ₄ /m ² og dag

NOTAT

Side 34 af 44

11. Forslag til overordnede elementer i et monitorings- og afværgeprogram

På baggrund af ovenstående gennemgang af mulige risici for forurening af grund- og overfladevand ved nedgravningsområderne, må det konstateres, at der særligt for grundvandet i områderne er en risiko for, at perkolat fra nedgravningsområderne giver anledning til forurening. Forurening af overfladevand synes mest sandsynligt via grundvandet grundet den forventede lave overfladiske afstrømning i begge nedgravningsområder. Dog bør der i området ved Kølvrå være særlig opmærksomhed på at vurdere risici for forurening af Hessellund Bæk.

Baseret på dette, og med den præmis, at de nedgravede mink forbliver nedgravet under de forhold, som der pt. er ved nedgravningsområderne, kan der gives en række generelle anbefalinger til elementer, der kan indgå i et monitorings- og afværgeprogram for nedgravningsområderne i forhold til beskyttelse af grund- og overfladevand.

Afværgetiltag, der bør gennemføres snarest muligt

Med en estimeret grundvandsdannelse i begge områder på mellem 400-600 mm pr. år og en afstand til grundvandsspejlet fra bunden af gravene på 1,5-3,5 m, vil det - under antagelse af et vandindhold på 10% i den umættede zone - tage 3-10 måneder før regnvand, der infiltrerer via bunden af selve gravene når grundvandsspejlet lige under gravene. Denne nedsivningshastighed kan reduceres væsentligt, hvis det undgås, at der sker infiltration af regnvand i gravene. Det anbefales derfor, at nedgravningsområderne snarest muligt overdækkes, så infiltration i graveområderne undgås. For at undgå, at gas, der udvikles i gravene, ikke kan undslippe, bør overdækningen ventileres på en måde, så lugtgener også undgås. Det anbefales i øvrigt, at metanudslippet reduceres mest muligt.

Med et estimeret vandindhold i minkene på 50% (jf. beregninger ovenfor for gasflux) vil der også i selve gravene dannes væske. Det er ikke muligt at vurdere, hvilken viskositet (hvor tyktflydende) denne væske har og med hvilken hastighed væsken dannes. Uanset at graveområderne overdækkes for at reducere udvaskningen, vil denne væske imidlertid sive ud af gravene. Et "worst-case scenario" vil være, at viskositeten af væsken er som vand, og at der dannes så meget væske, at der opstår et frit vandspejl i gravene og derved mættet vertikal strømning gennem den umættede zone. Antages en vertikal hydraulisk ledningsevne på $1 \cdot 10^{-4}$ m/s og en porøsitet på 25% vil perkolatet i dette tilfælde nå grundvandsspejlet på under et døgn. I virkeligheden vil både højere viskositet og umættet strømning begrænse denne nedsivningshastighed, men baseret på eksemplet anbefales det, at det ved etablering af monitoringsboringer prioriteres først at etablere monitoringsboringer, der så vidt muligt kan monitorere under selve nedgravningsområderne.

NOTAT

Side 35 af 44

Moniteringsprogram – overordnede betragtninger

De høje koncentrationer af både uorganiske og organiske stoffer i perkolatet må, som beskrevet, forventes at give anledning til en høj densitet i perkolatet sammenlignet med grundvandet, hvorfor der under et nedgravningsområde vil være en relativt høj vertikal gradient. Som allerede indikeret ovenfor, er det væsentligt at tage højde for dette, når moniteringsprogrammet tilrettelægges, så moniteringsboringer placeres direkte under nedgravningsområderne for at kunne følge spredning af perkolatet til dybere lag og tilrettelægge afværgeforanstaltninger i overensstemmelse hermed.

Da forekomsten af lerlag netop i sådan et tilfælde kan have stor betydning for spredningen af forurening, er det væsentligt at have et detaljeret kendskab til geologi og hydrogeologi i områderne. Herunder er det væsentligt at kunne give en bedre vurdering af, hvordan den geologiske opbygning er i det komplekse geologiske område ved Bovtrup, mens det ved Kølvrå er væsentligt at vide, om det lerlag, der i DK-modellen adskiller et øvre sandmagasin fra et nedre sandmagasin i virkeligheden findes, og om det i givet fald udgør en hydraulisk barriere mellem de to sandmagasiner.

