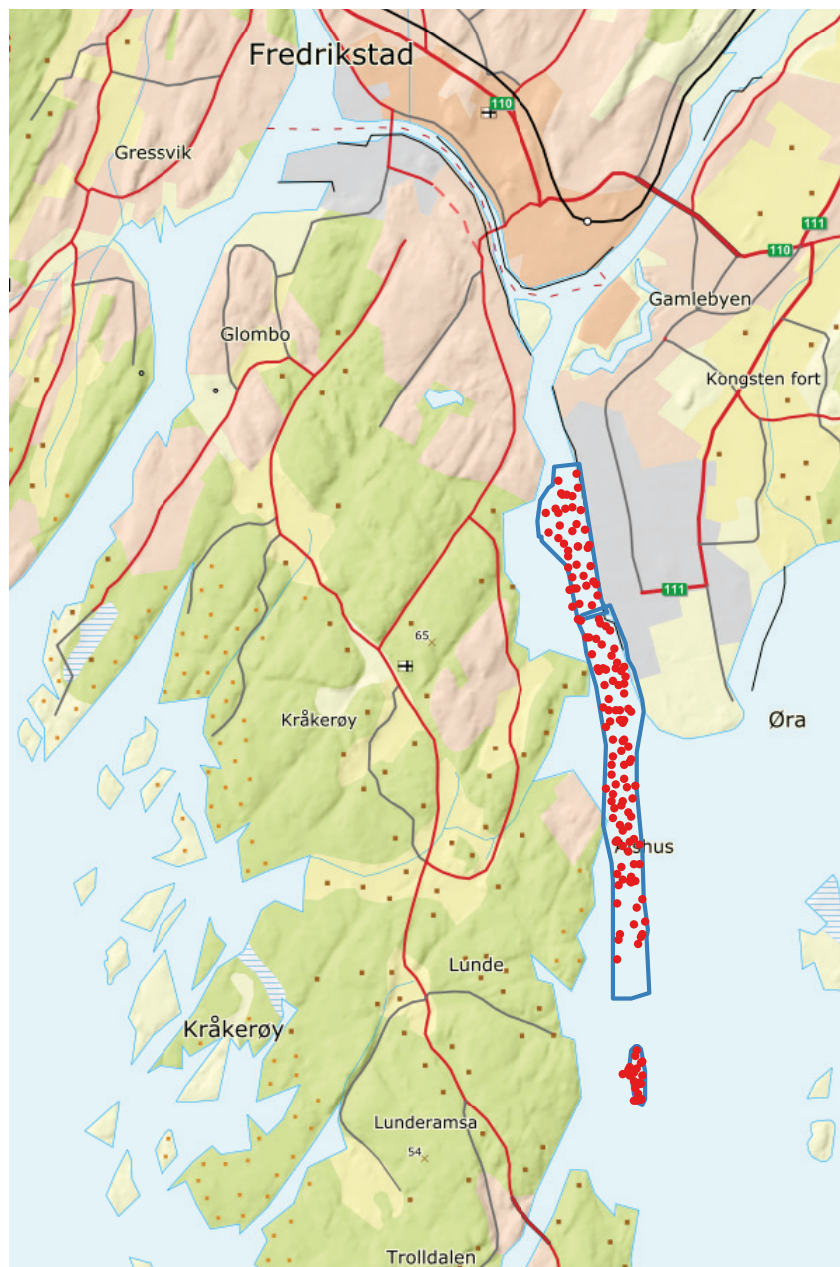


Statistisk analyse av volum av forurenset sediment i Borg 1 og Flyndregrunnen, basert på samlet kjemisk analysemateriale fram til 2017



**Statistisk analyse av volum av forurenset sediment
i Borg 1 og Flyndregrunnen, basert på samlet
kjemisk analysemateriale fram til 2017**

RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Tittel Statistisk analyse av volum av forurenset sediment i Borg 1 og Flyndregrunnen, basert på samlet kjemisk analysemateriale fram til 2017	Løpenummer 7277-2018	Dato 09.05.2018
Forfatter(e) Dag Ø. Hjermann	Fagområde Miljøgifter - marin	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Fredrikstad, Østfold, Norge	Sider 55

Oppdragsgiver(e) Rambøll Norge AS	Oppdragsreferanse Tom Jahren . Innseilingen til Borg Havn
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 16364

<p>Sammendrag</p> <p>Det er foretatt statistiske beregninger av volummengden av forurenset sediment i området Røsvikrenna (nordligste del av leden til Borg havn, tiltaksområde Borg 1) samt Flyndregrunnen (den nordligste grunna i tiltaksområde Borg 2). Beregningene er basert på 620 prøver (seksjon av kjerneprøve eller overflateprøve) fra Røsvikrenna og 95 prøver fra Flyndregrunnen som er analysert kjemisk. Volumberegningen er gjort for ulike konfidensnivåer, der konfidens er definert ut fra andelen av sediment klassifisert som ikke-forurenset som i realiteten kan være forurenset. For Borg 1 er mengden forurenset sediment teoretisk beregnet til ca. 573 000 m³ (dersom en velger et konfidensnivå på 80 %) eller 757 000 m³ (dersom en velger et konfidensnivå 95 %). Beregninger fra Van 't Hoff Consultancy viser at de tilsvarende praktiske volumene, dvs. de massene som i praksis må behandles som forurenset, er estimert til 699 000 m³ (for konfidensnivå 80 %) eller 917 000 m³ (for konfidensnivå 95 %). For Flyndregrunnen er mengdene forurenset sediment beregnet til et teoretisk volum på ca. 39 000 m³ (for konfidensnivå 80 %) eller 42 000 m³ (konfidensnivå 95 %). Volumene med forurenset sediment er kartlagt og vises som konturer i kart laget for hver 10 cm dybde for begge konfidensnivåer.</p>

<p>Fire emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Miljøgifter Marine sedimenter Mudring 	<p>Four keywords</p> <ol style="list-style-type: none"> Contaminants Marine sedimenter Dredging
---	--

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Dag Øystein Hjermann

Prosjektleder

Tor-Petter Johnsen

Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7012-9
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

Forord

Denne statistiske analysen er blitt utført på oppdrag fra Rambøll i forbindelse med Kystverkets utredning av mudring for å gjøre farleden til Borg havn (Fredrikstad kommune) dypere og bredere, samt anlegning av snuplass. Beregningene av praktisk volum (**Tabell 5**) er utført av Van 't Hoff Consultancy. Jeg vil takke Tom Jahren, Aud Helland, Ingvild Fladvad Størdal og Tore Slåtten (Rambøll), Eivind Edvardsen (Kystverket, senere WSP), Jan van 't Hoff (Van 't Hoff Consultancy), Johan Pennekamp (Deltares), Elin Kramvik (Multiconsult) og Ragnhild Lundmark Daae (SINTEF) for godt og hyggelig samarbeid. Takk til Tor-Petter Johnsen og Eivind Edvardsen for gjennomlesing og kommentarer.

Oslo, 14. mai 2018

Dag Ø. Hjermann

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	7
2	Statistisk bakgrunn	8
3	Metode	9
3.1	Prøver og kjemiske analysedata	9
3.2	Antagelser om den romlige variasjonen	13
3.3	Matematisk beskrivelse av forurensing i hver kjerneprøve	14
3.4	Romlig modell av relativ forurensingsgrad ($C_{\text{max}_{\text{relativ}}}$)	16
3.5	Valg av type GAM-modell	18
3.6	Beregning av volum forurenset og ikke-forurenset materiale	18
4	Resultater	19
5	Konklusjon	23
6	Referanser	24

Sammendrag

Det er foretatt statistiske beregninger av volummengden av forurenset sediment i området Røsvikrenna (nordligste del av leden til Borg havn, tiltaksområde Borg 1) samt Flyndregrunnen (den nordligste grunna i tiltaksområde Borg 2). Beregningene er basert på 620 prøver (seksjon av kjerneprøve eller overflateprøve) fra Røsvikrenna og 95 prøver fra Flyndregrunnen som er analysert kjemisk. Volumberegningen er gjort for ulike konfidensnivåer, der konfidens er definert ut fra andelen av sediment klassifisert som ikke-forurenset som i realiteten kan være forurenset. For Borg 1 er mengden forurenset sediment teoretisk beregnet til ca. 573 000 m³ (dersom en velger et konfidensnivå på 80 %) eller 757 000 m³ (dersom en velger et konfidensnivå 95 %). Beregninger fra Van 't Hoff Consultancy viser at de tilsvarende praktiske volumene, dvs. de massene som i praksis må behandles som forurenset, er estimert til 699 000 m³ (for konfidensnivå 80 %) eller 917 000 m³ (for konfidensnivå 95 %). For Flyndregrunnen er mengdene forurenset sediment beregnet til et teoretisk volum på ca. 39 000 m³ (for konfidensnivå 80 %) eller 42 000 m³ (konfidensnivå 95 %). Volumene med forurenset sediment er kartlagt og vises som konturer i kart laget for hver 10 cm dybde for begge konfidensnivåer.

Summary

Title: Statistisk analyse av volum av forurenset sediment i Borg 1 og Flyndregrunnen, basert på samlet kjemisk analysemateriale fram til 2017

Year: 2018

Author(s): Dag Ø. Hjermmann

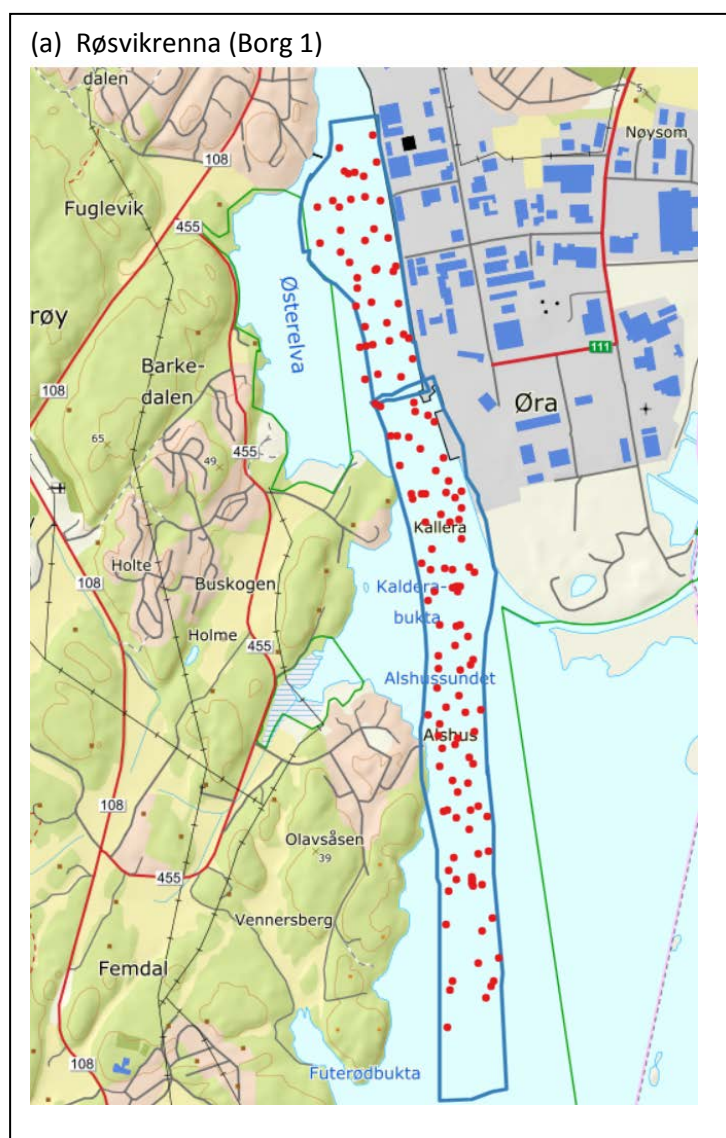
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7012-9

In this report, we present statistically based estimates of the volume of contaminated sediments in parts of the fairway to Borg harbour (Røsvikrenna and Flyndregrunnen). The estimates are based on 620 sediment samples (section of core sample or surface samples) from Røsvikrenna and 95 samples from Flyndregrunnen, which have been analysed chemically. Two levels of confidence have been used, where we define confidence based on the proportion of sediment that has been classified as non-contaminated which in reality is contaminated. For Røsvikrenna, the volume of contaminated sediment was estimated to ca. 573 000 m³ (confidence level 80 %) or 757 000 m³ (confidence level 95 %). Estimates from Van 't Hoff Consultancy shows that the corresponding practical volumes, i.e., the volume of sediment that in practice will be treated as contaminated sediment, is 699 000 m³ (confidence level 80 %) or 917 000 m³ (confidence level 95 %). For Flyndregrunnen, the theoretical volume of contaminated sediment is ca. 39 000 m³ (confidence level 80 %) or 42 000 m³ confidence level 95 %). The volumes of contaminated sediment has been mapped as contours in one map per 10 cm depth for both confidence levels.

