

August 2019

9117 Station Mestersvig Landfarming 2012-2018

Indholdsfortegnelse

1. Resume	5
2. Indledning.....	6
Baggrund	6
3. Mestersvig.....	8
4. Landfarming.....	10
5. Landfarmens etablering og indretning.....	11
6. Dataindsamling.....	14
Indsamling af jordprøver	15
Indsamling af vandprøver	16
Opbevaring af prøver	16
7. GEUS og Københavns Universitet	17
8. Den årlige drift	19
9. Gødningstilsætning og næringsstoffer	21
Gødningstilsætning	21
Anvendte gødningstyper.....	22
Et øjebliksbillede for nitrogen, august 2017	25
10. Olieindhold	27
Reduktion i olieindholdet i landfarmen.....	27
Udledning af opløst olie til elv/Noret.....	28
11. pH i jord.....	32
12. Kontrolfelt	33
13. Driftserfaringer	35
Sten	35
Beskyttelseslaget.....	35
Dræning og kontrol af vand i landfarmen.....	35
Gødning og nitrogenindhold	36
Vanding.....	36
Grønt vand i bassinerne - alger	37
Røde overflader i den ubenyttede del af landfarmen.....	37
pH i bassiner.....	37
Salinitet	38
14. Konklusioner.....	39
15. Referencer	41

APPENDIKSFORTEGNELSE

- 1 Appendiks 1. Driftsår 2012 (opstart)
- 2 Appendiks 2 Driftsår 2013
- 3 Appendiks 3 Driftsår 2014
- 4 Appendiks 4 Driftsår 2015
- 5 Appendiks 5 Driftsår 2016
- 6 Appendiks 6 Driftsår 2017 (afslutning)

Appendiks er ikke vedlagt, men kan rekvireres ved Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse i Hjørring.

1. RESUME

På grund af en olieforurening blev der fra 2011 til 2012 etableret et pilotprojekt i form af en landfarm til behandling af olieforurenede jord ved 9117 Station Mestersvig. Formålet var at se, om afværgemetoden landfarming kunne nedbringe indholdet af olie i jorden til et acceptabelt niveau på 5 år.

Dette notat er en opsummering af resultaterne fra de 5 års drift. Hvert års driftsrapport er udarbejdet som et appendiks til denne sammenfatning.

Ved landfarming stimuleres jordens naturlige indhold af olienedbrydende bakterier, og jorden vendes for at øge fordampningen.

Den forurenede jord blev kørt ind i landfarmen i august 2012 og blev herefter gødet, pløjet og vandet. Hvert år frem til 2016 er der i august måned foretaget en lignende behandling.

Der er hvert år til og med 2017 udført prøvetagning af jord og vand for at følge udviklingen i forureningsniveauet og for at se, hvor stor en påvirkning af omgivelserne, landfarmen giver anledning til. Der har været fokus på at følge oliekoncentrationen i landfarmen og udledningen af overskudsvand indeholdende opløst olie og næringsstoffer. Der har også været fokus på at følge bakteriernes trivsel i jorden, samt udviklingen af nedbrydningsprodukter fra olien. I forbindelse med projektet har der været samarbejde med NIRAS, GEUS og Københavns Universitet.

Konklusionen for projektet er, at landfarming er en effektiv lavteknologisk metode til oprensning af jord i Arktis. Landfarmens særlige indretning med forsinkelsesbassiner vurderes at medføre en minimal påvirkning af omgivelserne uden for landfarmen.

Projektets formål var at undersøge, om det var muligt at nedbringe koncentrationen af olie i forurenede jord til et acceptabelt niveau. På baggrund af en risikovurdering vurderes jorden i landfarmen nu at kunne anvendes uden for landfarmen til afdækningsmaterialer på dumpen, opfyldning af huller i stationsområdet og til vej/banematerialer. Projektet vurderes derfor at have levet op til formålet.

2. INDLEDNING

Baggrund

Forureningsundersøgelser påviste en række olieforureninger på 9117 Station Mestersvig i 2008 og 2009 /1, 2/. Resultaterne viste, at en af disse forureninger kunne true dyre- og fugleliv i den nærliggende Hundesø med udsivning af fri fase olie. Der blev straks iværksat midlertidige afværgetiltag, mens en række mulige metoder til oprensning af olieforurenede jord blev vurderet. Ud fra de givne forhold blev metoden landfarming udvalgt som den mest lovende.

I 2011-2012 indledte Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse et pilotprojekt med landfarming på 9117 Station Mestersvig. Projektets formål var at undersøge, om det var muligt at nedbringe koncentrationen af olie i forurenede jord til et acceptabelt niveau. Det skulle forsøges ved hjælp af stimuleret naturlig nedbrydning (landfarming) på betingelse af de klimatiske og logistiske forhold, der er ved Mestersvig. Forud for pilotprojektet blev der bl.a. udført forsøg med nedbrydning af olie i jord fra Mestersvig på et laboratorium i Holland /3/.

I foråret 2011 gav Grønlands Selvstyre miljøgodkendelse til projektet. Etableringen af landfarmen blev påbegyndt i sommeren 2011 og afsluttet i sommeren 2012. Den olieforurenede jord blev efterfølgende opgravet og kørt ind i landfarmen og driftet for første gang. Driften bestod i, at der blev spredt kunstgødning ud på overfladen. Gødningen blev efterfølgende pløjet ned, og jorden blev vandet for at frigive næringsstoffer, der kunne sætte gang i væksten af de naturligt forekommende olienedbrydende bakterier i jorden.

Driften blev udført hvert år i starten af august fra 2012 til 2016. Forud for hver drift blev der ved tårbrud omkring midt i juli åbnet et skot for at dræne landfarmen mest muligt for vand og dermed skabe en kørefast overflade. I forbindelse med åbning af skot blev der indsamlet vandprøver. Ved den efterfølgende drift i starten af august blev der indsamlet jord og vandprøver til analyse for olieindhold, næringsstoffer, bakterier og nedbrydningsprodukter. De sidste år blev der også indsamlet vandprøver i slutningen af august. De mange prøver og data gjorde det muligt at følge udviklingen i landfarmen tæt. De gjorde det også muligt at vurdere udledningen af olie og næringsstoffer til vandmiljøet uden for landfarmen.

Den sidste prøvetagning blev udført i august 2017, hvor pilotprojektet ophørte.

Dette notat er udarbejdet af NIRAS for Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse og omhandler overordnet de data, projektet har genereret gennem 5 år, og nogle af de driftserfaringer, der er gjort i forbindelse med projektet. Detaljer om de indsamlede data, analyserapporter, fotos m.m. kan ses i de enkelte driftsrapporter, der årligt er udarbejdet. Disse rapporter er vedlagt som Apendiks 1-6.

Følgende samarbejdspartnere var involveret i projektet:

NIRAS stod for design af landfarm, bygherrerådgivning og tilsyn i forbindelse med etablering og drift, samt feltlaboratorium og beregning af gødningsmængde. Desuden al prøvetagning af jord og vand samt opsætning og drift af måleudstyr.

MT Højgaard forestod etableringen af landfarmen og varetog den praktiske del af driften.

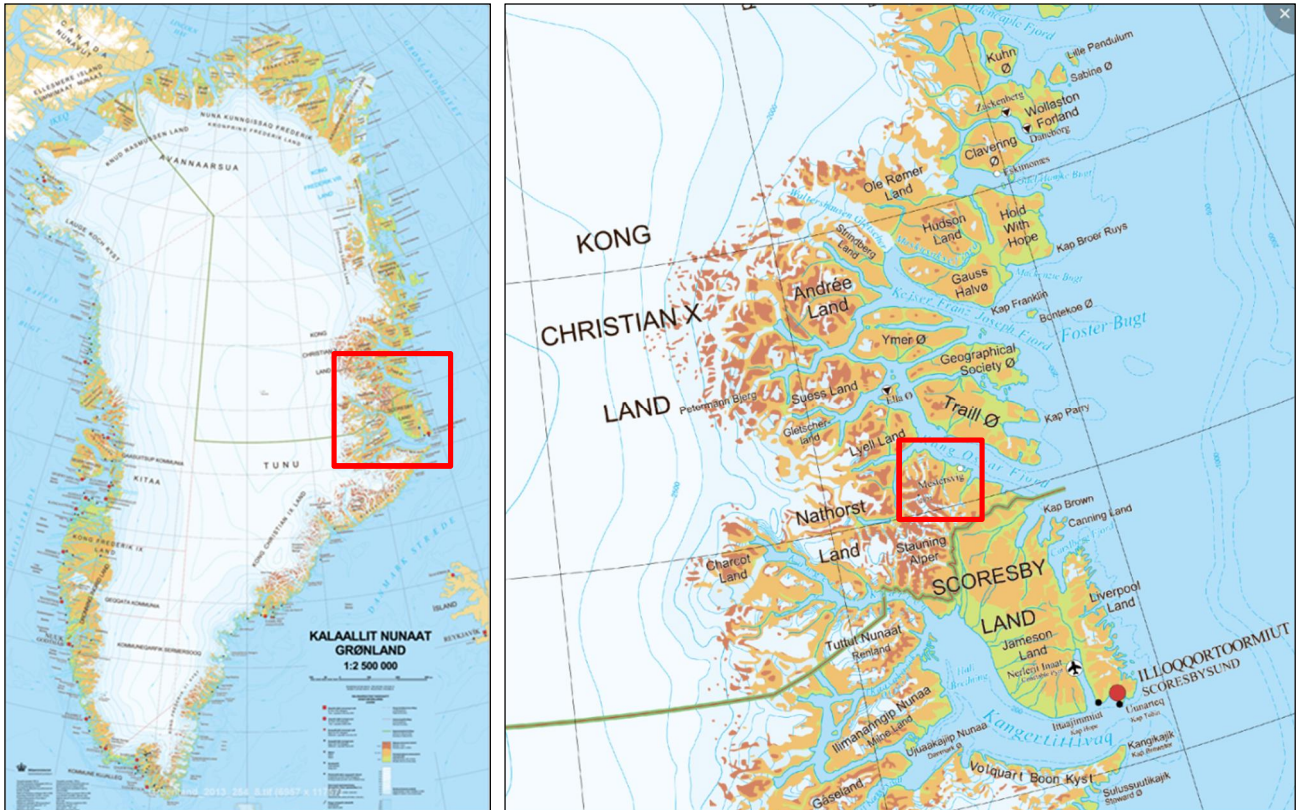
GEUS, Afdeling for Geokemi, udførte bl.a. bakterietællinger (MPN) på både jord og vand.

Københavns Universitet (KU), Sektion for Miljøkemi og Fysik, udførte såkaldt fingerprinting analyser og har set på nedbrydningsprodukter (Metabolitter) af olie i jord og vand.

Øvrige analyser for næringsstoffer og olieprodukter blev udført af Eurofins Miljø.

3. MESTERSVIG

9117 Station Mestersvig er beliggende på sydsiden af Kong Oscars Fjord i den sydlige del af Nationalparken på Grønlands Østkyst (se Figur 3.1).



Figur 3.1. Mestersvigs placering. Den grønne linje på kortet til højre under den røde firkant markerer Nationalparkens sydlige grænse (Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering)

Stationen består af ca. 13 lager – og indkvarteringsbygninger, et kontrolltårn og en gruslandingsbane. Stationen er en tidligere lufthavn drevet af Statens Luftfartsvæsen fra 1952 til 1984 i forbindelse med minedrift i området. Siden 1988 har Forsvaret drevet stationen videre med 2 mand. I sommerperioden er der dog langt flere – op til 40 mand i forbindelse med vedligehold, renovering, forskning m.m.

Området omkring stationen er et deltaområde for Tunnelelv, der via et nor er forbundet med Kong Oscars Fjord. Grene af Tunnelelv løber syd og nord for stationen. Landfarmen afdræner til den nordlige gren som vist på figur 3.2, der også modtager spildevand fra stationen.