Det anbefales derfor, at der gennemføres detaljerede geologiske og hydrogeologiske undersøgelser i områderne. Undersøgelserne kan f.eks. omfatte detaljeret kortlægning under anvendelse af moderne geofysiske metoder som tTEM samt hydrogeologiske undersøgelser inkluderende lokale pejleboringer, hydrauliske test og fastlæggelse af om overfladevand i områderne har kontakt til det terrænnære grundvand. Umiddelbart vurderet indgår nogle af disse elementer allerede i de undersøgelsesprogrammer, der pt. er iværksat af Miljøstyrelsen i områderne (pers. komm. Jesper Schiött Jensen, Miljøstyrelsen).

Da der grundet det høje indhold af opløste stoffer i perkolatfanen formentlig vil være markant forskel på resistiviteten af fanen og det omkringliggende grundvand, kan det også være en mulighed at etablere et permanent net af målestationer til resistivitetsmålinger. Dette vil muligvis kunne anvendes til at følge forureningsudbredelsen i områderne.

Det anbefales desuden, at der etableres moniteringsstationer i overfladevandsrecipienter i områderne omkring nedgravningsområderne. Særlig opmærksomhed bør rettes mod at undersøge, hvorvidt der kan ske spredning af forurening via Hessellund Bæk ved lokaliteten ved Kølvrå.

Baseline målinger i både grundvand og overfladevand anbefales også, hvorfor etablering af moniteringsstationer bør gennemføres relativt hurtigt. Så vidt vides indgår dette også i de undersøgelsesprogrammer, der pt. er iværksat af Miljøstyrelsen i områderne (pers. komm. Jesper Schiött Jensen, Miljøstyrelsen).

Endelig anbefales det, at et kommende moniteringsprogram med indsamling af ”hårde” data suppleres med modelberegninger. Modellerne kan f.eks. være lokale hydrogeologiske modeller, der

NOTAT

Side 36 af 44

kan bidrage til en vurdering af den forventede forureningsspredning, men også modeller for nedbrydning af minkene og transport af forskellige forureningskomponenter kan være anvendelige. Både simple håndberegninger, analytiske modeller og mere avancerede numeriske modeller vil være nyttige f.eks. i forbindelse med en senere risikovurdering.

Moniteringsprogram – stoffer der kan være relevante at monitorere

I de monitoringsstationer, der etableres i områderne, bør det overvejes at monitorere for en række forskellig kemiske stoffer. Der er i dette afsnit angivet alle de stoffer, som vi i gennemgangen har identificeret som mulige stoffer, der kan nedsive fra nedgravningssområderne. Det kan overvejes, om der inden fastlæggelse af det endelige monitoringsprogram kan udvælges enkelte indikatorstoffer, som gør analyseprogrammet mindre omfattende.

Naturlige stoffer:

Følgende naturligt forekommende stoffer bør overvejes til monitoringsprogrammet:

Feltparametre (ilt, pH, redox, elektrisk ledningsevne, temperatur)

Natrium

Kalium

Calcium

Magnesium

Jern(opløst) (kan fortælle noget om ændrede redox-forhold i grundvandsmagasinet)

Mangan (kan fortælle noget om ændrede redox-forhold i grundvandsmagasinet)

Hydrogencarbonat

Klorid (kan evt. sammen med generel ionstyrke fungere som indikator for en evt. forureningsfanefront)

Sulfat

Nitrat

Nitrit

Ammonium

Total-N (inklusive organisk)

Ortho-fosfat

Total-P (inklusive organisk bundet)

BOD

NVOC

Phenol

Para-cresol/cresoler

Mono-nitrophenoler

Arakidonsyre (som indikator-stof – stabilitet i grundvandsmagasiner kendes dog ikke)

Kviksølv

Nikkel

Bly

Cadmium

Kobolt

Arsen

NOTAT

Side 37 af 44

Miljøfremmede stoffer:

Det anbefales at gennemføre et screeningsprogram i tråd med de tidligere NOVANA programmer, hvor der monitoreres på overflade- og grundvand for de hyppigst anvendte veterinære antibiotika, østrogener og dioxiner og PCB'er:

Amoxicillin
Doxycycline
Tylosin
Lincomycin
Spectinomycin
Sulfadiazin
Sulfamethoxazole
17 β -østradiol/steroider
PCB'er
Dioxiner