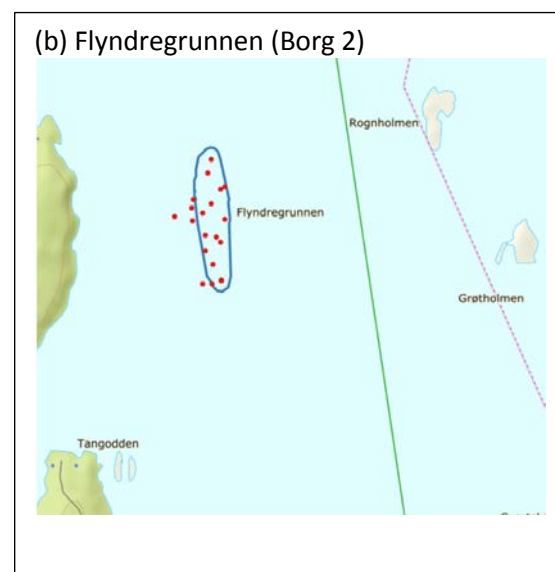
1 Innledning

Dette notatet er utført i forbindelse med planene om mudring av innløpet til Borg havn i Fredrikstad kommune. Notatet omhandler tiltaksområdet Borg 1 (Røsvikrenna) samt Flyndregrunnen, en av grunnene i tiltaksområde Borg 2. Formålet med denne rapporten er å tallfeste volum sedimenter med uakseptable konsentrasjoner av miljøgifter (heretter kalt «forurenset») i forhold til valgt statistisk konfidens. NIVA har tidligere utført en rapport (Hjermann 2016a) og to notater (Hjermann 2016b,c) med statistiske analyser. I Hjermann (2016c) ble det estimert hvor mye usikkerheten vil minke ved tre ulike alternativer:

(1) gjøre kjemiske analyser av flere prøver fra eksisterende kjerner (som er lagret i fryserom)
 (2) i tillegg til de ekstra analysene i (1), ta 32 nye kjerner og analysere 4-5 kjerner fra hver av disse
 (3) i tillegg til de ekstra analysene i (1), ta 65 nye kjerner og analysere 4-5 kjerner fra hver av disse
 Det ble bestemt å legge seg nær det siste alternativet, og 55 nye kjerner ble tatt og analysert i løpet av 2017. Det samlede omfanget prøver er på 620 prøver fra Borg 1 og 95 prøver fra Flyndregrunnen i Borg, og utgjør grunnlaget for denne rapporten. Et kart over plasseringen av prøvene i Borg 1 (Røsvikrenna) er vist i **Figur 1**.



Figur 1. Kart over prøvepunktene (røde punkter) i Borg 1, Røsvikrenna (a) og Flyndregrunnen (en av grunnene i Borg 2). Områdene som skal mudres er vist med blått omriss. I Røsvikrenna er mudringsområdet delt i to: Den nordlige delen skal mudres til 11.3 meter under sjøkartnull, den sørlige delen skal mudres til 13.3 m under sjøkartnull. Bakgrunnskart: Kartverket. Plottet ved hjelp av leaflet.js.



2 Statistisk bakgrunn

Formålet med analysen er å beregne volummengden av forurenset sediment i massene som skal mudres. Forurenset sediment er i regelen regnet som sediment i forurensingsklasse 4 og 5 ifølge Miljødirektoratet (2016). Basis for beregningen er kjemiske analyser tatt av sedimentet, enten prøver tatt fra overflaten (0-10 cm) med grabb, eller kjerneprøver tatt lenger ned i sedimentet (fra 10 cm og nedover). Volummengden er beregnet for ulike grader av statistisk sikkerhet. Vi kan være 100 % sikre på forurensingsnivået bare akkurat på den posisjon og dybde som prøven er tatt. Imidlertid antar vi at det er en viss struktur i sedimentene: Sedimentet 10 cm fra en prøve vil sannsynligvis være mer lik prøven enn et sediment som ligger 50 meter unna. Dersom en prøve er godt under grensenivåene for å være forurenset, vil det altså være meget sannsynlig at sedimentet som er 10 cm lenger mot nord, også er under disse grenseverdiene. Selv om denne sannsynligheten vil være svært nær 100 %, er den ikke eksakt 100 %. La oss si at det 100 m lenger mot nord er en prøve som er klart forurenset. Beveger vi oss 10 cm fra denne prøven, kan vi være ganske sikre på at vi fremdeles befinner oss i et forurenset sediment. Men hva om vi befinner oss midt mellom disse to prøvene, altså 50 m fra hver prøve? Her vil de fleste si at vi har en 50/50 situasjon – at det er omtrent like sannsynlig at sedimentet er forurenset som at det ikke er det. I en del av området er kanskje alle sedimentprøvene godt under de kjemiske grenseverdiene. Om vi befinner oss midt mellom to av disse «rene» prøvene, vil de fleste si at det er sedimentet her er ikke-forurenset.

At forurensingen varierer i området er det man kaller romlig variasjon, og det at vi antar at to sediment nær hverandre er mer lik to sediment lenger fra hverandre, kalles romlig autokorrelasjon. Vår verbale beskrivelse over er et skritt på veien mot en romlig modell av variasjonen av forurensningsgraden.

I denne statistiske analysen lager vi en statistisk modell for å beskrive denne romlige variasjonen. Vi bruker denne modellen til å beregne usikkerheten til sedimentets tilstand på hvert punkt i sedimentet, både i horisontalt (altså posisjon gitt ved lengdegrad/breddegrad) og i dybden (vertikalt). Vi er nødt til å gjøre visse antagelser og velge en statistisk modell for dette, og våre beregninger vil derfor ikke være et fasitsvar: et annet valg av oppdeling f.eks. i dybderetningen og et annet valg av statistiske modeller vil kunne gi et litt annet svar. Vi tror likevel at våre valg er relativt robuste (bl.a. annet har vi brukt to ulike modeller for å beskrive variasjon i horisontalplanet, og valgt den modellen som viste best tilpasning til dataene). Så vi tror at andre metodiske valg ikke ville gitt dramatisk forskjellige resultater med tanke på volumer.

Hvis vi vil dele sedimentet inn i forurenset og ikke-forurenset, så avhenger denne inndelingen av hvilket konfidensnivå vi legger oss på, det vil si hvor sikre vi er på at området vi definerer som «forurenset» får med seg alle faktisk forurensede sediment. Hvis vi vil være 99.9999 % sikre på at det sedimentet vi kaller «ikke-forurenset», faktisk ikke er forurenset, blir vi nødt til å definere nesten alt sediment som forurenset; bare det sedimentet som er i umiddelbar nærhet av de ikke-forurensede prøvene, kan vi tillate oss å anta er ikke-forurenset. I dette tilfellet er altså konfidensnivået 99.9999 %, og med et så strengt konfidensnivå vil volum forurenset sediment være omtrent lik det totale volumet sediment. Dette ville være overmåte strengt (og det ville knapt ha noen hensikt å analysere sedimentprøver i det hele tatt). Senker vi vårt krav til 99.99 % sikkerhet, vil vi kunne klassifisere sediment som ikke-forurenset i noe større avstand fra de rene prøvene, og så videre. I denne analysen har vi brukt konfidensnivåer på mellom 80 og 95 % og angir hvor store volumer som klassifiseres som forurenset/ikke-forurenset med disse konfidensnivåene.

Vårt mål er altså å beregne hvor store volumer som kan klassifiseres som forurenset, om vi opererer med et gitt konfidensnivå. Vi gjør dette ved først å definere statistiske modeller som beskriver den romlige variasjonen i forurensing. Vi deler så sedimentet opp i «kuber» på 1 x 5 meter i horisontalretningen og 10 cm i dybderetningen, og ved hjelp av den statistiske modellen kan vi si hvorvidt denne kuben med sediment skal klassifiseres som forurenset eller ikke-forurenset med det gitte konfidensnivået, f.eks. 95 %. Totalt volum av sediment som skal klassifiseres som forurenset, får vi ved ganske enkelt å telle opp antall kuber vi har klassifisert som forurenset og gange resultatet med volumet til hver kube, som er $1 * 5 * 0.1 = 0.5 \text{ m}^3$. Videre kan vi også kartlegge de sedimentene vi har definert som forurenset på et gitt sediment eller vanddypp.

3 Metode

3.1 Prøver og kjemiske analysedata

Basis for den statistiske analysen er kjemiske analyseresultater fra 620 fysiske prøver, dvs. enten kjerneprøver der hver prøve er en 10 cm lang bit av en kjerne eller en overflateprøve (hver overflateprøve er en blandprøve av fire prøver tatt med overflategrabb i umiddelbar nærhet av hverandre). Fra hver av disse prøvene har vi konsentrasjoner av 26 stoffer eller kombinasjoner av stoffer med grenseverdier gitt av Miljødirektoratet. Antall stoffer som totalt er analysert er høyere, f.eks. finnes det analyseverdier for hver av kongenerene (variantene) av PCB, men det er kun

Tabell 1. Antall prøver på ulike dyp i Røsvikrenna og på Flyndregrunnen. Tabellen viser også hvor mange prøver som hadde en eller flere stoffer over den aktuelle grenseverdien.

Sedimentdyp (cm)	Røsvikrenna (Borg 1)			Flyndregrunnen (Borg 2)		
	Under grenseverdi	Over grenseverdi	Totalt	Under grenseverdi	Over grenseverdi	Totalt
[0,10]	88	26	114	9	3	12
(10,30]	46	45	91	4	4	8
(30,50]	58	36	94	4	5	9
(50,100]	76	34	110	2	7	9
(100,200]	98	19	117	15	5	20
(200,300]	30	3	33	9	0	9
(300,400]	6	0	6	2	0	2
(400,500]	4	1	5	3	0	3
(500,600]	9	4	13	4	0	4
(600,700]	5	6	11	6	0	6
(700,800]	4	3	7	1	0	1
(800,900]	5	1	6	2	0	2
(900,1000]	3	1	4	1	1	2
(1000,1100]	2	0	2	1	1	2
(1100,1200]	2	0	2	1	0	1
(1200,1300]	1	1	2	2	0	2
(1300,1400]	2	1	3	0	0	0
(1400,1500]	0	0	0	3	0	3
Sum	439	181	620	69	26	95

summen av 7 av PCB'ene som er regnet med blant de 26 stoffene, siden det finnes grenseverdier kun for denne summen og ikke for enkeltkomponentene.