Figur 3.2 Oversigtskort over 9117 Station Mestersvig og omegn. Den røde prik viser placering af landfarm. De blå streger viser Tunnel Elvs forløb (Google Earth Pro ©Google 2018).

Ældre klimadata fra 1961-1985 er opsummeret i /4/ og angiver, at klimaet er arktisk med en middelmånedes temperatur for den varmeste måned under 10 °C. Månederne juni til august har middeltemperaturer over frysepunktet. Området har en årlig middeltemperatur på -10,5 °C. Der falder årligt ca. 300 mm nedbør, med april til juni som de tørreste måneder. Ca. to tredjedele af nedbøren falder som sne.

De indsamlede data fra en vejrstation opstillet i landfarmen i 2014 har vist gennemsnitstemperaturer i juli op til 9 °C og op til 10 °C i august (2016-2017), samt at september også kan have en gennemsnitstemperatur over 0 °C – Se figur 3.3. Selvom lufttemperaturen er meget kold om vinteren, isolerer sneen landfarmens jord, der kun når ned omkring -1 °C.

Datalogger	Average temp. in landfarm												
	2016					2017							
	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	April	May	June	Juli	Aug.
Air	10,8	2,3	-1,9	-7,1	-16,1	-24,3	-17,7	-25,8	-16,7	-1,9	2,7	5,7	9,2
0,15 (m b.s.)	9,5	2,2	-0,5	-0,4	-0,6	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-0,6	-0,2	6,8	9,2
0,35 (m b.s.)	8,9	2,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-0,7	-0,8	-0,5	-0,2	5,6	8,5
0,6 (m b.s.)	7,1	2,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,2	3,0	6,3

m b.s. = Meter below surface

Figur 3.3. Eksempel på temperaturdata indsamlet i landfarmen. Lufttemperatur samt temperaturen i 3 jorddybder. 0,15 m u.t. måler i det forurenede jordlag, 0,35 m u.t. er på overgangen mellem det forurenede lag og beskyttelseslaget, mens 0,6 m u.t. måler i beskyttelseslaget.

4. LANDFARMING

Landfarming er en kombination af stimulering af naturlige olienedbrydende bakterier i jorden og beluftning af jorden.

Bakterievækst kan hæmmes af mangel på næringsstoffer, og de arktiske jorde er generelt næringsfattige. Ved at tilsætte gødning skabes der gode vækstbetingelser, og antallet af olienedbrydende bakterier kan mangedobles. Bakteriernes antal og mulighed for at nedbryde olieprodukter påvirkes også af andre faktorer bl.a. temperatur, iltforhold, fugtighed og salinitet.

Den biologiske nedbrydning er mest effektiv ved jordtemperaturer over 5 °C – og den årlige periode, hvor bakterierne kan nedbryde olie, er i Arktis derfor begrænset til den korte sommerperiode, hvor jorden er tørt op.

Der må ikke tilsættes for store koncentrationer af gødning, da et for højt indhold af salte i jorden kan have en toksisk effekt på bakterierne. Tilsættes der for lidt næringsstoffer, reduceres den mængde olie, som bakterierne kunne have omsat, og dermed bliver behandlingstiden forlænget med øgede omkostninger til følge.

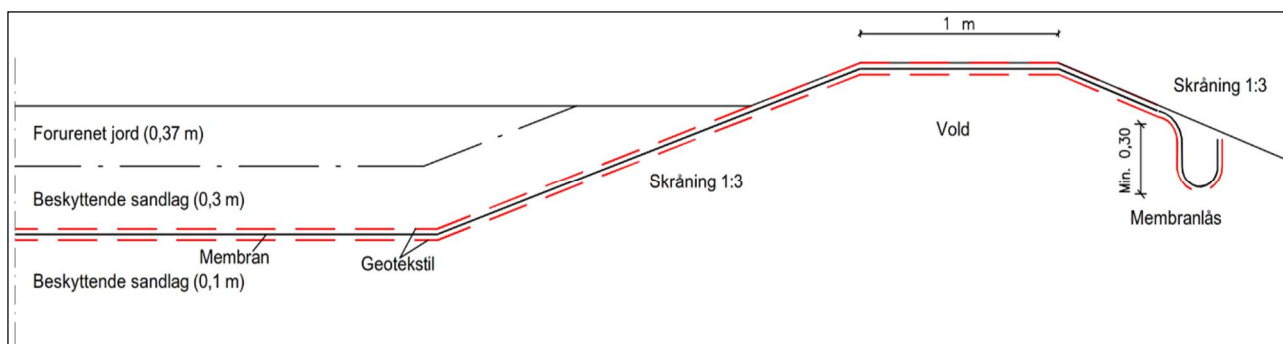
Jorden må ikke være for vandmættet, da der så kan opstå iltfrie forhold, der kan skade bakterierne. Jorden må heller ikke være for tør, da det kan øge saltkoncentrationen i porevandet og dermed forringe bakteriernes livsbetingelser. Der er således mange faktorer, der har indflydelse på, hvor godt en landfarm virker.

Før projektet i Mestersvig blev realiseret, blev der udført forsøg med olieforurenede jord fra Mestersvig på et hollandsk laboratorium /3/. Forsøget viste, at nedbrydningen af olie blev forøget markant ved tilsætning af næringsstoffer, mens nedbrydning uden tilsætning af næringsstoffer stort set var ikke eksisterende. Forsøget viste også, at koncentrationen af den tilsatte gødning havde stor betydning.

5. LANDFARMENS ETABLERING OG INDRETNING

Landfarmen i Mestersvig var et større anlægsprojekt. Forud for den endelige placering blev flere muligheder undersøgt. Både områdets topografi, grad af uberørthed, sårbarhed m.m. blev vurderet – bl.a. med udgangspunkt i canadiske retningslinjer /5/. Valget faldt på et tidligere antenneområde øst for stationen, der i forvejen var præget af spor fra menneskelige aktiviteter (Se figur 3.2 for placering).

Ca. 14.000 m² blev planeret til selve landfarmen. Der blev etableret jordvolde omkring med en højde på ca. 1 m. Et tværsnit af indretningen fremgår af figur 5.1.



Figur 5.1: Tværsnit af landfarmens indretning.

I bunden af landfarmen blev der udlagt 10 cm sorteret sand. Herover blev der lagt en geotekstil fulgt af en 1,5 mm tyk HDPE^a membran og endnu et lag geotekstil. Membranen var udvalgt efter, at den skulle være olieresistent og frostsikker (-77 °C). Membranen blev dobbeltsvejset sammen af flere stykker, og svejsningerne blev løbende trykprøvet under etableringen. Oven på membran og geotekstiler blev der udlagt 0,3 m sorteret sand (0-8 mm). Det sorte sand under og over membranen skulle beskytte membranen mod skarpe sten og tillade kørsel i landfarmen med tung trafik i forbindelse med indkørsel af den forurenede jord og den efterfølgende drift.

Landfarmen blev i princippet konstrueret som et tæt bassin. Den blev derfor etableret med en lille hældning mod den østlige ende, hvor der blev indbygget et skot, så overskudsvand kunne komme ud på en kontrolleret måde.

^a HDPE = High Density Poly Ethylene

Skottet var en plade, der til daglig kunne holde beskyttelseslaget mættet med vand, men tillod vand fra det forurenede jordlag at dræne af (se Figur 5.2). Blev skottet åbnet helt, kunne beskyttelseslaget også dræne af.

Skottet blev åbnet årligt omkring tøbrud i juli for at sikre en kørefast overflade i starten af august. Skottet blev lukket igen umiddelbart før vanding af landfarmen, som var den afsluttende del af årets drift.



Figur 5.2: Skottet set fra Bassin 1. I baggrunden ses den forurenede jord i landfarmen og stationsområdet.



Figur 5.3: Oversigtsbillede over landfarm, bassiner og kanal.

Overskudsvand fra landfarmen blev udledt via skottet til 2 bassiner, som vist i 5.3. Bassin 1, der modtog overskudsvand fra landfarmen, blev etableret som et 0,9 m dybt bassin på 25x100 m, mens Bassin 2 var et mindre bassin på 15x75 m og en vanddybde på 0,7 m. Til begge bassiner blev der som bund anvendt samme membrantype som til landfarmen. I Bassin 2, der modtog overskudsvand fra Bassin 1, blev der udlagt 0,2 m sorteret sand (0-8 mm) oven på membranen samt 0,2 m sten for at stimulere biovækst. Bassinernes formål var at forsinke udledningen af olie- og næringsholdigt vand fra landfarmen til elven og Noret. Med længere opholdstid kunne bl.a. biologiske processer fortsat reducere koncentrationen af olie og nitrogen yderligere. Vandet fra Bassin 1 blev desuden anvendt til vanding af landfarmen i forbindelse med driften.

Overskudsvandet fra Bassin 2 blev udledt til elven ad en kanal via overløb.

I 2014 blev der desuden etableret et kontrolfelt med jord fra LF3. Denne jord blev kun driftet i 2012 og 2013. Placeringen fremgår af figur 5.3.

Faktaboks for landfarmen, Mestersvig

Miljøgodkendt 2011

Etableringsår Etableret i sommerperioderne 2011-2012. Ibrugtaget 2012.

Pilotprojekt/Drift i perioden 2012-2017

Membran 1,5 mm High Density Poly Ethylene (HDPE).

Areal 13.600 m² – 160 x 85 m. Når skottet er lukket, kan der være 1.250 m³ vand i beskyttelseslaget.

Bassin 1 25x100 m - 0,9 m dyb, 2.250 m³ vand

Bassin 2 15x75 m - 0,7 m dyb, sand/sten i bunden, 400 m³.

Jordmængde Ca. 3.000 m³/5.000 ton.



Figur 5.4: Faktaboks og foto fra anlæggelsen. Beskyttelseslaget tromles oven på den udlagte membran. T.v. fylder en gravko Sand 0-8 mm på plads ud mod kanten. Membranen kan anes ved siden af og bag ved gravkoen.

6. DATAINDSAMLING

I forbindelse med projektet blev der løbende indsamlet en lang række fysiske og kemiske data om forskellige parametre i landfarm, bassiner og kanal – bl.a. temperaturforhold i luft og jord, perioder med overløb til elven, pH m.m. Der blev udtaget en lang række jord- og vandprøver, der blev testet for bakteriologisk indhold (GEUS), indhold af olie, BTEX'er, naphthalen og næringsstoffer (Eurofins) samt Fingerprinting^b og nedbrydningsprodukter (Københavns Universitet). Jordprøverne blev indsamlet lige før den årlige drift i første halvdel af august, mens vandprøver blev udtaget ca. midt i juli efter tøbrud, i første halvdel af august og i 2016 og 2017 også i sidste halvdel af august.

I nedenstående tabel 6.1. fremgår, hvilke data der blev indsamlet i henholdsvis landfarm, bassiner og kanal samt frekvensen for indsamling af data.

Landfarm	Bassin 1	Bassin 2	Kanal
Vandstand i beskyttelseslag (K)	Vandstand (K)	Vandstand (K)	
pH, redox, temperatur, ilt, ledningsevne i vand i beskyttelseslag (0-1)	pH, redox, temperatur, ilt, ledningsevne (2-3)	pH, redox, temperatur, ilt, ledningsevne (2-3)	pH, redox, temperatur, ilt, ledningsevne (2-3)
Finger printing og nedbrydningsprodukter (2-3)	Finger printing og nedbrydningsprodukter (2-3)	Finger printing og nedbrydningsprodukter (2-3)	Finger printing og nedbrydningsprodukter (2-3)
Analyser for olie og næringsstoffer i vand (Beskyttelseslaget)	Analyse for olie og næringsstoffer i vand (2-3)	Analyse for olie og næringsstoffer i vand (2-3)	Analyse for olie og næringsstoffer i vand (2-3)
pH i jord (1)	Bakterietællinger i vand		
Bakterietællinger i jord (1)			
Analyser for olie og næringsstoffer i jord (1)			
Nedbørsmåling (regn), lufttemperatur, jordtemperatur i 3 niveauer, jordfugt i 2 niveauer, vindretning og -styrke (K)			

Frekvens: Ikke angivet = 1 gang, (0-1) = enkelte år, (1) = 1 gang årligt, (2-3) = 2-3 gange årligt, K = kontinuert.