Vira og bakterier:

Da der er nogen usikkerhed forbundet med, hvilke bakterier, der kan overleve og udvaskes fra nedgravningsområderne, anbefales det at måle for en række forskellige bakterier og vira som dækker nogle af de mest almindelige smitekilder fra mink, og smitekilder detekteret i grundvand:

Termotolerante coliforme
E. coli
Enterococcus faecalis
Enterovirus
Norovirus
Enteritis, Astrovirus
Enteritis, Parvovirus
Coronavirus (SARS-CoV-2)
Clostridium perfringens /botulinum (sporedannende)
Pseudomonas Aeruginosa

Risikovurdering

Inden for rammerne for udarbejdelse af dette notat har det ikke været muligt at foretage en egentlig risikovurdering, hvor sandsynlighed og konsekvens af de mulige trusler vurderes. Det har alene været muligt at beskrive de potentielle trusler, der kan være i forhold til at forurene grund- og overfladevand i de to områder ved Kølvrå og Bovtrup til brug for Miljøstyrelsen's videre arbejde med monitoring og eventuel afværge i områderne.

NOTAT

Side 38 af 44

Det anbefales derfor sideløbende med monitorering og eventuel afværgelse i områderne at foretage risikovurderinger for de forventede forureninger fra nedgravningsområderne. Sådanne risikovurderinger bør inkludere overvejelser om bl.a. kildestyrker, koncentrationsniveauer, varighed, transport, spredning og mindskelse af forureninger for at vurdere effekter på miljøet, og særligt grund- og overfladevand. Der kan med fordel anvendes forskellige modelbetragtninger og beregning af forskellige scenarier for at vurdere udviklingen på kort og længere sigt. Dette kan suppleres med vurdering af forskellige afværgescenarier for etablering af de mest optimale afværgeløsninger.

Afværgelse i øvrigt

Et egentligt afværgesprogram kan der først tages stilling til, når der kendes mere til den aktuelle perkolatfane fra nedgravningsområderne. Afværgelse vil dog formentlig skulle indeholde et element af traditionel ”pump and treat”, hvor forureningen oppumpes og renses på lokaliteten for at muliggøre re-infiltration af vand til grundvandsmagasinet.

Det anbefales i øvrigt at undersøge mulighederne for at etablere afværgesforanstaltninger direkte under nedgravningsområderne.

NOTAT

Side 39 af 44

12.Referencer

Appelo, C.A.J. & D. Postma (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2nd ed. A. A. Balkema Publisher.

Avery, L.M et al. (2009). Heat and lime-treatment as effective control methods for *E. coli* O157:H7 in organic wastes. *Bioresour. Technol.* 100(10): 2692–2698. doi: 10.1016/j.biortech.2008.12.044.

Balbarini, N. et al., (2020). Assessing the Transport of Pharmaceutical Compounds in a Layered Aquifer Discharging to a Stream. *Groundwater* Vol. 58, No. 2. pages 208–223.

Bech, T.B. et al. (2014). Factors influencing the survival and leaching of tetracycline-resistant bacteria and *Escherichia coli* through structured agricultural fields. *Agric. Ecosyst. Environ.* 195: 10–17. doi: 10.1016/j.agee.2014.05.017.

Berry, E.D. & D.N. Miller (2005). Cattle feedlot soil moisture and manure content: II. Impact on *Escherichia coli* O157. *J. Environ. Qual.* 34(2): 656–663. wos:000228014800029.

Białk-Bielińska, A. et al. (2012). Sulfadimethoxine and sulfaguanidine: Their sorption on natural soils. *Chemosphere.* 86:1059-1065.

Bjerg, P et al. (2011). Natural attenuation processes in landfill leachate plumes at three Danish sites. *Ground Water*, 49(5), 688-705.

Bjerg, P et al. (2014). Risikovurdering af lossepladser påvirkning af overfladevand. København K: Miljøstyrelsen, 77 p. Miljøprojekt nr. 1604.

Bjerg, P.L. & T.H. Christensen (1993). A field experiment on cation exchange affected multi component solute transport in a sandy aquifer. *Journal of Contaminant Hydrology*, 12, 269-290.