Vi brukte vi konsentrasjonsgrensen mellom tilstandsklassene 3 (tilstand moderat) og 4 (tilstand dårlig) som grenseverdi (Miljødirektoratet 2016). Ved en feil ble det for kobber (Cu) brukt konsentrasjonsgrensen mellom tilstandsklassene 4 og 5 (grunnen til dette var at denne grenseverdien ble brukt i tidligere beregninger, jfr. Rambøll 2015 kap. 2.4.2, basert på

Tabell 2. Stoffe over grenseverdi, sortert etter antall prøver over grenseverdi for stoffet. De siste tre kolonnene viser hvor mange stoffer som var over grenseverdi i de prøvene der det gjeldende stoffet var over grenseverdien. F.eks. var det 84 prøver der grenseverdien for tributyltinnkation (TBT) var overskredet, og i 43 av disse prøvene var TBT eneste stoff som var over grenseverdi.

Røsvikrenna (Borg 1)

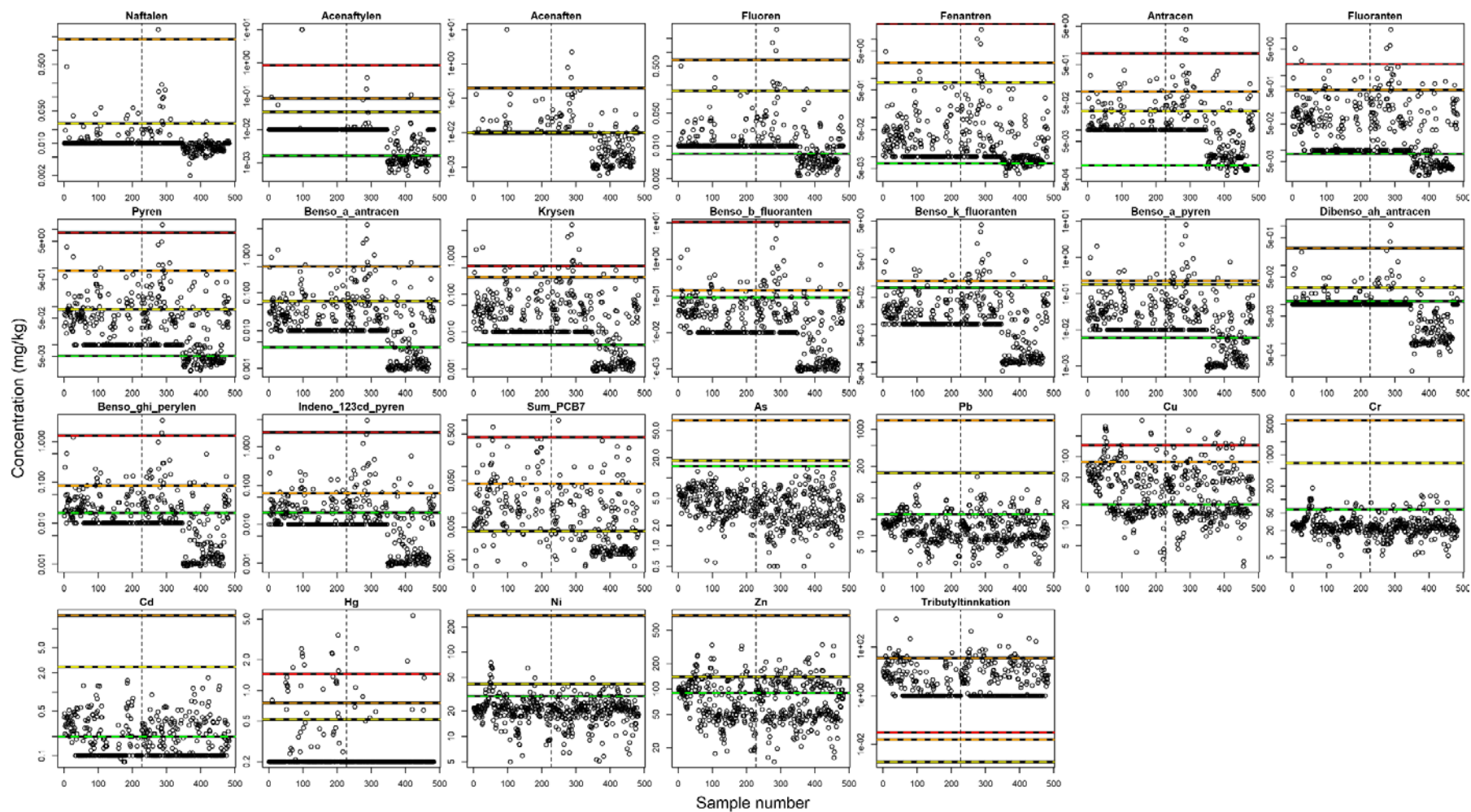
Stoff	Prøver over grense		Antall stoffer over grense		
	Antall	Prosent	1	2-3	4+
Tributyltinnkation	84	13,8	43	23	18
Indeno[123cd]pyren	66	10,8	1	11	54
Sum PCB7	61	10	17	31	13
Fluoranten	54	8,9	0	6	48
Benso[b]fluoranten	54	8,9	1	3	50
Benso[ghi]perylene	48	7,9	0	5	43
Benso[k]fluoranten	46	7,6	0	1	45
Antracen	42	6,9	0	7	35
Hg	36	5,9	5	20	11
Benso[a]pyren	34	5,6	0	0	34
Krysen	31	5,1	0	1	30
Cu	28	4,6	4	18	6
Pyren	18	3	0	0	18
Benso[a]antracen	14	2,3	0	0	14
Fenantren	5	0,8	0	0	5
Acenaftylene	4	0,7	0	0	4
Acenaften	4	0,7	0	0	4
Dibenso[ah]antracen	4	0,7	0	0	4
Fluoren	3	0,5	0	0	3
Naftalen	1	0,2	0	0	1

Flyndregrunnen (Borg 2)

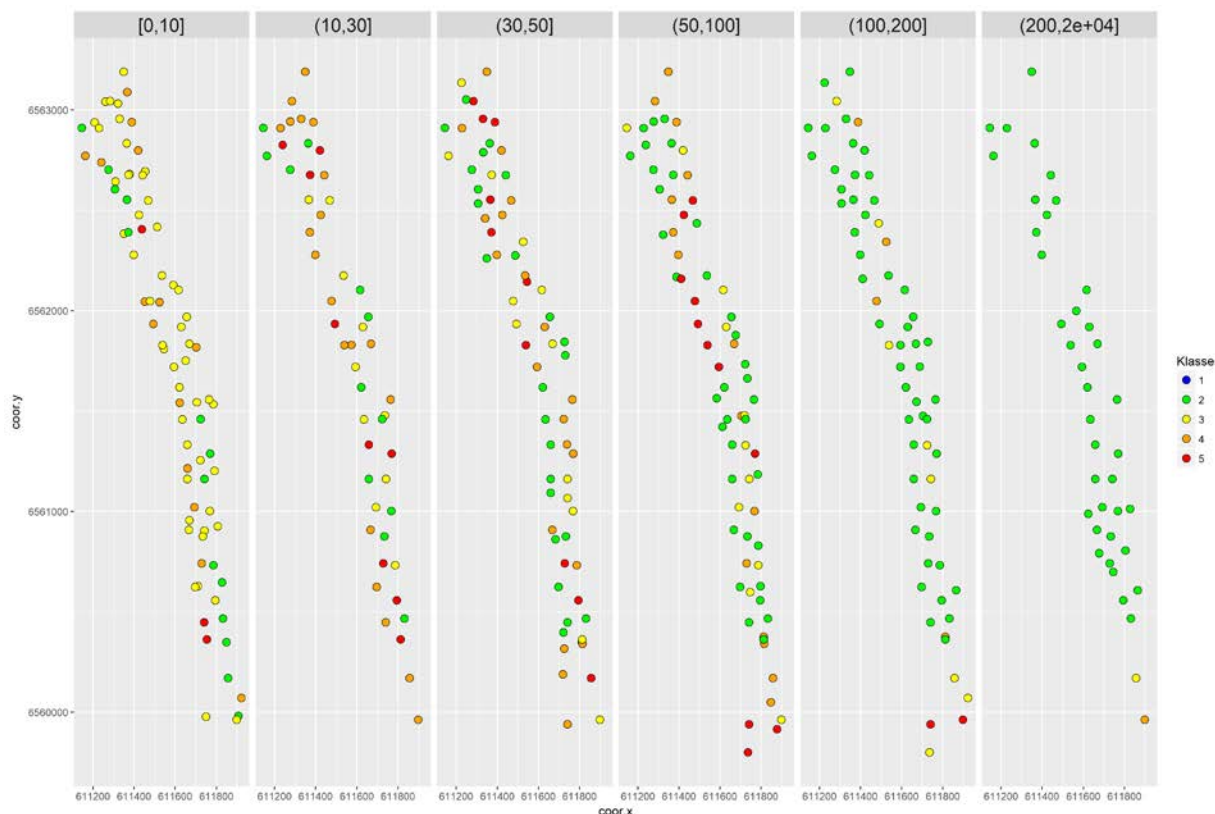
Stoff	Prøver over grense		Antall stoffer over grense		
	Antall	Prosent	1	2-3	4+
Indeno[123cd]pyren	19	20	7	9	3
Hg	10	10,5	2	6	2
Benso[b]fluoranten	8	8,4	0	7	1
Sum PCB7	6	6,3	1	4	1
Benso[ghi]perylene	4	4,2	0	2	2
Benso[k]fluoranten	3	3,2	1	1	1
Cu	2	2,1	0	1	1
Benso[a]pyren	1	1,1	0	0	1

Klassifiseringsveilederen fra 2013). Den nye veilederen fra Miljødirektoratet (M-608/2016) har en høyere grenseverdi for Cu i tilstandsklasse 3 enn veilederen fra 2013 (TA-2229/2013). Denne feilen berører 9 prøver (1.5% av det totale antall prøver) som er blitt feilaktig klassifisert. Dette ble dessverre oppdaget i en sen fase av prosessen, dvs. etter at Van T' Hoff, Deltares og SINTEF hadde gjort sine beregninger på bakgrunn av volumene beregnet i denne rapporten. Det kan antas at beregningene av volum forurenset materiale vil påvirkes i omtrent samme grad som antall prøver, dvs. at volum forurenset materiale ville økt i størrelsesorden 1.5% dersom denne feilen hadde vært unngått.

Stoffene som overskred grenseverdier er vist i **Tabell 2**. Denne tabellen viser også hvor ofte et stoff var det eneste som var over grenseverdi. I mange prøver var det kun tributylkation (TBT) eller PCB (Sum_PCB7) som var over grenseverdien. PAH'ene (Polysykliske aromatiske hydrokarboner) indeno[1,2,3-CD]pyren, fluoranten, benso[b]fluoranten, benso[ghi]perylene, benso[b]fluoranten og antracen forekom også i mange prøver, men det var sjelden at kun én av disse var over grenseverdi. Høye verdier av kvikksølv og kobber var også som regel i følge med høye verdier av andre stoffer. En grafisk fremstilling av datasettet på 26 stoffer/stoffkombinasjoner er vist i Fig. 1, som viser konsentrasjoner på y-aksen (log-skala) mot den kronologiske rekkefølgen på de kjemiske analysene på x-aksen. En kan se at bytte av kjemisk laboratorium etter at ca. 2/3 av analysene var gjort ga lavere deteksjonsgrense for en del stoffer (PAH'ene). Deteksjonsgrensen var imidlertid i alle tilfeller så lav at dette byttet ikke hadde noen effekt på om konsentrasjonene var over eller under grenseverdiene.