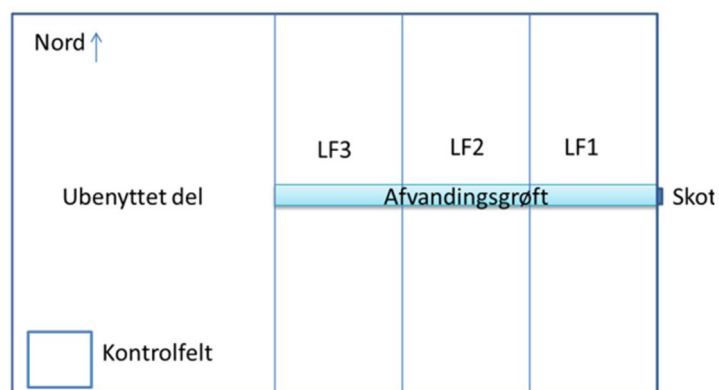
Tabel 6.1. Indsamlede data i landfarm, bassiner og kanal. Frekvens for dataindsamling fremgår

^b "Fingerprinting" olie er en proces, som refererer til en kemisk analyseteknik, hvor olien bliver bestemt i dens forskellige komponenter i en grad, der tillader identifikation af en bestemt olie på baggrund af dens sammensætning.

I ndsamling af jordprøver

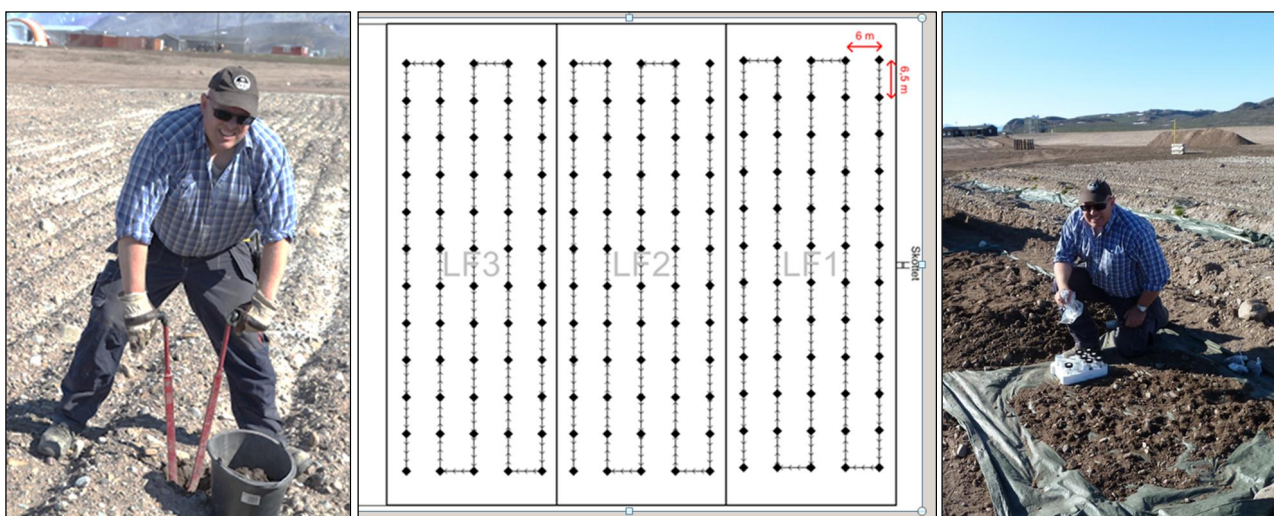
Ved opstart af driften i 2012 blev prøvetagningsprincippet MIS (Multiple Increment Sampling) implementeret i forbindelse med udtagning af jordprøver /6/. Metoden og principperne bag MIS-metoden blev nærmere beskrevet i metodebeskrivelsen "Udtagning af overfladeprøver med Multi Incremental Sampling" (vedlagt som bilag 10 i Appendiks 2). Metoden gav bl.a. en god reproducerbarhed af prøveresultaterne. MIS-konceptet blev derfor valgt til at beskrive forureningskoncentrationen i jorden i landfarmen frem for analyse af en række punktprøver, der erfaringsmæssigt har en stor spredning og en dårlig reproducerbarhed.

Landfarmen blev i 2012 opdelt i 3 felter (decision units) kaldet LF1 (tættest på skottet), LF2 og LF3. Inddelingen tog hensyn til evt. forskellige nedbrydningsforhold f.eks. på grund af forskellige fugtforhold (se Figur 6.1).



Figur 6.1: Principskitse for inddelingen af landfarm i.f.m. prøvetagning. Afvandingsgrøft tilføjet i 2014.

Samme inddeling blev anvendt ved samtlige prøvetagninger fra 2012 til 2017. I hvert felt blev der hvert år i august udtaget 60 delprøver med pælespade. Der blev fulgt et overordnet mønster for at komme hele feltet rundt.



Figur 6.2: Tv.: Udtagning af prøve i landfarm med pælespade. M: overordnet mønster for prøver. Th.: Neddeling af prøve.

Hver delprøve bestod af alt den forurenede jord fra terræen til toppen af dæklaget (i gennemsnit 0,37 m). Delprøverne, der blev indsamlet i spande, blev udtaget tilfældigt, men dog så hele feltet blev dækket. De 60 delprøver blev samlet i en bunke på en presenning og efterfølgende udbredt med en skovl til et lag på 5-10 cm tykkelse. Der blev efterfølgende udtaget 60 små delprøver fra presenningen med en modificeret planteskovl – svarende til ca. en spandfuld i alt. Denne spand blev fordelt ud på et nyt stykke presenning i et lag på ca. 3 cm. Hvert enkelt prøveglas og pose blev efterfølgende fyldt med 20 stik fra presenningen.

Fra hvert felt blev der udtaget jordprøver til analyse for:

- Olieprodukter ved Eurofins.
- Næringsstoffer (N, P og K) ved Eurofins.
- Olienedbrydende bakterier ved GEUS.
- Detailanalyse – fingerprinting og nedbrydningsprodukter ved Københavns Universitet.
- pH og næringsstoffer (N) ved NIRAS (Feltmålinger)

For statistisk at kunne vurdere kvaliteten af prøvetagningen blev et af felterne prøvetaget yderligere 2 gange med samme antal prøver udtaget til analyse.

Generelt vurderes en relativ standardafvigelse (RSD-værdi[°]) under 35% at indikere data med en god reproducerbarhed. I perioden 2013-2017 var den relative standardafvigelse på analysen for totalkulbrinter ikke over 33 % og var generelt meget lavere. Prøvetagningen blev derfor vurderet til at være god.

Den anvendte MIS-metode afveg fra de gængse MIS-principper ved, at der ikke blev foretaget en tørring, homogenisering eller sigtning af jorden. Afvigelsen blev begrundet med, at der blev analyseret for flygtige komponenter.

Indsamling af vandprøver

Indsamling af vandprøver skete som flaskeneddyk under overfladen for at undgå indstrømning af overfladevand/evt. film.

Opbevaring af prøver

Prøverne blev efter udtagning generelt opbevaret i køletasker med køleelementer, der jævnligt blev udskiftet. I de enkelte appendiks fra 2014 og frem kan der ses temperaturkurver, der dokumenterer prøveopbevaringen.

[°] Relative Standard Deviation. Standardafvigelsen er et mål for, hvor tæt pakket data er omkring gennemsnittet. Standardfejl normaliserer denne foranstaltning med hensyn til antallet af prøver, og den relative standardafvigelse udtrykker dette resultat som en procentdel af midelværdien.

7. GEUS OG KØBENHAVNS UNIVERSITET

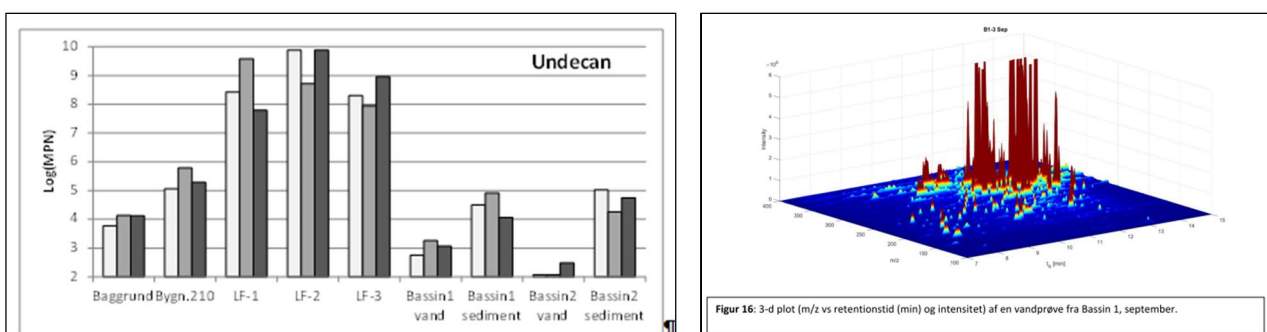
GEUS ved Afdeling for Geokemi og Københavns Universitet ved Sektion for Miljøkemi og Fysik modtog løbende jord og vandprøver fra projektet og bistod med supplerende vurderinger undervejs.

GEUS undersøgte bakteriepopulationerne i jorden og fastslog, at der er nedbryderbakterier til de fleste af de stoffer, som var i olien i den forurenede jord. Antallet af bakterier, der kan nedbryde olie, viste sig også at være mange gange større i den behandlede jord i landfarmen end i forurenede eller uforurenede jord, der ikke blev gødet. Prøver fra lokaliteten, hvorfra den forurenede jord kom, viste, at de olienedbrydende bakterier også var til stede her, men i væsentligt mindre antal end i forhold til landfarmen.

Der blev ikke set nedbryderbakterier til nogle af oliens tungere svovlaromater, som f.eks. benzothiophen, men det var ikke ensbetydende med, at nedbrydning ikke skete – det skete blot co-metabolsk i forbindelse med nedbrydning af andre stoffer, hvilket er en langsommere proces.

GEUS undersøgte også bakterier i vandprøver, men her blev der kun fundet meget få nedbrydere. Det kan skyldes, at olieindholdet i bassinerne dels var meget begrænset, men også, at bakterierne muligvis blev spist af andre organismer i bassinet.

GEUS undersøgte desuden alger og røde aflejringer, hvilket er omtalt nærmere i nedenstående afsnit 13 om driftserfaringer. Et eksempel på data fra GEUS fremgår af Figur 7.1.



Figur 7.1. Eksempler på data fra GEUS til venstre (Bakterietælling af nedbrydere til Undecan) og Københavns Universitet til højre (3-d-chromatogram af en vandprøve fra Bassin 1).

Københavns Universitet undersøgte ved hjælp af avanceret gaschromatografi, hvordan mængden af de enkelte stoffer i olien i jorden ændrede sig i forhold til

hinanden og i forhold til den originale olie. Københavns Universitet undersøgte også mængdeforholdene mellem forskellige stoffer for at vurdere, om der var tale om biologisk nedbrydning. PAH'er og nedbrydningsprodukter (metabolitter) blev også fulgt tæt. Det var specielt, hvilke metabolitter der kunne påvises og dermed indikere, at der skete en nedbrydning af moderstofferne. Københavns Universitet observerede tegn på begyndende bionedbrydning af nogle af de tungere svovlaromater i 2017.