Blackwell, P.A. et al. (2009). Effects of agricultural conditions on the leaching behaviour of veterinary antibiotics in soils. *Chemosphere* 75:13–19.

Bosch, A. et al. (2006). Survival and Transport of Enteric Viruses in the Environment. *Viruses in Foods*. Springer US. p. 151–187

Burke, V. et al. (2016). Occurrence of Antibiotics in Surface and Groundwater of a Drinking Water catchment Area in Germany. *Water environment research*, 88(7): 652-659.

Bursian, S.J. et al. (2018). Use of Polychlorinated Biphenyl and Toxic Equivalent Concentrations in Scat From Mink (*Neovison vison*) Fed Fish From the Upper Hudson River to Predict Dietary and Hepatic Concentrations and Health Effects. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(2): 563–575.

Chowdhury, S. et al. (2019). A critical review on risk evaluation and hazardous management in carcass burial. *Process Safety and Environmental Protection* 123: 272–288.

Christensen, T.H. et al. (1994). Attenuation of pollutants in landfill leachate polluted aquifers. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology*, 24, 119-202.

Christensen, T.H. et al. (2000). Characterization of redox conditions in groundwater contaminant plumes. *Journal of Contaminant Hydrology*, 45, 165-241.

NOTAT

Side 40 af 44

Christensen, T.H. et al. (2001). Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry*, 16, 659-718.

Dekeirsschieter, J. et al. (2009). Cadaveric volatile organic compounds released by decaying pig carcasses (*Sus domesticus* L.) in different biotopes, *Forensic Science International* 189:46–53.

Forslund, A. et al. (2011). Leaching of *Cryptosporidium parvum* oocysts, *Escherichia coli*, and a *Salmonella enterica* serovar typhimurium bacteriophage through intact soil cores following surface application and injection of slurry. *Appl. Environ. Microbiol.* 77(22). doi: 10.1128/AEM.05675-11.

Fyns Amt (2002). Miljøfremmede stoffer i flydende husdyrgødning. [online adgang 2020-12-02] https://www2.dmu.dk/1_om_dmu/2_tvaer-funk/3_fdc_loop/MFSGylle/Dokument/gyllerapport_feb.pdf.

Fødevarestyrelsen (2019). Slutrapport for Dioxin og PCB i fisk fra Østersøen [online adgang 2020-11-29] <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/Slutrapport%20-%20Dioxin%20og%20PCB%20i%20fisk%20fra%20%20C3%98sters%20%20C3%B8en%202019%20endelig.pdf>

Fødevarestyrelsen (2020a). SOP for nedgravning af aflivede mink – mink fra zone 1, zone 2 og zone 3. Fødevarestyrelsen, 12. november 2020 version 2.

Fødevarestyrelsen (2020b). Dioxin I fisk. [online adgang 2020-11-28] <https://www.foedevarestyrelsen.dk/Leksikon/Sider/Dioxin-i-fisk.aspx>

Fødevarestyrelsen (2020c). Kviksølv i fødevarer. [online adgang 2020-11-28] <https://www.foedevarestyrelsen.dk/Leksikon/Sider/Kviks%C3%B8lv-i-f%C3%B8devarer.aspx>

Fødevarestyrelsen (2020d). SOP (Anvisning) for rengøring og desinfektion af lastbiler, maskiner, containere, udstyr og materiel ved nedlukning af nedgravningsområderne. Fødevarestyrelsen, 16. november 2020.

Gale, P.M. (2002). Risk assessment: use of composting and biogas treatment to dispose of catering waste containing meat: Final report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs.

García, R. et al., (2010). Influence of Temperature and Predation on Survival of *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium and Expression of *invA* in Soil and Manure-Amended Soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 76(15): 5025–5031. doi: 10.1128/AEM.00628-10.

GEUS (2002a). Undersøgelse af smeltevandsaflejringer indenfor proximale smeltevandssletter. Basisdata fra undersøgelser på Karup og Tinglev hedeslette. KUPA rapport nr. 8. GEUS 2002.

GEUS (2002b). Undersøgelse af smeltevandssand af Saale alder på bakkeø, basisdata fra Skovbjerg og Esbjerg bakkeø. KUPA rapport nr. 9 GEUS 2002.

Gundy, P.M et al. (2009). Survival of Coronaviruses in Water and Wastewater. *Food Environ. Virol.* 1(1): 10–14. doi: 10.1007/s12560-008-9001-6.