Figur 2. Konsentrasjoner av de 26 stoffene eller stoffkombinasjonene (eks. Sum_PCB7) som er brukt i den statistiske analyse. Vær oppmerksom på at y-aksen har en log-skala. X-aksen viser den kronologiske rekkefølgen på analysene. De stiplede vannrette linjene viser øvre grense for kategori 1 (grønn), 2 (gul), 3 (oransje) og 4 (rød). I en del tilfeller overlapper linjene. For denne studien er det den oransje linjen (grense mellom kategori 3 og 4) som har vært utgangspunktet for beregningen av relativ forurensingsgrad $C_{relativ}$. For tributyltinnkation er det vist to oransje linjer, hvorav den øverste er den forvaltningsmessige grensen på 50 ppb.

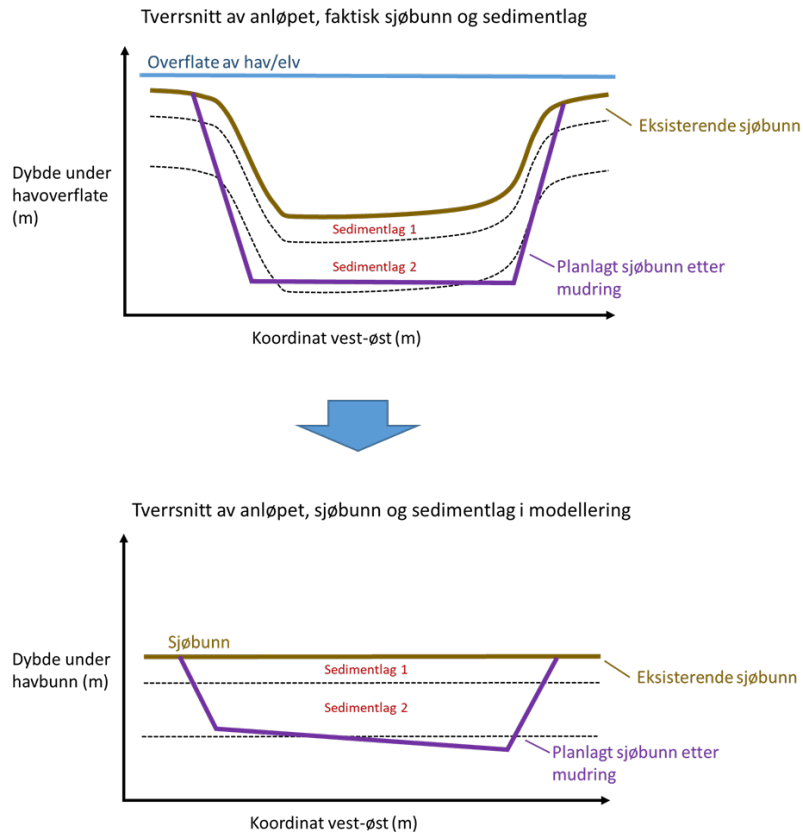


Figur 3. Høyeste forurensningsklasse for hver prøve, fordelt på dybdelag. Dybdelagene under 2 m sedimentdyp er slått sammen.

3.2 Antagelser om den romlige variasjonen

Vi har antatt at forurensing er mer avhengig av sedimentdybde enn av vanddybde. F.eks. vil vi anta at sedimenter avsatt i en viss tidsperiode – f.eks. 1970-tallet – har omtrent samme forurensingsgrad. Disse sedimentene vil selvsagt ikke ligge på eksakt samme sedimentdyp, men det er i alle fall grunn til å tro at sedimentdybde for disse sedimentene varierer mindre enn deres vanddybde, siden sedimenter kontinuerlig blir avsatt både i bunnen av elveløpet og opp langs sidene. Vi har derfor antatt at sedimentdyp er en viktig variabel som påvirker hvorvidt et sediment er forurenset. I de fleste byområder i Norge gjennomgikk Fredrikstad-Porsgrunn-regionen en sterk ekspansjon i industri med kjemiske utslipp på 1950- og 1960-tallet, før renseteknologi og nedleggelser førte til sterk reduksjon av utslippene på 1980-1990-tallet. Vi har derfor antatt at det først og fremst har vært mest forurensing, og mest variasjon i forurensing, i de siste tiårene (**Figur 4**). Det er derfor viktigere å ha en mer detaljert oppdeling i dybde i den øverste meteren av sedimentet enn under dette. Ut fra fordelingen av prøver og grafer over miljøgiftkonsentrasjoner i forhold til dybde delte vi opp prøvene, og den påfølgende modelleringen, i sedimentdybdene 0-10, 10-30, 30-50, 50-100 og 100-200 cm for sediment lagene over 2 m sedimentdybde. For lagene under 2 m har vi brukt 1 m dybdeintervaller. Resultatene bekrefter at dette er en god inndeling som fanger opp de viktigste forskjellene i forurensingsgrad som skyldes sedimentdybde (se kap. 4). Vi har valgt å modellere variasjon i forurensing ved å analysere forurensing i hvert sedimentlag for seg. Et alternativ ville være å lage en romlig modell i fire dimensjoner, dvs. en analyse av forurensingsnivå (en dimensjon) som følge av posisjon i x-, y- og z-retning (horisontal og vertikal posisjon). Vi ville da kun trenge en eneste modell for hele området, og den ville også kunne ta hensyn til samvariasjon mellom prøver fra samme kjerne men i ulike dyp. På den annen side er det usikkert om en så komplisert modell

(matematisk sett) vil være i stand til å fange opp brå overganger fra forurenset til ikke-forurenset sediment i dybderetningen. Vi valgte derfor å lage en statistisk modell for hvert dybdelag, der forurensing er avhengig av posisjonen kun i x- og y-retning. Plott av fordeling av forurensing i hvert dybdelag støttet denne framgangsmåten (**Figur 5**).



Figur 4. Skjematisk fremstilling av skipsanløpet og sedimentlagene, kartlagt i forhold til vannoverflaten (øverst) og i forhold til sjøbunnen (nederst). I modelleringen brukte vi den nederste måten å kartlegge på, og laget statistiske modeller for hvert sedimentlag separat.

3.3 Matematisk beskrivelse av forurensing i hver kjerneprøve

Videre kan en bruke forskjellige valg av responsvariable for å beskrive forurensing. Det mest kompliserte er å modellere hvert av de 26 stoffene hver for seg. En vil da få 26 modeller for hvert dybdelag, som senere må kombineres for å finne den samlede sannsynligheten for at et av de 26 stoffene overskrider grenseverdien på et gitt x-y-koordinat i terrenget. Den motsatte ytterlighet er å klassifisere hver prøve som enten ikke-forurenset (verdi 0) dersom samtlige stoffer er under grensen for forurensing, eller som forurenset (verdi 1) dersom minst ett stoff er over grenseverdien. I denne rapporten har vi valgt å bruke det stoffet som har høyest forurensing i forhold til grenseverdien, og måle hvor langt over eller under grenseverdien dette stoffet er. Dette gjøres ved å ta utgangspunkt i forholdstallet konsentrasjon/grenseverdi for hvert stoff. Verdier over 1 vil dermed bety at stoffet er over grenseverdien, mens verdier under 1 vil bety at vi er under grenseverdi. For prøver under grenseverdien vil dette forholdstallet variere mellom 0 og 1, mens for stoffer over grenseverdien vil forholdstallet være fra 1 til (i prinsippet) uendelig. For å gi en mer symmetrisk verdi for den videre statistiske analysen, har vi derfor brukt \log_{10} av forholdstallet, som vi videre kaller $C_{\text{relativ},k}$:

$$C_{\text{relativ},k} = \text{Log}_{10}(\text{konsentrasjon}_k/\text{grenseverdi}_k) \quad (\text{ligning 1})$$

for stoff/stoffkombinasjon k . For en prøve som er akkurat på grenseverdien for stoff k , så er altså

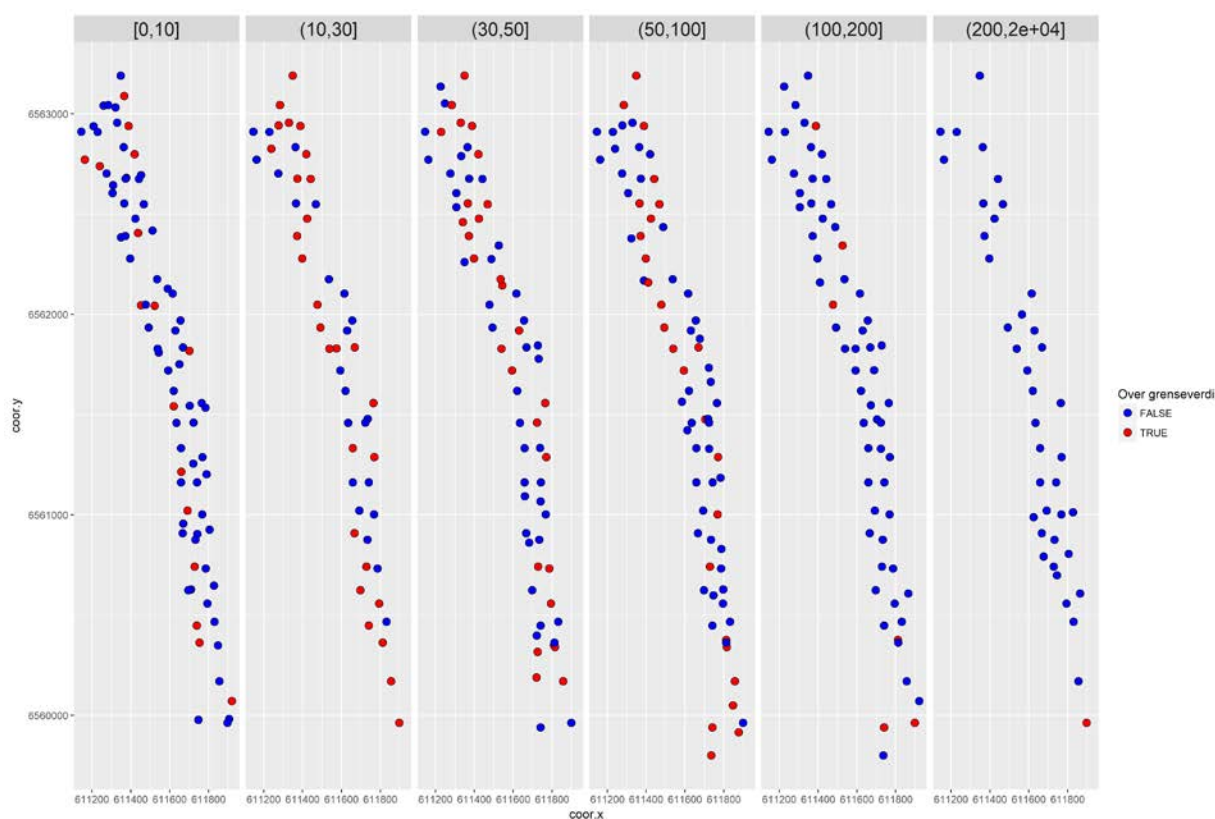
$$C_{\text{relativ},k} = 0 \quad (\text{likning 2})$$

Man kan også merke seg at siden skalaen er logaritmisk, er en endring i $C_{\text{relativ},k}$ på 1 en relativt stor endring: $C_{\text{relativ},k} = -1$ betyr at stoffet med høyest relativ forurensingsgrad er på 10% av grenseverdien, $C_{\text{relativ},k} = 1$ betyr at konsentrasjonen er 10x over grenseverdien.