Analyseresultaterne fra GEUS og Københavns Universitet er vedlagt som bilag i de årlige driftsrapporter (Appendiks 1-6).

8. DEN ÅRLIGE DRIFT

Hvert forår blev der afholdt en workshop med deltagere fra FES, GEUS, Københavns Universitet og NIRAS. Her blev resultater fra det foregående år fremlagt og diskuteret, ligesom justeringer af driften blev vendt, før det endelige feltprogram for den følgende drift i august blev lagt fast.

Ved den årlige drift blev der indledningsvis udtaget jordprøver til bl.a. feltbestemmelse af nitrogenindholdet (ammonium og nitrat) i landfarmens jord. Der blev samtidig målt tykkelse af det forurenede jordlag i de 180 pælespadehuller for at kunne udpege eventuelle områder, hvor der var mindre end 0,3 m dybt, af hensyn til pløjningen. Samtidig blev der givet en vurdering af, hvor fugtig jorden var, for at vurdere evt. fugtige og bløde områder. Efter feltanalyserne for nitrogen blev det beregnet, hvor meget gødning der skulle tilsættes jorden for at sikre, at koncentrationen af nitrogen var passende til det kommende år.



Figur 8.1: Gødningsspreder, plov og vandkanoner i aktion. Bemærk de mange sten i jorden i forbindelse med pløjningen.

Den anbefalede mængde gødning blev herefter kørt til landfarmen og fordelt i den udnyttede del af landfarmen ved hjælp af en gødningsspreder, påmonteret en traktor – se Figur 8.1. Gødningen blev efterfølgende pløjet ned med en 2-furet plov. I den forbindelse blev pløjedybden nøje indstillet til ca. 0,3 m, så der ikke blev pløjet ned i det rene beskyttelseslag. Der blev efterfølgende vandet med en passende mængde vand fra Bassin 1.

Vandingen skulle sikre, at bakterierne hurtigt fik adgang til nitrogen fra gødningen, og sikre, at jorden fik en passende fugtighed tæt på markkapaciteten^d. Den årlige drift blev dokumenteret med tekst og billeder i et særskilt bilag i de enkelte årsrapporter (se appendiks).

Landfarmen var designet efter, at den skulle være uafhængig af stationen og kun kræve et årligt driftsbesøg for at fungere. I praksis var der dog 2 besøg – et besøg midt juli efter tøbrud for at åbne skottet og udtage prøver samt selve driften i første halvdel af august. Åbningen af skottet i juli skulle sikre, at landfarmen var drænet tilstrækkeligt af til, at der kunne køre tunge maskiner i den primære driftsperiode.

^d Markkapacitet: jordens vandindhold efter vandmætning, når nedsivning er ophørt (normalt efter to dage). Størrelsen, der er et mål for, hvor meget vand en jord kan holde tilbage mod tyngdekraften, er afhængig af jordens teksturelle sammensætning og humusindhold. Er bestemt til ca. 22 % i landfarmen.

9. GØDNINGSTILSÆTNING OG NÆRINGSSTOFFER

Gødningstilsætning

Før den årlige tilsætning af gødning blev der udført en feltundersøgelse af, hvor meget nitrogen der var tilbage i jorden. Undersøgelsen blev udført på et spektrofotometer^e med test kits til bestemmelse af ammonium og nitrat^f.

Forsøg havde vist, at den optimale koncentration af nitrogen i jorden med hensyn til at stimulere bakterierne var på 300 mg N/kg TS ved et vandindhold i jorden på 15 %. Var vandindholdet mindre, tålte bakterierne mindre nitrogen. Der blev derfor årligt tilsat nitrogen, svarende til dette mål. Jorden havde i forbindelse med prøvetagningen som regel et lavere vandindhold (8-10 %), men i gødningsberegningen blev det forudsat, at vandindholdet steg til 15 % i forbindelse med vandingen, der fulgte efter udspreddning af gødning og pløjning. Desuden blev al nitrogen ikke tilgængeligt på én gang på grund af gødningens coating, der frigav nitrogen over tid. Der blev anvendt et forsigtighedsprincip i beregningerne for at undgå overgødsning.

Jorden blev også efterfølgende analyseret for næringsstoffer på et akkrediteret laboratorium. I nedenstående tabel 9.1 fremgår de akkrediterede analyseresultater, der viste meget lidt nitrogen i jorden de første år og herefter et stigende indhold. Stigningen var et bevidst valg og skete ved at tilføre en ny gødning i 2014 og ændre gødningssammensætningen for at sikre en mere jævn frigivelse af nitrogen hen over vækstsæsonen.

Gennemsnitligt indhold af ammonium og nitrat i jord mg/kg TS					
Årstal	2013	2014	2015	2016	2017
NH ₄ -N	<3 - 6,6	12	73	73	89
NO ₃ -N	<3	<0,28	20	21	43
N _{total}	<5	12	93	94	132

Tabel 9.1 Det gennemsnitlige indhold af nitrogen i den forurenede jord i landfarmen i mg/kg TS

^e Spektrofotometer af typen Hach-Lange DR2800

^f Testkit LCK 339 og 340 til nitratbestemmelse og LCK 303 og 304 til bestemmelse af ammonium. 340.

Anvendte gødningstyper

Der blev fra starten i 2012 anvendt 2 forskellige gødningstyper – en med langsom frigivelse af næringsstoffer og en med øjeblikkelig frigivelse. NovaTec Classic var den langsomt virkende gødning. Den var tilsat et nitrifikationshæmmende stof, der skulle sikre en langsom frigivelse af nitrogen over en længere periode (4-10 uger i et dansk klima og forventet længere tid i Mestersvig grundet væsentligt lavere temperaturer og mindre nedbør).

YaraLiva Tropicote var en hurtigt opløselig såkaldt kalksalpeter, der ved kontakt med vand hurtigt frigav næringsstofferne. YaraLiva skulle sikre hurtigt tilgængeligt nitrogen, da gødsning af landfarmen som regel først kunne finde sted ca. 3 uger inde i vækstsæsonen (>5 °C) på grund af stor vandmætning/blød bund i landfarmen efter tøbrud.

Det lave indhold af nitrogen i 2013 i jorden, et år efter første tilsætning af gødning, indikerede, at Novatec Classic afgav sit indhold af nitrogen for hurtigt. Der blev derfor indkøbt en anden type gødning med en frostsikker coating – Multicote 4 (Polymer-coated controlled release fertilizer), der normalt har en frigivelsestid for nitrogen på 4 måneder ved en temperatur på 20 °C, og længere ved lavere temperaturer. Gødningen blev introduceret ved driften i 2014, hvor den blev anvendt sammen med NovaTec Classic og YaraLiva Tropicote. Et produktblad for Multicote 4 kan findes i Appendix 3.

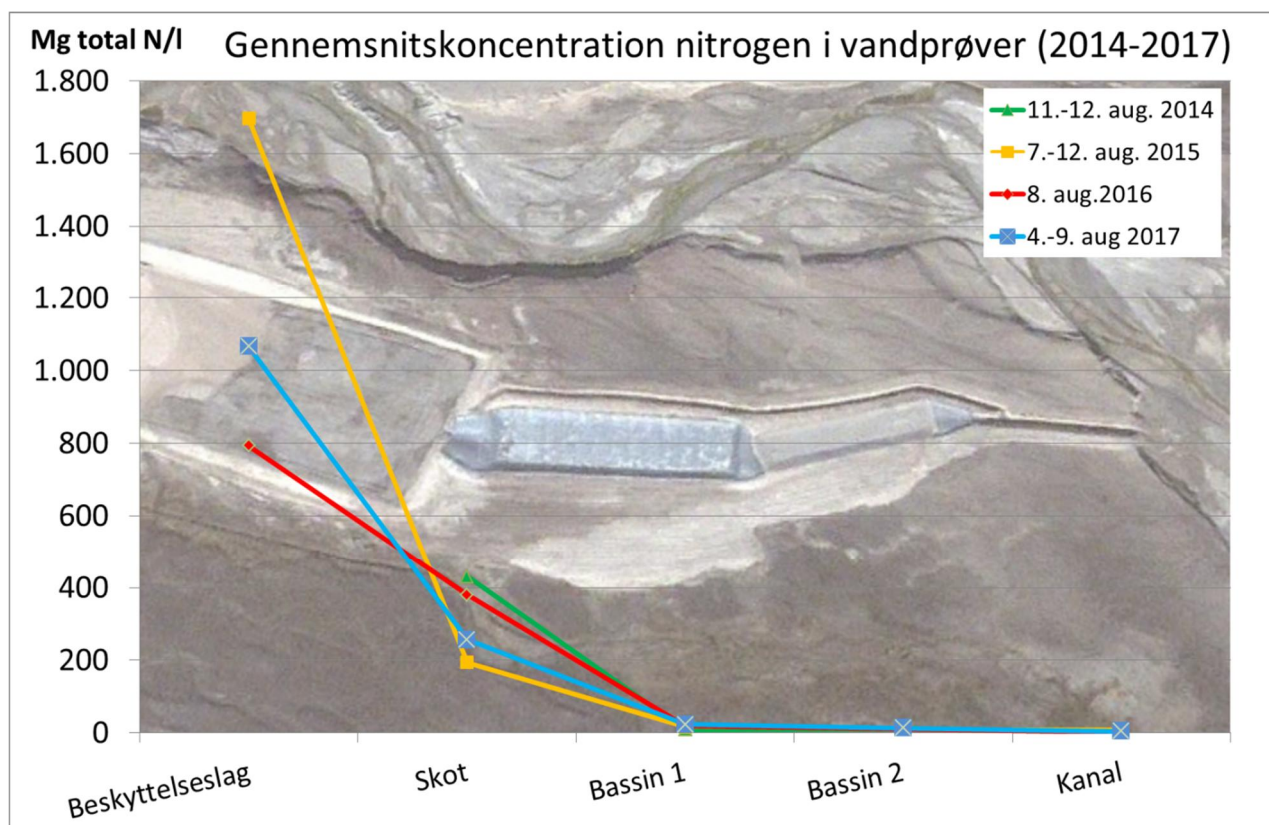
Tabel 9.2 viser den samlede tilsatte mængde gødning fordelt på de 3 typer pr. driftsår. Der blev i august måned hvert år tilsat mellem 4.550 og 9.600 kg gødning – i alt 37,5 ton på 5 år. Heraf udgjorde den samlede mængde nitrogen ca. 5 ton.

Gødning tilsat pr. år (kg)							
Gødning og % indhold af N i ()	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Novatec Classic (12%)	7.675	6.525	4.650	1.150	2.925	0	22.925
YaraLiva Tropicote (15,5%)	1.925	1.625	1.550	1.150	1.450	0	7.700
Multicote 4 (15%)	-	-	1.550	2.250	2.925	0	6.725
Total mængde gødning/kg	9.600	8.150	7.750	4.550	7.300	0	37.350
Total mængde N	1.219	1.035	1.031	654	1.015	0	4.953

Tabel 9.2 Gødningstilsætning fordelt på gødningstyper, total mængde og mængde af nitrogen. Den sidste tilsætning af gødning skete i 2016.

Risikoen for udledning af næringsstoffer via overskudsvand til elven/Noret blev fulgt tæt gennem hele projektet med vandprøvetagning lige efter tøbrud og i

starten af august. I 2016 og 2017 blev der desuden udtaget vandprøver i slutningen af august, kort før bassiner m.m. frøs til. Figur 9.1 viser de gennemsnitlige koncentrationer af nitrogen målt i vandprøver udtaget fra 2014-2017 i starten af august.



Figur 9.1 Gennemsnitlige værdier for nitrogen i vandprøver i mg N/l udtaget primo august 2014-2017. Baggrundsbilledet illustrerer placeringen af x-aksens prøvetagningssteder.