Hansen, B. & D. Postma (1995). Acidification, buffering, and salt effects in the unsaturated zone of a sandy aquifer, Klosterhede, Denmark. *Water Resour. Res.*, 31: 2795-2809.

Hansen J.W. & S. Høgslund (red.) (2019). Marine områder 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 156 s. - Videnskabelig rapport fra DCE nr. 355.

NOTAT

Side 41 af 44

Henriksen, H.J et al. (in prep.). Udvikling af landsdækkende modelberegninger af terrænnære hydrologiske forhold i 100m grid ved anvendelse af DK-modellen. Sammenfatnings- og dokumentations rapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Information og Prognosesystem (HIP4Plus). GEUS. December 2020.

Hornshaw, T.C. et al. (1983). Feeding Great Lakes fish to mink: effects on mink and accumulation and elimination of PCBs by mink. *J Toxicol Environ Health*. 11 (4-6):933-46.

Hseu, Z.-Y., & Z.-S. Chen (2016). Experiences of Mass Pig Carcass Disposal Related to Groundwater Quality Monitoring in Taiwan. *Sustainability* 9(1): 46. doi: 10.3390/su9010046.

Hynds, P.D. et al. (2014). Contamination of Groundwater Systems in the US and Canada by Enteric Pathogens, 1990–2013: A Review and Pooled-Analysis (M. Kirk, editor). *PLoS One* 9(5): e93301. doi: 10.1371/journal.pone.0093301.

Ihssen, J. & T. Egli (2005). Global physiological analysis of carbon- and energy-limited growing *Escherichia coli* confirms a high degree of catabolic flexibility and preparedness for mixed substrate utilization. *Environ. Microbiol.* 7(10): 1568–1581. doi: 10.1111/j.1462-2920.2005.00846.x.

Jensen, V.F et al. (2016). Factors associated with usage of antimicrobials in commercial mink (*Neovison vison*) production in Denmark. *Prev. Vet. Med.* 126: 170–182. doi: 10.1016/j.prevetmed.2016.01.023.

Joseph, L.M. & P.G. Charles (1980). The Ecology of Enteroviruses In Natural Waters. *C R C Crit. Rev. Environ. Control* 10(1): 65–93. doi: 10.1080/10643388009381677.

Joung, H. et al. (2013). Nationwide Surveillance for Pathogenic Microorganisms in Groundwater near Carcass Burials Constructed in South Korea in 2010. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 10(12): 7126–7143. doi: 10.3390/ijerph10127126.

Kaczala, F. & S.E. Blum (2016). The Occurrence of Veterinary Pharmaceuticals in the Environment: A Review. *Current Analytical Chemistry*, 12: 169-182.

Kim, H.-S. & Kim, K. (2012). Microbial and chemical contamination of groundwater around livestock mortality burial sites in Korea – a review, *Geosciences Journal*, 16(4): 479–489. doi: 10.1007/s12303-012-0036-1.

Kivits T. et al. (2018). Presence and fate of veterinary antibiotics in age-dated groundwater in areas with intensive livestock farming. *Environmental Pollution* 241: 988-998.

Kjeldsen P. et al. (2002). Present and Long Term Composition of MSW Landfill Leachate – a Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32, 297-336.

Kjøller et al. (2004). Groundwater Acidification and the Mobilization of Trace Metals in a Sandy Aquifer. *Environ. Sci. Technol.* 38:2829-2835.

Kjøller et al. (2006). Binding af nikkel til og frigivelse fra naturlige kalksedimenter. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 8, 2006.

Koh, E.-H. et al. (2019). Nationwide groundwater monitoring around infectious-disease-caused livestock mortality burials in Korea: Superimposed influence of animal leachate on pre-existing anthropogenic pollution. *Environ. Int.* 129: 376–388. doi: 10.1016/j.envint.2019.04.073.

NOTAT

Side 42 af 44

Koziel, J.A. et al. (2018) Lab-scale evaluation of aerated burial concept for treatment and emergency disposal of infectious animal carcasses *Waste Management*, 76:715–726

Krog, J.S et al. (2017). Leaching of viruses and other microorganisms naturally occurring in pig slurry to tile drains on a well-structured loamy field in Denmark. *Hydrogeol. J.* 25(4): 1045–1062. doi: 10.1007/s10040-016-1530-8.