Siden det er 26 stoffer/stoffkombinasjoner, så fikk vi 26 verdier av $C_{\text{relativ},k}$ for hver prøve. Fra disse valgte vi det høyeste måltallet som en beskrivelse på den prøvens relative forurensingsgrad. Dette kaller vi $C_{\text{max,relativ}}$:

$$C_{\text{max,relativ}} = \max(C_{\text{relativ},k}) \quad (\text{likning 3})$$

Vår grenseverdi for $C_{\text{max,relativ}}$ er altså null; alle prøver med $C_{\text{max,relativ}} < 0$ blir kategorisert som ikke-forurenset. At prøven har $C_{\text{max,relativ}} \geq 0$ betyr minst ett mens resten blir kategorisert som forurenset. Dette baserer seg altså på «one out, all out»-prinsippet – dvs. at stoffet med høyest forurensing skal være bestemmende – samtidig som man får det mer nyansert bilde av forurensingsgraden, dvs. hvor langt opp eller ned det er til grenseverdien. I de statistiske beregningene ser vi dermed på sannsynligheten for at $C_{\text{max,relativ}} \geq 0$ for et gitt sediment mellom prøvepunktene. Plott av fordelingen til $C_{\text{max,relativ}}$ viste at det var enkelte svært høye verdier som ville ha en uforholdsmessig stor påvirkning på det statistiske resultatet; disse ble trunkert til 1 (dvs verdier av $C_{\text{max,relativ}}$ over 1 ble satt til 1).



Figur 5. Prøver kategorisert i forhold til om $C_{\text{max,relativ}}$ er mindre eller større enn 0, dvs. om stoffet med høyest relativ forurensingsgrad er over eller under grenseverdien. Dybdelagene under 2 m sedimentdyp er slått sammen.

3.4 Romlig modell av relativ forurensingsgrad ($C_{\text{max relativ}}$)

For å definere den romlige modellen for C_{relativ} i hvert dybdelag brukte vi to varianter av GAM (Generalized additive models; Hastie and Tibshirani 1990). GAM er en videreutvikling av multiplert lineær regresjon, der hvert ledd er en konstant ganger en variabel:

$$Z = a + bx + cy + \varepsilon \quad (\text{likning 4})$$

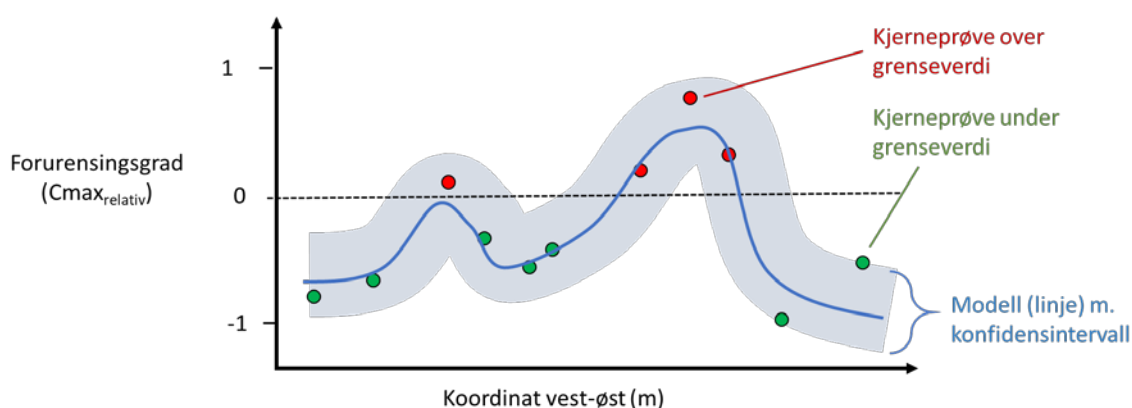
I dette tilfellet forsøker vi å forklare variabelen Z ved hjelp av forklaringsvariablene x og y . Her har ligningen et ledd for hver av forklaringsvariablene x og y , nemlig leddene bx (konstanten b ganger variabelen x) og cy . I GAM er disse leddene byttet ut med funksjonene $f(x)$ og $g(y)$:

$$Z = a + f(x) + g(y) + \varepsilon \quad (\text{likning 5})$$

Funksjonene f og g kan være lineære funksjoner (eks. « bx » som i multiplert lineær regresjon) eller ikke-lineære funksjoner. Slik GAM i sin vanligste utgave blir brukt i dag (biblioteket mgcv i R; Wood 2004), så velger prosedyren selv hvorvidt $f(x)$ skal være en lineær eller ikke-lineær funksjon, og hvis ikke-lineær velges, hvor komplisert (hvor «buklete») funksjonen $f(x)$ skal være. I vårt tilfelle er variabelen Y lik $C_{\text{max relativ}}$, mens x og y er koordinater for prøvens posisjon:

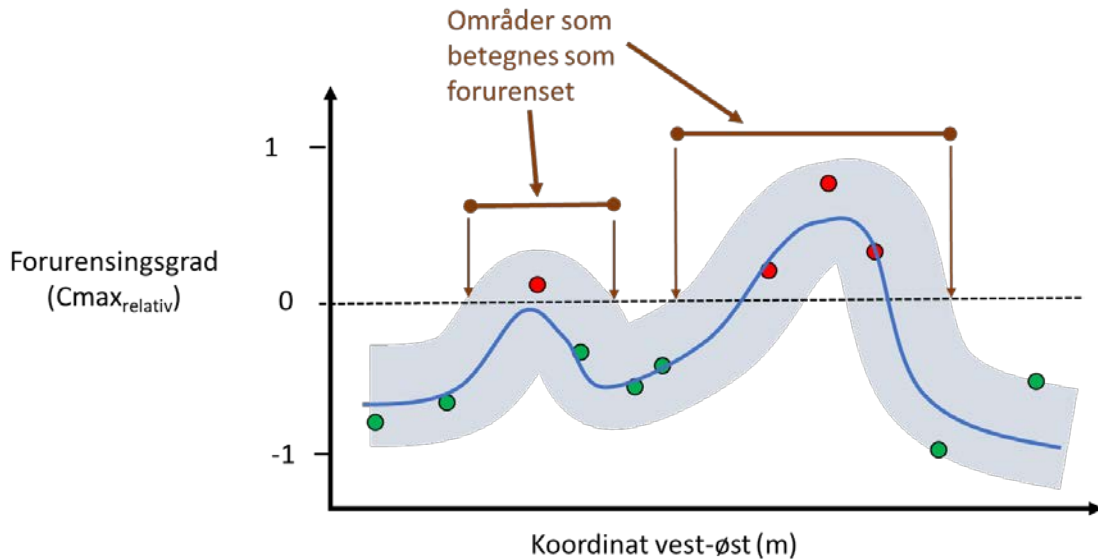
$$C_{\text{max relativ}} = a + f(x\text{-koordinat}) + g(y\text{-koordinat}) + \varepsilon \quad (\text{likning 6})$$

Dybde er ikke med, siden vi allerede ser kun på prøvene i et gitt dybdeintervall. Denne modellen kan tegnes som en 3-dimensjonal flate, der «høyden» svarer til modellens predikerte verdi av $C_{\text{max relativ}}$ og framkommer som et lokalt gjennomsnitt av de observerte verdiene av $C_{\text{max relativ}}$. Dette er skissert for én dimensjon i **Figur 6**. For hver x, y -verdi får vi også en estimert usikkerhet, som kan brukes til å tegne et konfidensintervall for $C_{\text{max relativ}}$ avhengig av hvilken konfidens vi velger: velger vi en konfidens på 95% vil konfidensintervallet bli bredere enn om vi velger en konfidens på 80%. Ved kartlegging av forurenset sediment valgte vi først en gitt grad av konfidens. Dette ble så brukt til å konstruere et konfidensintervall. I praksis er det den øvre grensen av konfidensintervallet som interesserer oss, siden vi vil med en viss konfidens forsikre oss om at $C_{\text{max relativ}}$ er ≤ 0 , dvs. at ingen stoffer har er forurenset over grenseverdien (se definisjon av C_{relativ}). Vi betegner derfor alle områder der den øvre grensen av konfidensintervallet overstiger $C_{\text{max relativ}} = 0$ for «forurenset», mens de resterende områdene blir betegnet som ikke-forurenset (**Figur 7**).

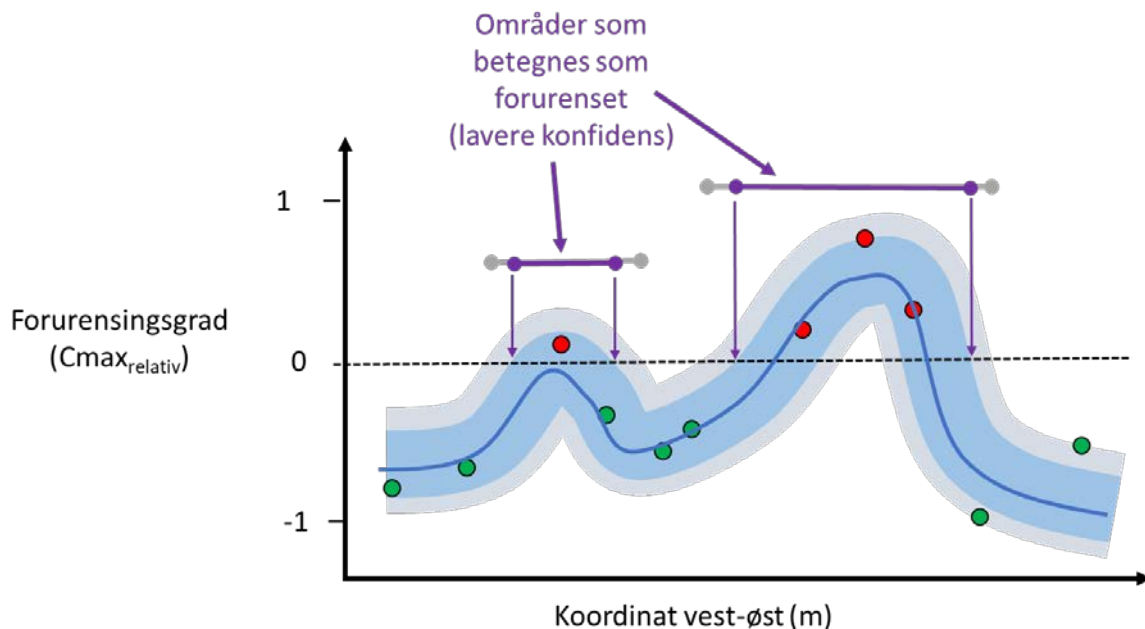


Figur 6. Prinsippskisse av romlig modell, der vi ser på bare en dimensjon (f.eks. vest-øst-retningen) av den romlige komponenten (dvs. et «tverrsnitt» av den 3-dimensjonale flaten som utgjør den romlige modellen). Data er vist som punkter, den blå linjen angir modellens punkttestimat, mens konfidensintervallet er angitt av det grå feltet.