Det fremgår af figur 9.1, at der var høje koncentrationer af nitrogen i vandet i beskyttelseslaget i landfarmen, men at koncentrationen ved skottet var væsentligt lavere (reduceret med 52-89 % i forhold til beskyttelseslaget), når overskudsvandet forlod landfarmen. Fra skot til bassiner kunne der ses yderligere et markant fald i indholdet af nitrogen (yderligere reducere > 90 %). De markante fald i indholdet af nitrogen mellem beskyttelseslag og bassiner blev vurderet overvejende at skyldes biologiske processer, der forbrugte og bandt det meste af det nitrogen, der kom ud i bassinerne. En kraftig grønfarvning af vandet i bassinerne på grund af alger underbyggede denne formodning. I kanalen blev der som regel målt meget begrænset indhold af nitrogen, svarende til baggrundsværdierne. Der var normalt ikke overløb fra Bassin 2 i forbindelse med prøvetagningen primo august – undtagen i 2015, hvor kraftig nedbør skabte overløb fra bassinerne.

Til vurdering af mængden af nitrogen, der strømmede ud i elven/Noret, blev der i årene 2014-2017 anvendt forskellige forudsætninger i de vedlagte årsrapporter. Fælles for dem var, at der blev anvendt en årsnedbør på 300 mm nedbør/år /4/, et gennemsnit af nitrogenindholdet – dog forskellige steder og forskelligt defineret opland.

For at kunne sammenligne mellem de enkelte år er der som standard anvendt 300 mm nedbør (der både omfatter sne og regn), et opland, der omfatter både arealet af landfarm og bassiner samt eventuelle områder, der kan dræne vand ind i systemet på grund af højere beliggenhed (i alt 17.393 m²). Derudover er det valgt at bruge gennemsnitskoncentrationen for Bassin 2 for de enkelte år, da alt vand til elven/Noret strømmede ud fra Bassin 2. Det er tidligere forudsat, at der ikke skete en fordampning af hverken nedbør eller sne. Denne antagelse er dog vurderet meget konservativ. Der er derfor ved beregningerne af vurderet udledning også regnet med 25 % og 50 % fordampning af årsnedbøren, hvilket giver et interval mellem en høj fordampning (50%) og et worst case scenario med ingen fordampning.

Resultatet med de 25 % fordampning vurderes stadig som konservativt, men mere sandsynligt end worst case scenario. Det er baseret på observationer af fordampning fra bassinerne under feltarbejde og en ukendt fordampning af sne om vinteren/foråret.

Vandstandsloggerne i bassinerne viste i løbet af sommeren lange perioder, hvor der ikke skete overløb, selv om der altid var en tilstrømning fra landfarmen ud i Bassin 1. Det understregede, at der skete en fordampning.

Resultaterne for udledning af nitrogen ses i tabel 9.3. Den lave værdi for 2013 skyldes, at Bassin 1 endnu ikke var fyldt og derfor ikke havde givet overløb til Bassin 2. Der er derfor ikke kommet nitrogen ud i elven i driftsåret mellem 2012 og 2013.

Nitrogen udledt til elv/Noret (i kg)					
Fordampning (%)	2013	2014	2015	2016	2017
50%	0,7	43	55	35	62
25 %	1,0	65	83	53	93
0%	1,3	87	110	70	125

Tabel 9.3 Vurdering af udstrømning af nitrogen til elven baseret på ingen, 25 % eller 50 % fordampning af nedbøren.

Det beregnede interval for 2017 på 62-125 kg nitrogen er det højest beregnede i de 5 år og svarer til belastningen fra mellem 14 og 28 personækvivalenter

på årsplan. I ansøgningen om miljøgodkendelse blev det anslået, at der kunne ske en udledning på op til 603-689 kg N/år. Det svarer til en belastning af recipienten på op til ca. 140 personækvivalenter. Bassinerne har vist sig som en effektiv måde at reducere udledningen af nitrogen til recipienten.

I 2017 blev der desuden foretaget en besigtigelse af elvløbet fra kanalens udløbspunkt og til udløbet i Noret, hvor der ikke blev konstateret synlige tegn på væsentlig påvirkning fra landfarmen. Kloakvand fra Stationen udledes ligeledes til elven og løber sammen med vandet fra kanalen et par hundrede meter længere nedstrøms.

Et øjebliksbillede for nitrogen, august 2017

På basis af gennemsnitlige jord- og vandkoncentrationer af nitrogen i den forurenede jord, i beskyttelseslaget samt i bassinerne sammenholdt med de relevante mængder af jord og vand, er der udarbejdet et øjebliksbillede af, hvor resten af den tilsatte nitrogen befandt sig i 2017. I tabel 9.4 er mængden af nitrogen i jord- og vandfase beregnet for august 2017 – et år efter, at den sidste gødning blev tilsat. På baggrund af feltobservationer er det forudsat, at beskyttelseslaget var ca. 50 % vandmættet (datalogger for vandstand i landfarm var ude af drift i 2016 og 2017).

Nitrogen (N) i landfarm og bassiner primo august 2017 (kg)	
Forurenede jord	561
Beskyttelseslag, jord	755
Beskyttelseslag, vand	368
Bassin 1	52
Bassin 2	6
Nitrogen i alt	1.742

Tabel 9.4 Beregnet indhold af nitrogen i jord- og vandfase for august 2017.

Af de ca. 5 tons nitrogen, der blev tilsat landfarmen mellem 2012 og 2016, var der stadig ca. 1,7 tons i landfarm og bassiner i 2017. Heraf var 97 % stadig inde i landfarmen.

En stor del af denne mængde nitrogen befandt sig i beskyttelseslaget og var derfor ikke længere tilgængelig for bakterierne i den forurenede jord. Ved tøbrud og kraftig regn vurderes det dog, at der kortvarigt kan stige vand fra be-

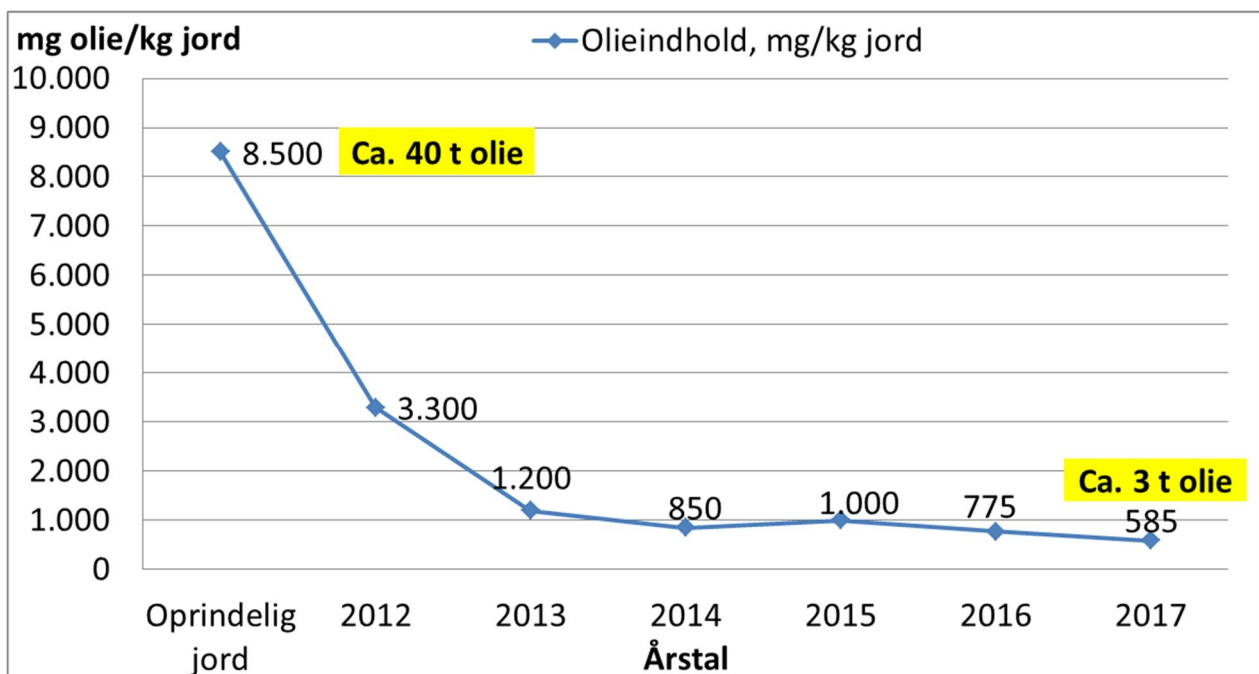
skyttelseslaget op i den forurenede jord, der således alligevel kan modtage bidrag af nitrogen fra beskyttelseslaget.

10. OLIEINDHOLD

Formålet med landfarmen var at reducere olieindholdet i den forurenede jord til et acceptabelt niveau. Udviklingen i den forurenede jord blev derfor fulgt tæt – både ved hjælp af olieanalyser af den forurenede jord, af jord og vand i beskyttelseslaget og af vandprøver fra bassinerne. Men også ved hjælp af bakterietællinger og fingerprinting-analyser for at detektere, om de påviste reduktioner skyldtes fordamning eller biologisk nedbrydning.

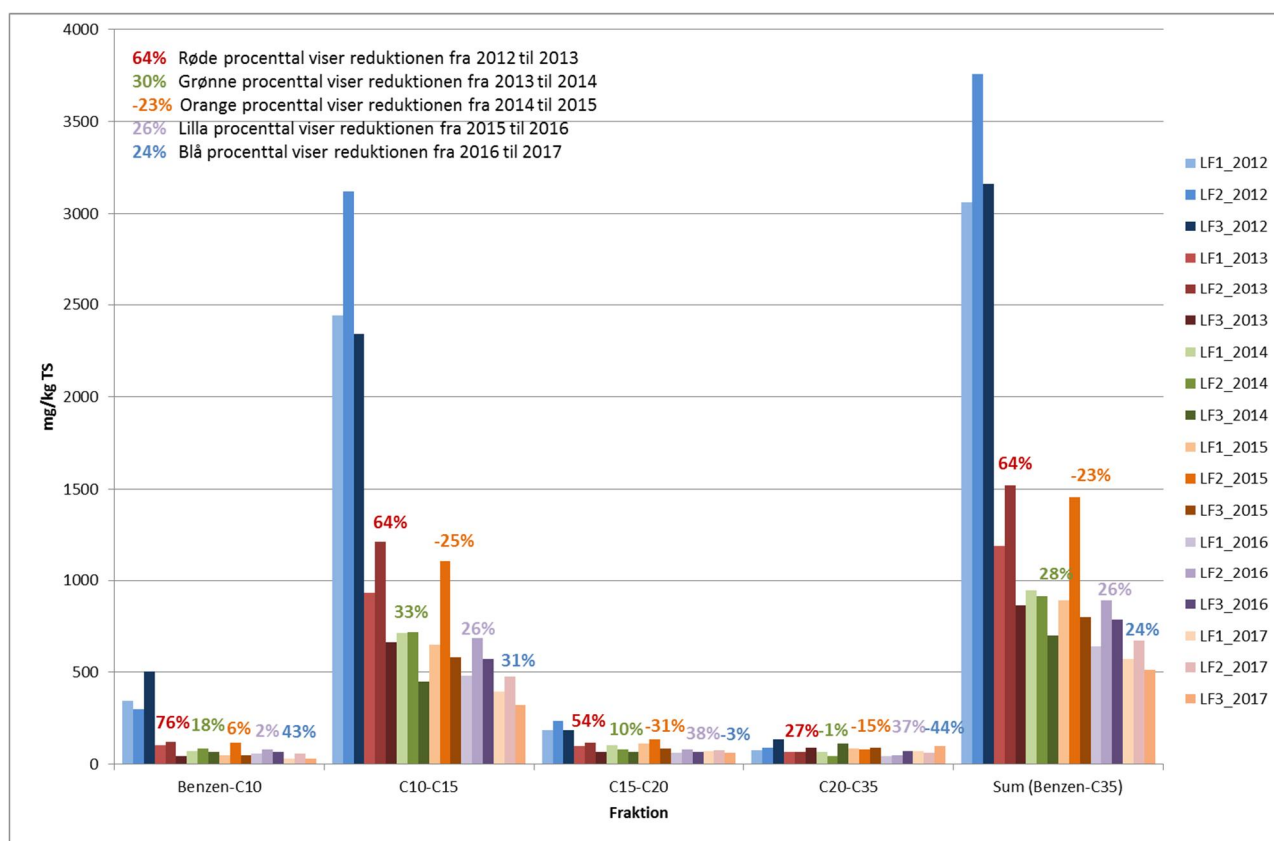
Reduktion i olieindholdet i landfarmen

Figur 10.1 viser den overordnede udvikling i olieindholdet i den forurenede jord fra den lå in situ, til den blev flyttet ind i landfarmen i 2012 og behandlet frem til 2017. Af figuren fremgår det, at der skete en reduktion i oliekoncentrationen på ca. 93 % i det tidsrum. Reduktionen var størst i starten, hvor der bl.a. forsvandt en stor mængde olie i forbindelse med opgravning og flytning. Denne reduktion tilskrives udelukkende fordamning, da jorden blev flyttet i en meget varm og solrig periode. I det første driftsår forsvandt der 64 % i forhold til 2012. Herefter begyndte kurven at flade mere ud. Det vurderes, at den samlede oliemængde, der var tilbage i jorden i 2017, var reduceret fra ca. 40 ton til 3 ton.