Kucera, E. (1982). Mink and Otters as indicators of mercury in Manitoba waters. *Can. J. Zool.* 61: 2250-2256.

Kumar, M. et al. (2020). Frontier review on the propensity and repercussion of SARS-CoV-2 migration to aquatic environment. *J. Hazard. Mater. Lett.* 1: 100001. doi: 10.1016/j.hazl.2020.100001.

La Rosa, G. et al. (2020). Coronavirus in water environments: Occurrence, persistence and concentration methods - A scoping review. *Water Res.* 179: 115899. doi: 10.1016/j.watres.2020.115899.

Landbrugsavisen (2014). Her laver de verdens bedste minkfoder. [online adgang 2020-12-02] <https://landbrugsavisen.dk/avis/her-laver-de-verdens-bedste-minkfoder>.

Larsen K.S. (2020). Lopper og flæskekanner. Præsentation [online adgang 2020-12-02] https://vet-team.dk/CustomData/Files/Folders/14-kurser-mink/1395_lopper-og-fl%C3%A6skeklanner.pdf

Larsen K.S. et al. (2005). Efficacy of imidacloprid, imidacloprid/permethrin and phoxim for flea control in the Mustelidae (ferrets, mink). *Parasitol Res* (2005) 97: 107–S112.

Leclercq, S.O. et al. (2016). A multiplayer game: species of *Clostridium*, *Acinetobacter*, and *Pseudomonas* are responsible for the persistence of antibiotic resistance genes in manure-treated soils. *Environ. Microbiol.* 18(10): 3494–3508. doi: 10.1111/1462-2920.13337.

Lim, H.-H. et al., (2014). Monitoring of Selected Veterinary Antibiotics in Animal Carcass Disposal Site and Adjacent Agricultural Soil. *J Appl Biol Chem* (2014) 57(3), 189–196. <http://dx.doi.org/10.3839/jabc.2014.031>

Lim, H.-H. et al. (2016). Arachidonic acid and fatty acid profiles as indicators of contamination from the leachates of animal carcasses. *Water Science & Technology: Water Supply.* 16.5. doi: 10.2166/ws.2016.041.

Lægemedelstyrelsen (2018). Produktresumé for Sebacil Vet., koncentrat til kutanvæske. <https://vetisearch.dk/storage/epars/Sebacil%20Vet.,%20koncentrat%20til%20kutanv%C3%A6ske%20500%20mg-ml.pdf>. [online adgang 2020-11-28].

MacArthur, A.J. et al. (2003). Leachate characteristics arising from the foot and mouth mass burial site in Scotland, Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. [online adgang november 2020] <https://ci.nii.ac.jp/naid/20001263703>

Medema, G. et al. (2020). Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage. medRxiv: 2020.03.29.20045880. doi: 10.1101/2020.03.29.20045880.

Mogensen, B. et al. (2007). Lægemedler og triclosan i punktkilder og vandmiljøet NOVANA-Screeningsundersøgelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 74 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 638.

NOTAT

Side 43 af 44

Miljøstyrelsen (2009). LAS (CAS nr. 68411-30-0 + 11 andre CAS numre (se tekst)). Miljøstyrelsen, Kemikalie enheden. [online adgang 2020-12-02] <https://mst.dk/media/196537/las-68411-30-0.pdf>

Nutsch, A. & M. Spire (2004). Carcass Disposal: A Comprehensive Review, National Agricultural Biosecurity Center Consortium USDA APHIS Cooperative Agreement Project Carcass Disposal Working Group.

O'Connell, D.W. et al. (2015). Vivianite formation and its role in phosphorus retention in Lake Ørn, Denmark. *Chemical Geology*, 409:42-53.

Oh, J. et al. (2020). Delineating the impacts of poultry burial leachate on shallow groundwater in a reclaimed agro-livestock farming area, using multivariate statistical analysis of hydrochemical data, *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08178-5>

Oliver, D.M. et al. (2006). Differential E-coli die-off patterns associated with agricultural matrices. *Environ. Sci. Technol.* 40(18): 5710–5716. isi:000240463500021.

Orbicon (2007). Miljøcenter Ringkøbing Regionale potentialekort.