Bredden på konfidensintervallet for $C_{\max_{\text{relativ}}}$ er som nevnt avhengig av hvilken konfidens vi velger: tar vi utgangspunkt i en lavere grad av konfidens, så får vi også et smalere konfidensintervall, og områdene vi klassifiserer som forurenset vil derfor bli noe mindre. Dette er vist i **Figur 8**.



Figur 7. Prinsippkisse for hvilke områder som kategoriseres som forurenset basert på den romlige modellen, gitt en viss grad av konfidens. Vi bruker den øvre grensen av konfidensintervallet som utgangspunkt klassifisering av sediment som ikke-forurenset eller forurenset; alle områder der den øvre grensen av konfidensintervallet er over $C_{\max_{\text{relativ}}} = 0$, betegnes som forurenset (brune horisontale linjestykker). Om vi hadde tegnet dette i 3 dimensjoner, ville de brune linjestykkene blitt til arealer.



Figur 8. Som **Figur 7**, men viser hvilke områder som kategoriseres som forurenset om man ønsker en lavere grad av konfidens enn vi brukte i **Figur 7**. En lavere grad av konfidens vil medføre at vi gjør konfidensintervallet litt smalere (lys blå farge) enn vi hadde i **Figur 7** (grå farge). Områdene der øvre grense for konfidensintervallet overstiger 0 vil derfor bli noe mindre (lilla horisontale linjer) enn de var med det opprinnelige konfidensintervallet (grå horisontale linjer).

3.5 Valg av type GAM-modell

Som nevnt over brukte vi to varianter av GAM; dette referere seg til typen funksjoner som blir brukt for funksjonene f og g. Vi brukte de to typene *splines* og *tensorprodukt*, og valgte for hvert dybdelag hvilke av disse som hadde best tilpasning til data ved å se på *AIC-verdien* til hver modell. AIC-verdien er laget for å finne et godt kompromiss mellom modellens kompleksitet og modellens evne til å tilpasse seg data (Akaike 1974, Hastie et al. 2009). Når man gjør en modell mer og mer kompleks, får man bedre og bedre tilpasning til data, men det er også en stadig økende fare for at modellen er overtilpasset, dvs. at den er godt tilpasset til akkurat de dataene man har men at den ikke vil fungere godt om man skulle hente inn data fra samme sted en gang til. AIC-verdien er lavest for modeller med optimal kompleksitet. Noen dybdelag hadde for lite data til å gjøre en god modelltilpasning, og i disse tilfellene slo vi to dybder sammen for å få nok data. Dette gjaldt dybdelag 3-4 og 4-5 m (slått sammen til 3-5 m) og 7-8 og 8-9 m (slått sammen til 7-9 m).

3.6 Beregning av volum forurenset og ikke-forurenset materiale

Som vist i **Figur 7**, gir GAM-modellen for et gitt dybdelag både punkttestimat og usikkerhet for $C_{max,relativ}$ for alle x- og y-koordinater i området. Vi beregnet volumer for flere nivåer av konfidens (jfr. **Figur 8**), hvorav vi brukte to nivåer av konfidens, 80 % og 95 %: Disse volumene, kalt teoretiske volumer, ble omregnet til praktiske volumer (de estimerte volumer som faktisk vil bli mudret), og ble brukt som utgangspunkt for videre modellering av sedimentspredning (Daae et al. 2018). Videre tok vi utgangspunkt i at vi kun er interessert i øvre grense av konfidensintervallet, så vi brukte det ensidige konfidensintervallet for $C_{max,relativ}$ for klassifisering i ikke-forurenset og forurenset. Denne klassifiseringen ble gjort for et 3-dimensjonalt grid med en oppløsning på 5 m i nord-sør-retning, 1 m i øst-vest retning (pga. av de sterkere dybdegradientene i øst-vest-retning), og 0.1 m i dybderetningen. Volumberegningen tok selvsagt også hensyn til hvilke områder som kom under grensen for planlagt mudringsdyp på hvert punkt. I den ferdige volumberegningen viste det seg at det totale mudringsvolumet for Borg 1 ved denne beregningen var 4.689 % mindre enn det beregnede mudringsvolumet i Rambølls CAD-modell. En grunn til dette er at CAD-modellen beregner volum mellom flater i en triangulert høydemodell, mens for denne rapporten var vi nødt til å gjøre

Tabell 3. Rømlige GAM-modeller tilpasset til ulike dybdelag. Den valgte modellen for hvert dybdelag (tensor eller spline) er vist i uthevet skrift. k = antall parametre i modellen, DE = deviance explained (andel av variansen som er forklart av modellen), og AIC = Akaikes Informasjonskriterium (lave verdier er mer optimal modell).

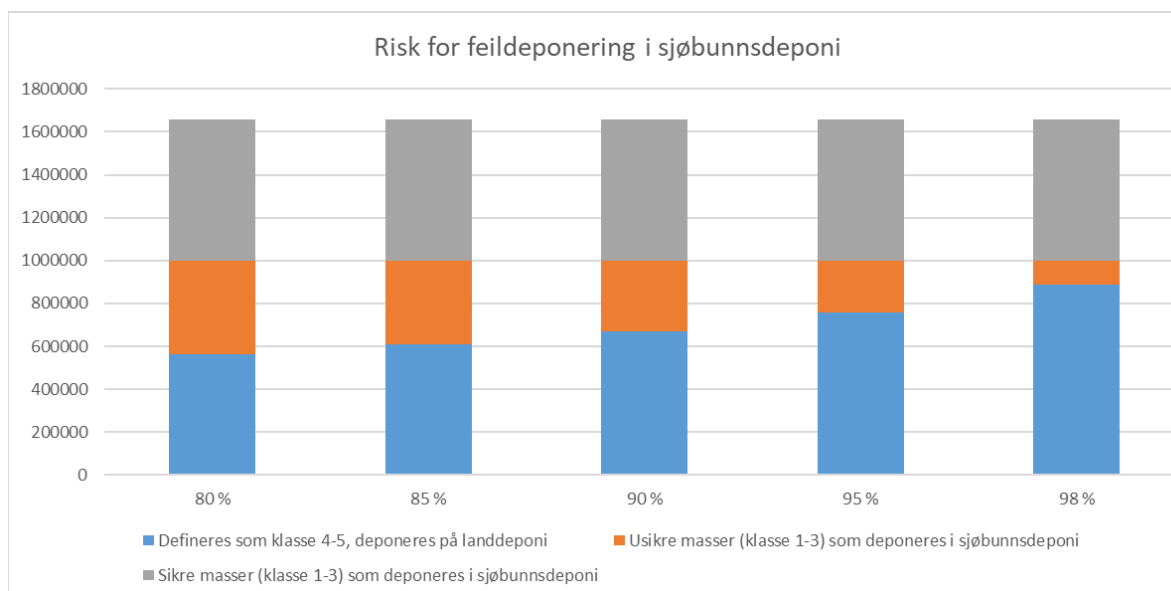
Dybde (m)		N	Areal	Tensor			Spline		
Fra	Til			k	DE	AIC	k	DE	AIC
0	0,1	114	740315	10	0,46	95,72	30	0,31	104,63
0,1	0,3	91	728250	9	0,37	111,97	30	0,28	117,44
0,3	0,5	94	700975	9	0,26	127,06	30	0,49	115,35
0,5	1	110	669260	10	0,45	124,28	30	0,46	123,68
1	2	117	466535	10	0,52	87,78	30	0,46	95,91
2	3	33	252040	5	0,72	3,94	30	0,48	7,96
3	5	11	194425	3	1,00	-37,76	8	0,99	-21,85
5	6	13	132125	3	0,67	12,08	12	0,55	12,98
6	7	11	110960	3	0,81	8,59	7	0,91	1,99
7	9	19	84245	4	0,83	11,04	8	0,84	9,28

dette om til et 3D-grid med en gitt oppløsning, der hver «kube» innen dette grid'et regnes som enten helt innenfor eller helt utenfor det planlagte mudringsvolumet. Dette gir nødvendigvis et avvik fra CAD-modellen. I tillegg kan det komme enkelte mindre feil i konvertering mellom formatene. For å kompensere for dette, ble de beregnede volumene fra den statistiske analysen oppjustert med 4.689%, slik at det endelige totalvolumet ble identisk med mudringsvolumet beregnet fra Rambølls CAD-modell.

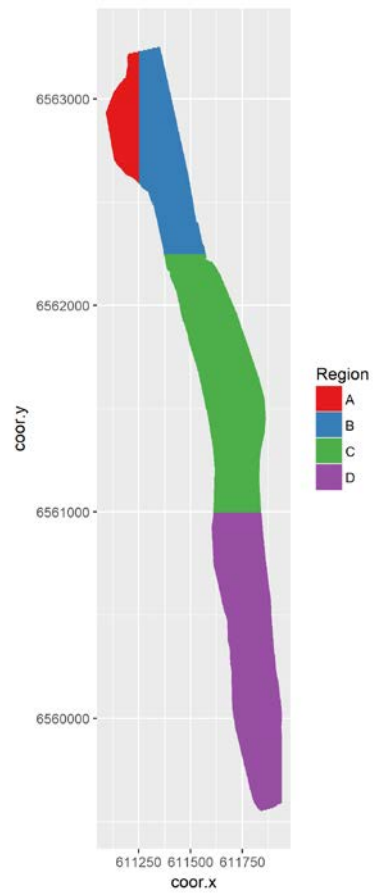
4 Resultater

Sentrale parametre fra den statistiske modelltilpasningen er vist i **Tabell 3**. Andel av varians som ble forklart av modellen (deviance explained; «DE» i tabellen) varierte fra 37% (for sedimentdyp 0.1 – 0.3 m) til 72% for sedimentdyp 2-3 m (modellen hadde essensielt perfekt tilpasning til data fra sedimentdyp 3-5 m). De valgte modellene (fete typer i Tab. 1) er vist grafisk i Appendix 1. Ut fra de valgte modellene ble volum beregnet for ulike grader av konfidens (**Figur 9**). I **Tabell 4** angis volumberegningene basert på konfidens 80% og 95%, og etter kompensasjon for volumforskjellen mellom en grid-modell og CAD-modell (se over). Det teoretiske volumet ved bruk av 95% konfidens er 32% større enn volumet for 80% konfidens. Som omtalt i kap. 3.1, kan det forventes at volumene av forurenset materiale er noe for lave (størrelsesorden 1.5%) pga. at feil grenseverdi for kobber ble benyttet.

I praksis vil det være svært vanskelig å mudre etter de avrundede områdene som er resultatet av den statistiske modellen, så de teoretiske volumene ble gjort om til praktiske volum ved beregninger gjort av Van't Hoff Consulting (**Tabell 5**). For disse beregningene ble volumberegningene gjort om fra å bruke sjøbunnen som referanse til å bruke havoverflaten som referanse (dvs. som øverste figurpanel i **Figur 4**). Volumene i ulike dybdelag med havoverflaten som referanse er vist i Appendix 2 (80% konfidens) og Appendix 3 (95% konfidens). De praktiske volumene ble brukt som inngangsparametre til modellering av turbiditet ved hjelp av SINTEFs partikkelbaserte DREAM-modell (Daae et al. 2018, se deres kap. 6).