Figur 10.1 Udvikling i indholdet af olie i den forurenede jord i landfarmen frem til 2017.

At kurven fladede ud, tolkes som, at de lette oliefraktioner forsvandt først som følge af fordampning og biologisk aktivitet, mens de tungere fraktioner tog længere tid at nedbryde og ikke fordampede så let. At det forholdt sig sådan, underbygges af figur 10.2. Figuren viser faldet i oliekoncentration inden for de enkelte fraktioner og som samlet sum over de 5 driftsår. De enkelte driftsår er yderligere opdelt i 3 underresultater repræsenterende de 3 decision units (LF1-LF3). Der har været store fald i indholdet af fraktionerne C₆-C₁₀ og C₁₀-C₁₅ og væsentlig mindre fald i de tungere fraktioner fra C₁₅-C₃₅. Andelen af de tungere fraktioner var begrænset fra start.

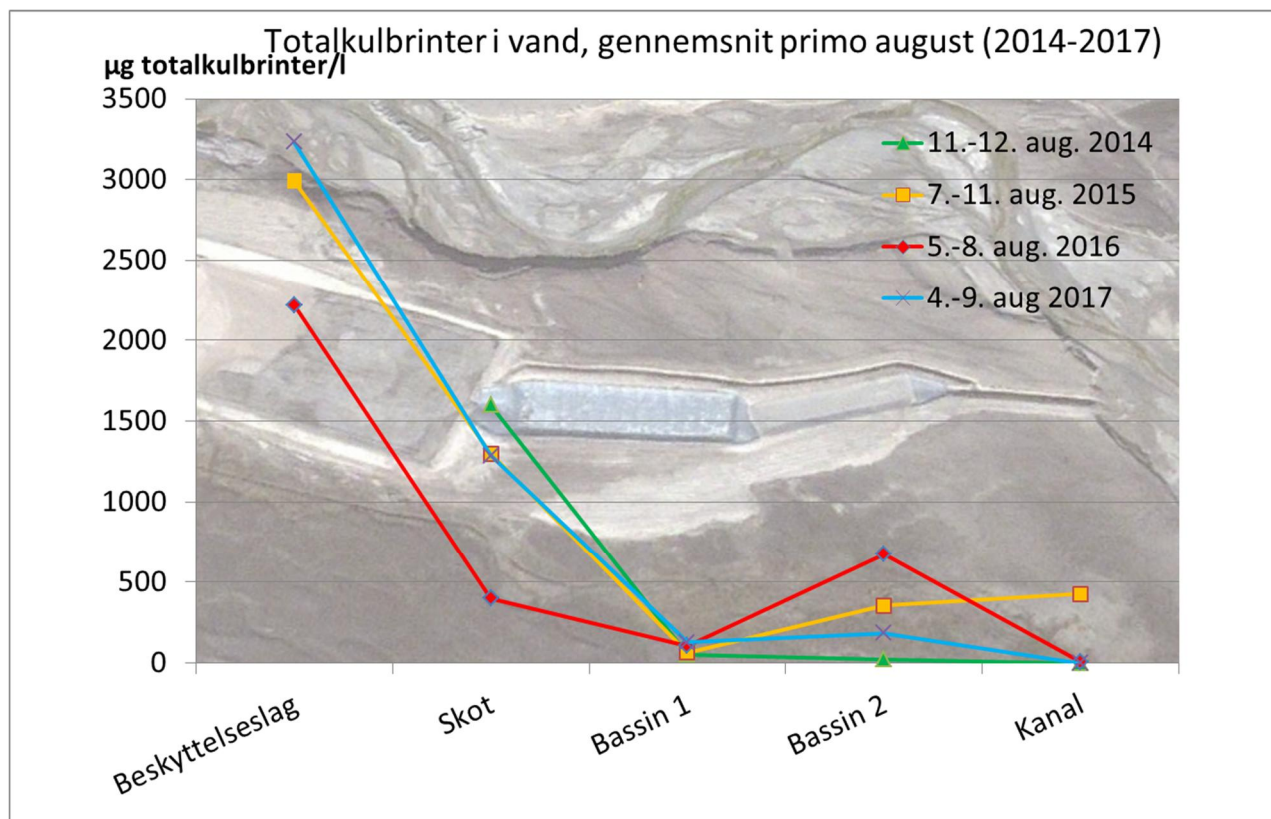


Figur 10.2 Udviklingen i olieindholdet i den forurenede jord fra 2012-2017. Reduktionen i forhold til det foregående år er angivet i %. Hvert år består af 3 søjler, svarende til resultatet for de enkelte Decision Units (LF1-LF3).

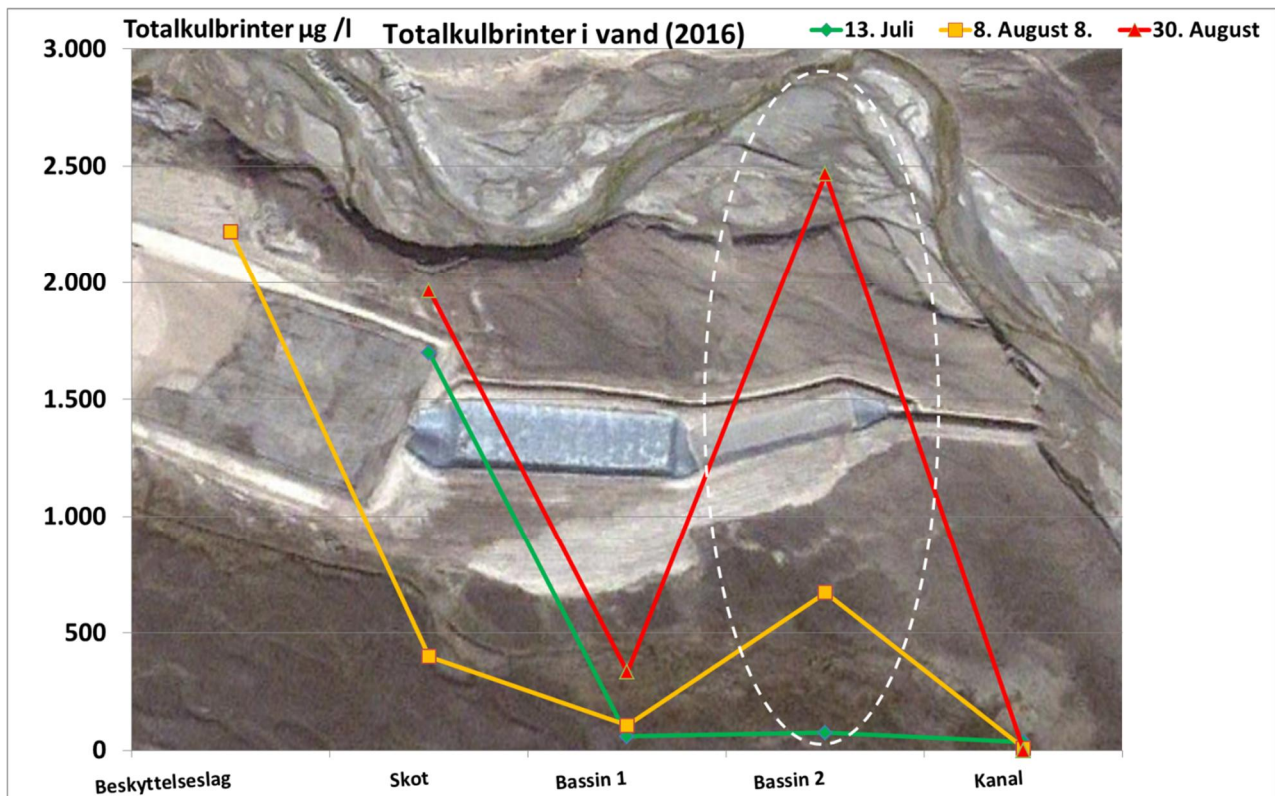
Udledning af opløst olie til elv/Noret

Figur 10.3 er et årligt øjebliksbillede over gennemsnitskoncentrationen af olie i vandprøver udtaget mellem 2014 og 2017 primo august. Det fremgår, at det højeste indhold af olie var i vandet i beskyttelseslaget, og at indholdet blev reduceret betydeligt ved overgang til skot og yderligere i Bassin 1. I Bassin 2 var olieindholdet højere end i Bassin 1 i 3 ud af 4 prøvetagninger og væsentligt højere i 2016. Undersøgelser viste, at algevæksten i særligt Bassin 2 – men også Bassin 1 - udgjorde et problem i forbindelse med analysen af olieproduk-

ter i vandprøver, da algerne indhold af naturlige lipider – bl.a. fedtstoffer - gav udslag som kulbrinter.



Figur 10.3 Oversigt over gennemsnitsoleiekoncentrationen i vandprøver udtaget mellem 2014 og 2017. Baggrundsbilledet illustrerer x-aksens prøvetagningssteder.



Figur 10.4 Oversigt over gennemsnitskoncentrationen af kulbrinter i vandprøver, udtaget i 2016 på 3 forskellige tidspunkter. Der ses en markant stigning i indholdet af kulbrinter i det afsnørede Bassin 2 fra juli til slut august. Der ses også en mindre stigning i Bassin 1. Baggrundsbilledet illustrerer x-aksens prøvetagningslokaliteter.

Algernes indflydelse på resultaterne i 2016 er meget tydelig på figur 10.4, hvor de gennemsnitlige analyseresultater er vist som kurver for hvert prøvetagningstidspunkt (Medio juli, primo august og ultimo august). Indholdet af kulbrinter i Bassin 2 steg drastisk gennem sæsonen til 2.500 µg totalkulbrinter/l. Vandstandsloggerne i bassinerne viste, at der i den periode ikke var overløb fra Bassin 1 til Bassin 2, og den forøgede mængde kulbrinter i Bassin 2 var derfor et resultat af en intern biologisk proces i Bassin 2 – se appendiks 5 og 6.