Paludan, C. & N. Pedersen (2018). Hydrologianalyse for Pilhus Bæk og Hessellund Bæk. Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse. Marts 2018.

Postma, D. et al. (2016). Fate of Arsenic during Red River Water Infiltration into Aquifers beneath Hanoi, Vietnam. *Environ. Sci. Technol.* 51: 838-845.

Pratt, D. (2009). Environmental Impact of Livestock Mortalities Burial, Master Thesis, University of Saskatchewan

Prothero, J. (2015). Body composition. In *The Design of Mammals: A Scaling Approach* (pp. 72-90). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781316275108.008

Ritter, W.F. & A.E.M. Chirnside (1995). Impact of dead bird disposal pits on ground-water quality on the Delmarva Peninsula, *Bioresour. Technol.* 53(2): 105–111. doi: 10.1016/0960-8524(95)00057-L.

Sánchez, M. et al. (2008). Treatment of animal carcasses in poultry farms using sealed ditches. *Bioresour. Technol.* 99(15): 7369–7376. doi: 10.1016/j.biortech.2008.01.042.

Sandvang, D. et al. (2000). Persistence of a *Salmonella enterica* serotype typhimurium clone in Danish pig production units and farmhouse environment studied by pulsed field gel electrophoresis (PFGE). *FEMS Microbiol. Lett.* 187(1): 21–25.

Sarmah, A.K. et al. (2006). A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere* 65:725-759.

Semenov, V.M. et al. (2007). Influence of temperature fluctuations on *Escherichia coli* O157 : H7 and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium in cow manure. *Fems Microbiol. Ecol.* 60(3): 419–428. doi: 10.1111/j.1574-6941.2007.00306.x.

Sobsey, M.D. et al. (1986). Survival and transport of Hepatitis A virus in soils, groundwater and wastewater. *Water Sci. Technol.* 18(10): 97–106. doi: 10.2166/wst.1986.0116.

Spielmeyer A. et al. (2017). Long-term monitoring of sulfonamide leaching from manure amended soil into groundwater. *Chemosphere* 177: 232-238.

NOTAT

Side 44 af 44

Stisen, S. et al. (2019). National Vandressource Model. Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019. Danmarks og Grønlands geologisk undersøgelse rapport 2019/31. https://vandmodel.dk/media/8096/geusrapport2019_31_dkmodel2019_web-1.pdf

Taylor, R. et al. (2004). The implications of groundwater velocity variations on microbial transport and wellhead protection; review of field evidence. *FEMS Microbiol. Ecol.* 49(1): 17–26. doi: 10.1016/j.femsec.2004.02.018.

Tollefson L. & F. Cordle (1989). Methylmercury in fish: a review of residue levels, fish consumption and regulatory action in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 68: 203-208.

Touchon, M. et al. (2009). Organised Genome Dynamics in the *Escherichia coli* Species Results in Highly Diverse Adaptive Paths (J. Casadesús, editor). *PLoS Genet.* 5(1): e1000344. doi: 10.1371/journal.pgen.1000344.

van Elsas, J.D. et al. (2011). Survival of *Escherichia coli* in the environment: fundamental and public health aspects. *ISME J.* 5(2): 173–83. doi: 10.1038/ismej.2010.80.

Virkon S (2018). Sikkerhedsdatablad. Virkon S (koncentrat). [online adgang 2020-12-02] <https://virkons.se/wp-content/uploads/2019/03/VirkonS-DK-SDS-v14.pdf>

Vitfoss & Dlg (2020). Produkter til mink. [online adgang 2020-12-02] http://www.vitfoss.dk/media/104245/minkbrochure-a5-oktober_web.pdf

Wong J.W.C. & A. Selvam (2006). Speciation of heavy metals during co-composting of sewage sludge with lime. *Chemosphere*, 63(6): 980-986.

Yuan Q. et al. (2012). Methane and carbon dioxide production from simulated anaerobic degradation of cattle carcasses. *Waste Management* 2012;32:939-43.

Yuan, Q. et al. (2013). Potential water quality impacts originating from land burial of cattle carcasses, *Science of the Total Environment*, 456–457:246–253.

Zhang Y.L. et al. (2014). Sorption–desorption and transport of trimethoprim and sulfonamide antibiotics in agricultural soil: effect of soil type, dissolved organic matter, and pH. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 5827–5835.