Figur 9. En grafisk fremstilling av volum av masser som klassifiseres om forurenset eller ikke-forurenset i Borg 1 (Røsvikrenna), avhengig av valgt konfidensnivå. «Sikre masser for sjødeponi» er i denne grafen definert som masser som er klassifisert som ikke-forurenset med konfidens 99 %, mens «usikre masser» er masser som blir klassifisert som forurenset med konfidens 99 %, men blir klassifisert som ikke-forurenset med den angitte konfidensgraden.



Figur 10. Områdeinndeling av Røsvikrenna brukt ved beregning av teoretisk og praktisk volum (tab. 4 og 5).

Tabell 4. Teoretiske volumer, beregnet basert på statistisk modellering. Alle tall er i m³. For Røsvikrenna er volumene beregnet separat for 4 områder benevnt A-D, der område A tilsvarer snuplassen i Fuglevikbukta.

80% konfidens	Borg 1 (Røsvikrenna)								Flyndregrunnen	
	Klasse 4-5				Klasse 1-3				Klasse 4-5	Klasse 1-3
Dybde	A	B	C	D	A	B	C	D		
0 - 1.05	1194	0	2303	1231	647	0	3217	1890		
1.05 - 4,5 m	398	0	6105	22586	66638	0	20273	13494		
4,5 - 7 m	610	23	29199	69925	56395	15	86769	96775		
Under 7 m	3373	103229	145784	187116	138537	77508	678310	364403		
SUM	5575	103252	183392	280858	262217	77522	788569	476561		
				Sum klasse 4-5			Sum klasse 1-3	Sum	Sum klasse 4-5	Sum klasse 1-3
				573076			1604868	2177945	39057	130926
95% konfidens	Borg 1 (Røsvikrenna)								Flyndregrunnen	
	Klasse 4-5				Klasse 1-3				Klasse 4-5	Klasse 1-3
Dybde	A	B	C	D	A	B	C	D		
0 - 1.05	1845	0	5408	1400	26	0	251	1728		
1.05 - 4,5 m	3831	0	10238	27352	63359	0	16326	8941		
4,5 - 7 m	1860	38	56376	84427	55201	1	60810	82923		
Under 7 m	10614	124280	202204	227157	131296	56456	621890	324362		
SUM	18150	124318	274226	340336	249881	56457	699277	417953		
				Sum klasse 4-5			Sum klasse 1-3	Sum	Sum klasse 4-5	Sum klasse 1-3
				757029			1423567	2180596	42066	127917

Tabell 5. Beregning av praktisk volum basert på teoretisk volum (fra **Tabell 4**, markert i lyst gult) med tillegg for horisontal utvidelse av praktiske årsaker (mudringsfaktor) og overmudring vertikalt (overmudring). Beregningene i tabellen, med unntak av det teoretiske volumet, er utført av Van 't Hoff Consultancy. Summene av det praktiske volumet (markert i grønt) er brukt som inngangsparametre for Daae et al. (2018; se deres kap. 6).

80% konfidens	Borg 1				Borg 2				Totalt
	Teoretisk volum	Mudrings-faktor	Over-mudring	Praktisk volum	Teoretisk volum	Mudrings-faktor	Over-mudring	Praktisk volum	Praktisk volum
Forurenset									
Omr. A, forurenset topplag (langtrekkende bakgraver)	1194	0	4981	6175	0	0	0	0	6175
Omr. A rest + omr. B (bakgraver)	107633								
Omr. C + Borg 2 (bakgraver)	183392								
Omr. D + Flyndregrunnen (bakgraver)	280858								
Bakgraver, Røsvikrenna og Flyndregrunnen	571883	57188	63411	692482	39057	3906	814	43777	736258
SUM	573076	57188	68392	698657	39057	3906	814	43777	742434
Ikke-forurenset									
Under 4,5 m vanddyp i Borg 1, under 7 m vanddyp i Borg 2 (wiregrabb)	106157	10616	0	116773	120663	12066	0	132729	249502
Borg1, mellom 4,5 m og 7,1 m vanddyp (liten sugemudrer)	239953	23995	0	263948	0	0	0	0	263948
Rest (stor sugemudrer)	1258758	0	387349	1646107	347406	0	38330	385736	2031843
SUM	1604868	34611	387349	2026828	468069	12066	38330	518465	2545294
Totalt forurenset og ikke-forurenset volum	2177945			2725485	507126			562242	3287728
95% konfidens									
	Borg 1				Borg 2				Totalt
	Teoretisk volum	Mudrings-faktor	Over-mudring	Praktisk volum	Teoretisk volum	Mudrings-faktor	Over-mudring	Praktisk volum	Praktisk volum
Forurenset									
Omr. A, forurenset topplag (langtrekkende bakgraver)	1845	0	4331	6175	0	0	0	0	6175
Omr. A rest + omr. B (bakgraver)	140623								
Omr. C + Borg 2 (bakgraver)	274226								
Omr. D + Flyndregrunnen (bakgraver)	340336								
Bakgraver, Røsvikrenna og Flyndregrunnen	755185	75518	79721	910424	42066	4207	856	47129	957553
SUM	757029	75518	84052	916599	42066	4207	856	47129	963729
Ikke-forurenset									
Under 4,5 m vanddyp i Borg 1, under 7 m vanddyp i Borg 2 (wiregrabb)	90629	9062,9	0	99691,9	120663	12066	0	132729	232421
Borg1, mellom 4,5 m og 7,1 m vanddyp (liten sugemudrer)	198933	19893	0	218826	0	0	0	0	218826
Rest (stor sugemudrer)	1134005	0	387349	1521354	344054	0	38330	382384	1903738
SUM	1423567	28956	387349	1839872	464717	12066	38330	515113	2354986
Totalt forurenset og ikke-forurenset volum	2180596			2756472	506783			562242	3318714

5 Konklusjon

Vi fant at for mange av dybdelagene kunne modellen gi ganske klare avgrensinger mellom områder med forurenset sediment og områder med relativt rent sediment. Det var vanskeligst å avgrense sediment i sedimentdyp 10 til 30 cm. Uavhengige beregninger gjort av Rambøll kom fram til totalt volum av forurenset sediment i omtrent samme størrelsesorden.

På grunn av at den praktiske utførelsen av mudringen vil den delen av sedimentet som i praksis behandles som forurenset, være en del større enn den teoretiske delen. Om man velger f.eks. et teoretisk konfidensnivå på 80 %, vil konfidensnivået i praksis være en del høyere. Våre beregninger viser f.eks. at om en legger seg på 80 % teoretisk konfidensnivå (teoretisk volum 573 000 m³ forurenset sediment i Borg 1) så vil det praktiske volumet bli ca. 699 000 m³, som er nærmere det teoretiske volumet der vi oppnår 95 % konfidens (757 000 m³).

6 Referanser

Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control 19: 716–723.

Daae, R. L., Van 't Hoff, J. og Pennekamp, J. 2018. Fairway to Borg harbour – modelling of dredging and discharging operations. SINTEF report (in press).

Hastie, T. J.; Tibshirani, R. J. (1990). Generalized Additive Models. Chapman & Hall/CRC

Hastie, T.J., Tibshirani, R. and J. Friedman 2009. The Elements of Statistical Learning: Prediction, Inference and Data Mining, Second Edition, Springer Verlag.

Hjermann, D. Ø. 2016a. Geostatistiske analyser av miljøgifter i mudringsområde Borg 1. NIVA-Rapport 7057, Norsk institutt for vannforskning.

Hjermann, D.Ø. 2016b. Analyse av sannsynlighet for feilplassering av sediment ved nåværende og økt antall sedimentprøver. NIVA-notat (ikke publisert).

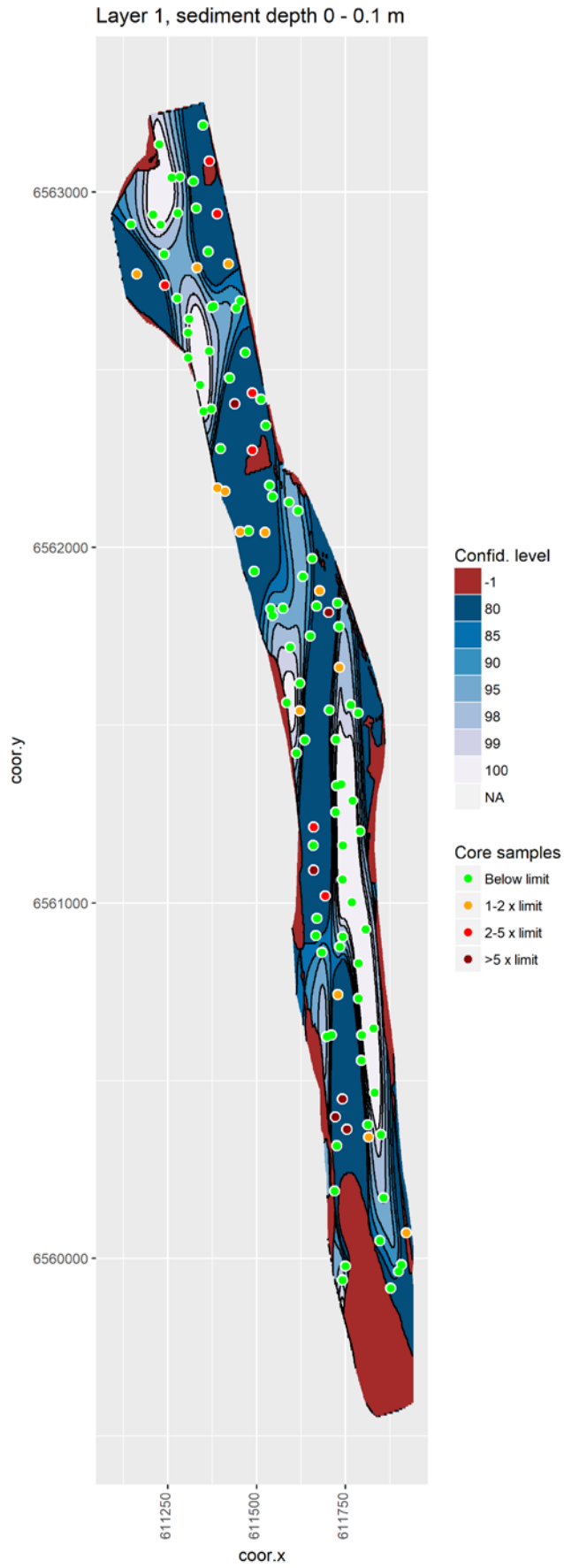
Hjermann, D.Ø. 2016c. Analyse gjort i tillegg til "Geostatistiske analyser av miljøgifter i mudringsområde Borg 1": Ekstra prøver. NIVA-notat (ikke publisert).