Indholdet af lipider fra alger gør beregninger af mulig tilførsel af olie fra landfarmen til elven /Noret upræcis. Lipiderne vil indikere et højere indhold af kulbrinter end fra den olie, der stammer fra landfarmen. For at kunne sammenligne de enkelte år er det derfor valgt at tage udgangspunkt i koncentrationen i Bassin 1, der var mindst påvirket af alger. Vandet fra Bassin 1 vil på et tidspunkt strømme til Bassin 2 og videre ud i kanalen.

De beregnede mængder af totalkulbrinter fremgår af tabel 10.1. Som ved beregningen af mængden af nitrogen er der taget udgangspunkt i 300 mm nedbør og det størst mulige opland for landfarm og Bassin 1 og 2. Der er også an-

givet beregninger, hvor der er indkalkuleret henholdsvis en fordampning af den årlige nedbør på henholdsvis 25 og 50 %.

Olie udledt til elv/Noret (i kg)					
Fordampning (%)	2013	2014	2015	2016	2017
50%	0,42	0,28	0,20	0,26	0,52
25 %	0,63	0,41	0,30	0,38	0,77
0%	0,83	0,55	0,40	0,51	1,03

Tabel 10.1 Oversigt over beregnede mængder af opløst olie i kg, der kan være udledt til recipient ved henholdsvis ingen, 25 % eller 50 % fordampning af en gennemsnitsnedbør på 300 mm og det maksimale opland.

Det fremgår af tabel 10.1, at den beregnede mængde totalkulbrinter, inklusiv et ukendt bidrag fra alger, udgjorde en meget begrænset mængde på op til 1 kg pr. år i worst case scenario. Årsagen til den begrænsede mængde vurderes at være, at der fortsat skete en nedbrydning af olie fra landfarmen i bassinerne.

Oliekoncentrationen ved skottet vurderes overvejende at bestå af olie fra den oprindelige forurening⁹, selv om der også var vækster/alger i den gennemskærende afvandingsgrøft. Der er foretaget en beregning, der viser en udledning gennem skottet til Bassin 1 på omkring 6,5 kg olie/år. Der var altså en reduktion på minimum 85 % af den olie, der strømmede ud fra landfarmen i forhold til olieindholdet i Bassin 1.

⁹ Der er også visuelt konstateret en del alger i den gennemskærende afvandingsgrøft inde i landfarmen, så der kan være et biologisk bidrag til oliekoncentrationen her.

11. PH I JORD

pH-værdien anbefales i canadiske retningslinjer /5/ at ligge mellem 6 og 8 i jorden i en landfarm. Der var derfor fokus på at følge pH-værdien, da processer i jorden kan ændre pH f.eks. på grund af tilsætning af gødning.

Der blev årligt udført pH-målinger på jorden i landfarmen. Målingerne blev udført ved at komme 50 g jord i glas sammen med demineraliseret vand, omryste grundigt og herefter måle pH-værdien.

I nedenstående tabel 11.1 ses resultaterne af pH-målinger i jord for de enkelte år. De første par år blev der anvendt vand til udrystning fra stationens vandforsyning. Dette vand havde en pH på ca. 8, og derfor blev der fra 2014 anvendt demineraliseret vand med en pH på 7. Generelt var jorden i landfarmen inden for det ønskede interval, og der blev ikke set tendenser til større stigninger eller fald.

Målte værdier pH i jord						
År	2012	2013	2014	2015	2016	2017
pH	7,7-7,9	7,9-8,6	7,3-8,2	8,0-8,1	7,4-7,6	7,2-7,6

Tabel 11.1 Oversigt over pH-værdier målt i jorden i landfarmen angivet som et interval mellem laveste og højeste værdi. Fra 2014 er der anvendt demineraliseret vand. Før 2014 blev der anvendt stationsvand med en pH på ca. 8.

pH i søvand kan være påvirket af algers fotosyntese, således at pH kan stige flere enheder ved kraftig solindstråling midt på dagen, hvor store mængder opløst CO₂ forbruges i algernes fotosyntese. Fra 2014 blev der observeret grønt vand i bassinerne på grund af alger, og ved feltmålinger viste pH-værdier på op til 11 i bassinerne. For at vurdere, om den høje pH kunne have en hæmmende effekt på bakteriernes nedbrydning af olie – både i bassinerne, men også i landfarmen, hvor vand fra Bassin 1 blev brugt til vanding, udførte GEUS i 2014 undersøgelser på vand fra bassinet. Det anvendte vand fra Mestersvig til forsøget havde en pH på 9,52. Det var under de målinger, der blev målt i felten, men laboratoriemålingen udelukkede ikke højere værdier i felten.

En del af vandet blev fortyndet ned til pH-værdi 9 og 8 (baggrundsværdi i området), og der blev udført mineraliseringsforsøg med vand med 3 forskellige pH-værdier. Der blev ikke set negative effekter af den høje pH. Ved forsøgets afslutning havde vandet med den største pH-værdi også haft den største mineralisering.

12. KONTROLFELT

I 2014 blev der etableret et kontrolfelt i det sydvestlige hjørne af den ikke udnyttede del af landfarmen. Jorden blev taget fra en udposning på LF3 og udbredt i et felt på ca. 10x10 m og 0,3 m i tykkelsen. Jorden var driftet med gødning i 2012 og 2013, men blev ikke siden gødet, pløjet eller vandet. Formålet med feltet var at se, om de biologiske processer ville gå i stå, og om nedbrydningen af olie i jorden ville ophøre, når der ikke længere blev tilført gødning.

Siden 2014 blev der derfor udtaget prøver på samme måde som i LF1-LF3, og der blev foretaget de samme analyser (bakterietællinger, analyser for olie og nitrogen, fingerprinting, nedbrydningsprodukter). Analyseresultater fremgår i nedenstående tabel 12.1.

Kontrolfelt - næringsstoffer og totalkulbrinter mg/kg TS				
År	2014	2015	2016	2017
Nitrogen	11 (12)	15	11	7,8
Phosphor	25 (33)	25	27	41
Kalium	170 (230)	140	113	107
Totalkulbrinter	526 (853)	436	96	148

Tabel 12.1 Oversigt over koncentrationen af næringsstoffer og totalkulbrinter i kontrolfeltet fra 2014-2017. Til sammenligning er gennemsnitsværdierne for jord i landfarmen det tilsvarende år for udtagningen af jord til kontrolfeltet angivet i ().

I landfarmens 3 felter (LF1-LF3) blev der i 2014 gennemsnitligt målt 12 mg N/kg TS, 33 mg P/kg TS, 230 mg K/kg TS og 853 mg totalkulbrinter/kg TS. For næringsstofferne nitrogen og phosphor var der nogenlunde overensstemmelse mellem kontrolfelt og landfarm, mens indholdet af kalium var højere i landfarmen. Der var næsten 40 % mindre totalkulbrinter i kontrolfeltet i forhold til landfarmen. En forklaring kunne være, at den jord, der blev taget til kontrolfeltet fra LF3, var lettere forurenede jord, der var kørt ind til sidst i landfarmen.

Både nitrogen og phosphor var næsten konstant lave værdier frem til 2017, mens der blev set et konstant fald i indholdet af kalium.

Det interessante ved kontrolfeltet har været, at der mellem 2015 og 2016 tilsyneladende skete et stort fald i indholdet af totalkulbrinter fra 436 til 96 mg totalkulbrinter/kg TS på trods af manglende gødning, pløjning og vanding. Ved

kontrolmålingen i 2017 blev der dog set et højere indhold af totalkulbrinter end i 2016, men selv med et indhold på 148 mg totalkulbrinter/kg TS i 2017 var faldet fra 2015 til 2017 på 66 %. En væsentligt højere reduktion end den, der blev set i landfarmen i samme periode (42 %).

Reduktionen i kontrolfeltet i forhold til landfarmen kan ikke lige forklares, men det tyder på, at selv om jorden kun er stimuleret et par gange, kan der fortsat ske betydelig nedbrydning. Datagrundlaget bør dog udbygges yderligere.

GEUS konstaterede, at der var betydeligt færre olienedbrydende bakterier for alle oliestoffer i kontrolfeltet i forhold til landfarmen fra 2015 og frem.

Københavns Universitet så i 2014 en væsentligt større nedbrydning af alkaner og PAH'er i kontrolfeltet, bl.a. fluorener og methylphenanthrener i forhold til landfarmen. Jorden var dog her kun lige flyttet fra LF3 og var derfor ikke væsentligt anderledes ud over et lavere indhold af kulbrinter og en grundig beluftning i forbindelse med flytningen.

13. DRIFTSERFARINGER

Nedenstående forskellige observationer og efterrationaliseringer har været undersøgt undervejs eller bør tages med i overvejelserne, enten i forbindelse med genbrug af landfarmen eller ved etablering af en ny landfarm.

Sten

Jorden i landfarmen indeholdt store mængder sten. I forbindelse med tidligere undersøgelser var der i boringer overvejende konstateret sand med grus og enkelte sten. Der var derfor ikke kalkuleret med en soldning af den forurenede jord i forbindelse med opgravning og flytning til landfarmen. I så fald skulle der også have stået et anlæg klar, der kunne have rensset/vasket stenene med opsamling og afledning af vand gennem olieudskillere.

En soldning for sten før indkørsel ville have reduceret mængden af jord i landfarmen, der skulle behandles og måske bidrage til en bedre tekstur.

Stenene gjorde desuden jordprøvetagning med pælespade vanskeligere og udelukkede mere mekaniske prøvetagningsmetoder.

Beskyttelseslaget

Beskyttelseslaget under den forurenede jord blev prøvetaget flere gange. Stikprøver i LF1 og LF2 i 2013 viste et olieindhold i jorden på op til 10 mg/kg TS. I 2015 og 2017 var laget frigravet 9 steder – 3 i hvert felt (LF1-LF3) – og der blev udtaget jordprøver. I 2015 blev der ikke påvist indhold af kulbrinter i de 9 prøver over detektionsgrænsen. Der blev i 2017 påvist indhold af totalkulbrinter i 3 ud af 9 prøver – højeste indhold var på 8,6 mg/kg TS. En prøvetagning i 2014 blev kasseret på grund af kontaminering fra det overliggende forurenede jordlag i forbindelse med prøvetagningen. På trods af et højt indhold af opløste olier i vandfasen i beskyttelseslaget (se fig. 10.3) er sandet i beskyttelseslaget ikke blevet forurenede af den overliggende jord.

Dræning og kontrol af vand i landfarmen

I de første driftsår var der problemer med høj vandmætning og bløde områder i landfarmen, der gjorde driften med maskiner vanskelig. Desuden var der tendens til, at smeltevand samlede sig i den ubenyttede del af landfarmen og havde svært ved at dræne væk. Det blev konstateret, at et af problemerne var, at der i beskyttelseslaget, der består af 0-8 mm korn, var en overrepræsentation af fraktionen 0,5-2 mm (<60 %). Det gjorde afdræningen gennem

beskyttelseslaget mindre effektiv, end det var forventet. Følgende tiltag blev derfor iværksat for at afhjælpe problemet: 1) Indmåling og justering af højden på skottet med 15 cm i 2013, så vand fra den forurenede jord altid kunne dræne ud af landfarmen. 2) Etablering af en afvandingsgrøft i 2014 fra den ubenyttede del gennem den forurenede jord direkte til skottet – både så smeltevand ikke kunne ophobes, og så det forurenede jordlag hurtigere kunne dræne af.

De etablerede ændringer har indtil videre været tilstrækkelige til at sikre et kørefast underlag efterfølgende. Det vurderes dog, at skottet fortsat skal åbnes ca. 3 uger før for at sikre dette, og at evt. kraftig nedbør tæt på drift kan medføre, at landfarmen kan være for blød at køre i med tunge maskiner. Den langsomme afdræning fra landfarmen har dog den fordel, at hovedparten af den olie og nitrogen, der tilføres bassinerne, når at blive nedbrudt eller optaget før udledning til recipient.

Gødning og nitrogenindhold

Som nævnt under kapitel 9. Gødningstilsætning og næringsstoffer gav den første gødning problemer i forhold til, at den frigav nitrogenet for hurtigt. Løsningen blev at indkøbe en ekstra type gødning, der var garanteret frostsikker. Den nye gødning har vist, at den kan frigive nitrogen over en længere periode – mere end et driftsår. Der var således tilgængeligt nitrogen i starten af vækstsæsonen for bakterierne, hvor tilsætning af gødning ikke var mulig på grund af en våd og blød landfarm.

Vanding

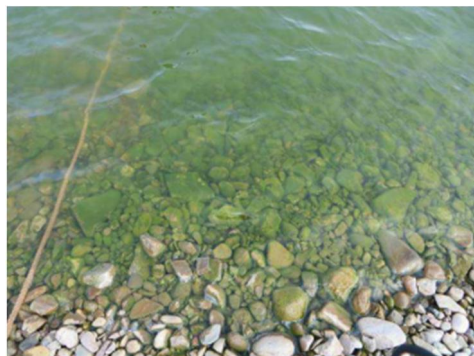
Vanding af landfarmen med vandspredere viste sig at give problemer i forhold til jordens evne til at optage vandet. I forhold til det aktuelle vandindhold (ofte omkring 8-10 % ved prøvetagning) i landfarmen skulle der vandes op, så jordens vandindhold gerne kom tæt på markkapaciteten på omkring 22 %. Gødningstilsætningen var beregnet efter et vandindhold på mindst 15 %. Det viste sig, at spredere gav for meget vand på for kort tid, så der blev dannet søer på overfladen af landfarmen, og vandet "brød" igennem til beskyttelseslaget. Det medførte risiko for øget udvaskning af næringsstoffer og mindre nitrogen til bakterierne i den forurenede jord. Problemet blev løst ved at vande i intervaller, således at der blev vandet 20-30 minutter, og derefter var der en pause på 30 minutter, hvorefter vandingen blev genoptaget. På den måde blev der spredt ca. 6 mm/timen. Jorden havde dog stadig svært ved at opsuge vandet, og vandingsmængden blev derfor også reduceret. Et andet vandingssystem bør derfor overvejes.

Grønt vand i bassinerne - alger

I 2013 var Bassin 1 blevet grønt, mens Bassin 2 var klart. Bassin 1 havde siden 2012 modtaget vand med næringsstoffer fra landfarmen. Vandstandsmålerne viste, at Bassin 2 ikke havde fået tilført vand fra Bassin 1 og derfor kun indeholdt smeltevand. I 2014 var begge bassiner blevet grønne, og der var ringe sigtedybde. Stenene i Bassin 2 var overbegroede og grønne. Dette er fortsat frem til 2017.

GEUS foretog en undersøgelse af vandprøver fra bassinerne i 2016 for at afklare, om den grønne farve stammede fra grønalger eller potentielt giftige cyanobakterier (blågrønalger) – se appendiks 5. Konklusionen var, at der var tale om grønalger.

Som tidligere nævnt under afsnit "10. Olieindhold", skabte alger i bassinerne problemer i forhold til at opnå eksakte analyseresultater for indholdet af olie fra landfarmen i bassinerne. De naturlige lipider (fedtstoffer) i alger gav et bidrag til indholdet af totalkulbrinter, der var meget svært at kvantificere



Figur 13.1. Algegrønt vand og begroede sten.

Røde overflader i den ubenyttede del af landfarmen

Fra 2014 blev der observeret en tydelig rød-farvning i toppen af beskyttelseslaget i den ubenyttede del af landfarmen. GEUS modtog prøver af overfladen til analyse for at undersøge, om det var biologiske eller mineralogiske udfældninger. Konklusionen var, at det var purpurbakterier og purpursvovlbakterier, der er almindelige i lavvandede, næringsrige laguner og på mudderflader.



Figur 13.2: Røde belægnings.

pH i bassiner

I takt med, at bassinerne blev grønne af alger, steg pH-værdien flere gange til mellem 10 og 11.

pH i bassinerne blev ikke påvirket af landfarmens pH, hvor der blev registreret en pH på omkring 7 i både beskyttelseslagets vand og ved udløbet ved skottet. Årsagen til den høje værdi skyldtes, at der foregik en intens fotosyntese blandt

algerne i bassinerne på grund tilførsel af næringsstoffer fra landfarmen og midnatssol om sommeren. Fænomenet er kendt også fra planterige danske søer /7/. Den intense fotosyntese gav også anledning til en overproduktion af ilt. Der blev målt iltmætning på op til 137 %.

På trods af en høj pH og iltkoncentration så myggelarver ud til at trives i vandet. Det må forventes, at pH med mellemrum stiger i kanalen fra baggrundsværdien 8 til den værdi, der er i Bassin 2, når der er overløb fra bassinet.

Salinitet

Der blev ført nøje kontrol med nitrogenmængderne i landfarmens jord og tilsætning af gødning skete med forsigtighed. Det var vigtigt at undgå for meget salt i jorden i forhold til vandindholdet for at undgå en risiko for, at bakterierne ikke trivedes og dermed nedbrød mindre olie eller i værste fald døde.

Moniteringen af saliniteten kan foretages som en simpel måling af ledningsevnen – en parameter, der dog først blev medtaget i overvågningen i 2017. I 2017 blev der målt 0,5 mS/cm i landfarmens jord, 0,125 mS/cm i kontrolfeltet og 0,728 mS/cm i vandet i beskyttelseslaget.

GEUS udførte i 2016 forsøg med forskellige gødningskoncentrationer for at vurdere effekten af at tilsætte mere gødning mod slutningen af pilotprojektet ud fra den betragtning, at Multicote 4-gødningen frigav nitrogen over lang tid. Ved at tilsætte ekstra gødning kunne der sikres nitrogen til bakterierne flere år efter, at forsøget var slut og dermed ekstra nedbrydningspotentiale. I forbindelse med forsøget med tilsætning af gødning blev der målt ledningsevne i jorden uden tilsat gødning på omkring 1,85 mS/cm og op til 3,06 mS/cm i jord, der var tilsat 1.200 mg N/kg. Nedbrydningsprocessen blev konstateret langsommere ved de høje gødningskoncentrationer. Den høje ledningsevne i jorden uden gødning var overraskende høj og kunne indikere, at salte var ved at bygge op i jorden.

Sammenlignes feltmålingen fra 2017 med de målte værdier af ledningsevnen i laboratorieforsøget, hvor mineralisering fandt sted på trods af en høj ledningsevne, vurderes ledningsevnen i landfarmen i 2017 at være i den lave ende og dermed at give bakterierne gode muligheder for mineralisering.

14. KONKLUSIONER

På baggrund af resultaterne i Mestersvig vurderes metoden landfarming at være en effektiv lavteknologisk løsning til at behandle jord, der er forurenede med Arctic Grade C. Der er sket en samlet reduktion på 82 % fra den første prøvetagning i landfarmen i 2012 til den sidste i 2017. Hertil kommer den meget store fordampning, der skete i forbindelse med flytningen af jorden til landfarmen.

Den biologiske nedbrydning og fordampningen har vist sig at være effektiv, selv om der kun er et temperaturvindue på 2 måneder om året, hvor temperaturen er over > 5 °C, og der er kun blevet driftet 1 gang årligt.

Dette tætte studie af bakterier, fingerprinting analyser og nedbrydningsprodukter af PAH'er har vist, at der findes olienedbrydende bakterier til stort set alle de undersøgte oliestoffer. Selv for de tunge aromater ses der begyndende nedbrydning – inklusiv de tunge, svovlholdige aromater. Selv om der ikke er påvist bakterier til nedbrydning af f.eks. oliestoffet benzothiophen, er der alligevel fundet nedbrydningsprodukter af stoffet, der viser, at det bliver nedbrudt – formodentlig co-metabolsk. Nedbrydningen af olieprodukter i landfarmen vurderes derfor ikke at efterlade problematiske nedbrydningsprodukter.

De 2 forsinkelsesbassiner har medført, at overskudsvand fra landfarmen med højt indhold af olie og næringsstoffer er blevet reduceret væsentligt i koncentration før udløb til elven. I 2017 er der 91 % mindre nitrogen i det vand, der kan løbe ud af Bassin 2 til recipienten i forhold til det vand, der løber ud af landfarmen gennem skottet. De mange alger, der bidrager stort til indholdet af totalkulbrinter i bassinerne, har gjort det vanskeligere at kvantificere reduktionen af olie, men gennemsnitstal for skottet og Bassin 1, der er mindst påvirket af alger, viser en reduktion på 89 %.

Prøver udtaget fra beskyttelseslaget har vist, at forureningen fra den overliggende jord ikke har medført forurening af det underliggende beskyttelseslag. Olien fra det forurenede lag vurderes at passere igennem beskyttelseslaget i opløst form uden at hæfte sig til jordpartiklerne.

Bakterietællinger fra GEUS har vist, at antallet af olienedbrydende bakterier i den behandlede jord er betydeligt højere end i ikke-gødnet jord. Tællinger fra kontrolfeltet viser, at bakterieantallet bliver markant lavere igen, hvis tilførsel af gødning ophører. Selv om antallet af bakterier er gået ned efter ophørt be-

handling i kontrolfeltet, er der dog fortsat set en reduktion i olieindholdet. I 2017 vurderes mængden af nitrogen i den forurenede jord i landfarmen tilstrækkelig til, at den biologiske nedbrydning vil fortsætte de kommende år, selv om landfarmen ikke driftes.

Projektets formål var at undersøge, om det var muligt at nedbringe koncentrationen af olie i forurenede jord til et acceptabelt niveau. Da projektet har været et pilotforsøg, har der ikke været opstillet endelige succeskriterier eller krav fra myndighederne om nå et bestemt mål. På baggrund af en risikovurdering af de målte koncentrationer i 2017, vurderes jorden at kunne udtages af landfarmen og anvendes til:

- Afdækningsjord på dumpen.
- Opfyld af huller i stationsområdet f.eks. erstatningsjord i forbindelse med afgravning af eksisterende forureninger.
- Vej- eller banematerialer (kræver sortering).

Der kan være en risiko for afdampning fra fraktionerne C₆-C₁₀ og C₁₀-C₁₅. Derfor anbefales jorden ikke anvendt under nybyggeri, medmindre der træffes byggetekniske afværgeforanstaltninger. Jorden kan risikofrit anvendes op til eksisterende bygninger.

Desuden anbefales jorden ikke anvendt inden for oplandet til drikkevandssøen eller i kontakt med recipienter, hvor der er risiko for erosion.

På baggrund af en risikovurdering vurderes jorden i landfarmen at kunne anvendes til en række formål i stationsområdet. Projektet vurderes derfor at have levet op til formålet.

15. REFERENCER

- /1/ Forureningsundersøgelse, 9117 Mestersvig. NIRAS for Forsvarets Bygnings- og Etablissementstjeneste. Forvaltningsdivisionen. Miljøafdelingen. Januar 2009.
- /2/ Supplerende forureningsundersøgelser. 9117 Mestersvig. NIRAS for Forsvarets Bygnings- og Etablissementstjeneste. Miljøafdelingen. September 2010.
- /3/ Aerob biodegradability of a hydrocarbon contamination in an Arctic soil from Greenland. Final report version 3. BioClear for NIRAS. 20. april 2011
- /4/ Blyklippen lead-zinc mine, Mestersvig, Existing knowledge, GEUS rapport 2001/115
- /5/ Federal Guidelines for Landfarming Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soils, SAIC Canada, Environmental Technologies Program, December 2005
- /6/ 9117 Mestersvig. Landfarm - Statusrapport 2013. Forsvarets Bygnings- og Etablissementstjeneste, Miljøsektionen, juni 2014.
- /7/ Ferskvandsøkologi, K. S. Jensen og C. Lindegaard, Gyldendal 2004.