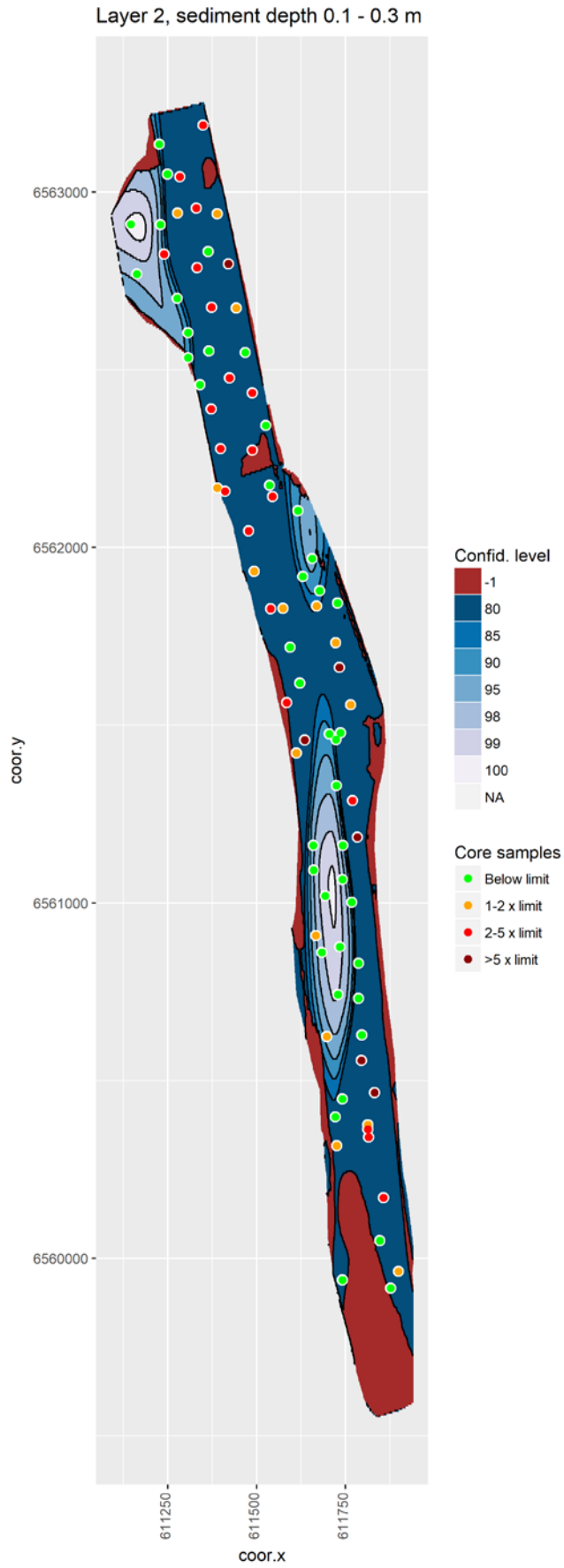
Miljødirektoratet 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota - Quality standards for water, sediment and biota. Miljødirektoratet Veileder M-608, 2016 (<http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2016/September-2016/Grenseverdier-for-klassifisering-av-vann-sediment-og-biota/>)

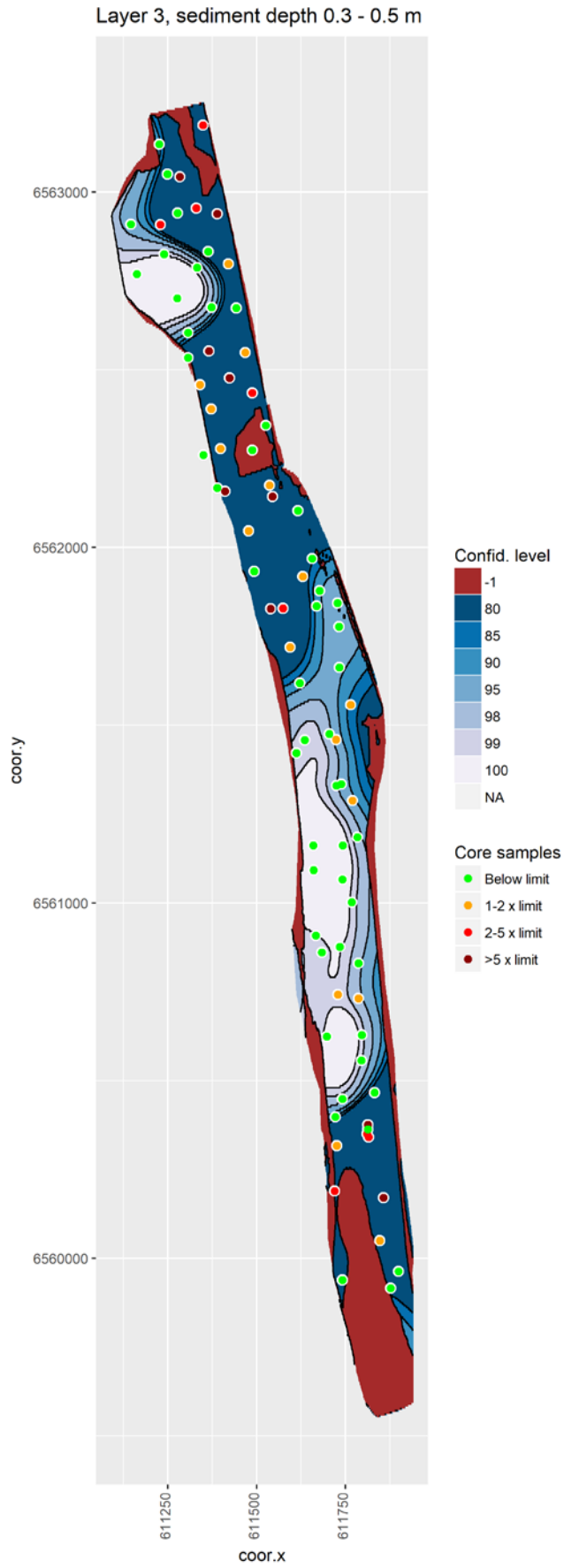
Rambøll 2015. Borg 1. Sedimentkartlegging av forurensningsmektighet. Vedlegg 3 til søknad om tillatelse til mudring og deponering, Innseilingen til Borg havn, Kystverket (<http://www.miljodirektoratet.no/no/Horinger/Landbasert-industri/Kystverket-soker-om-a-utdype-innseilingen-til-Borg-havn-20132348/>).

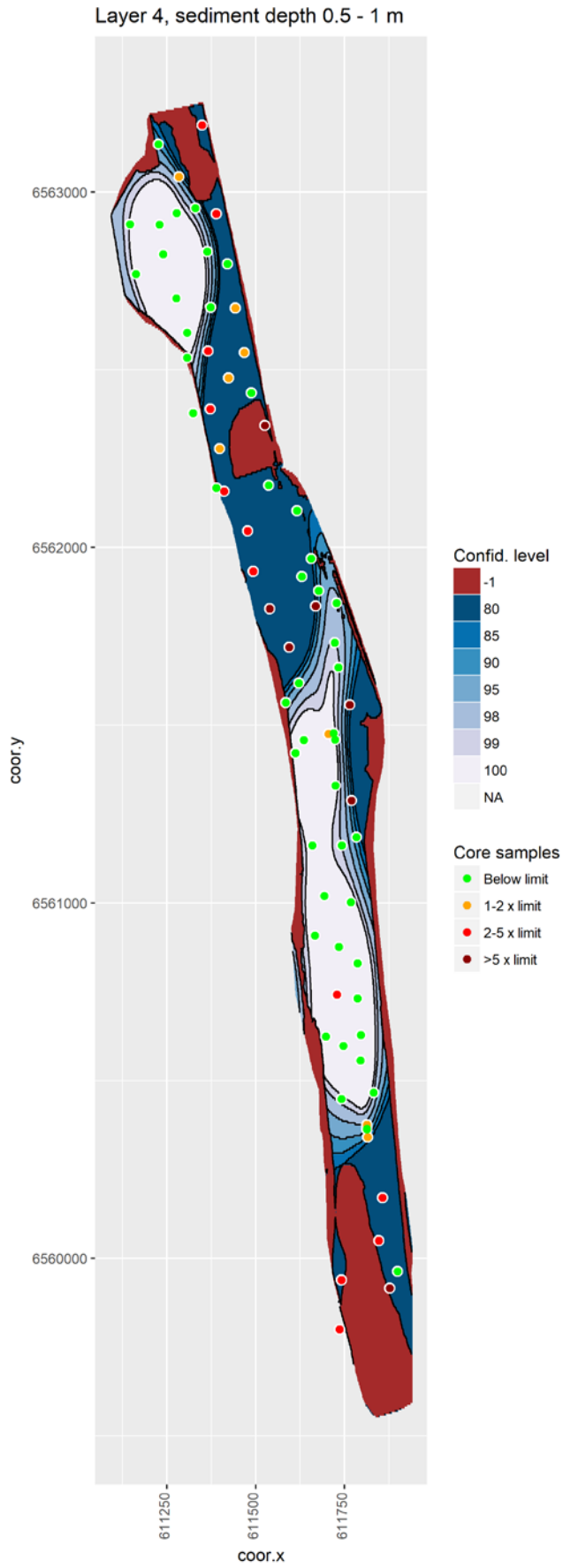
Wood, S.N. (2004) Stable and efficient multiple smoothing parameter estimation for generalized additive models. Journal of the American Statistical Association. 99:673-686

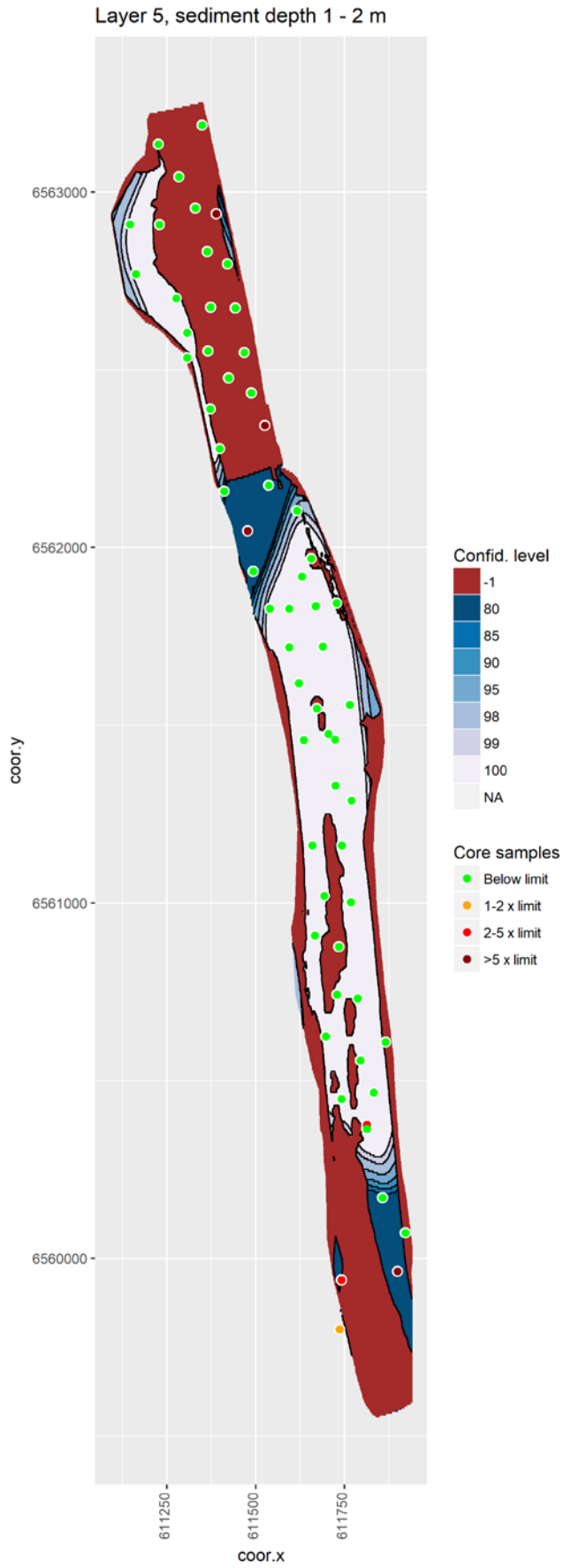
Vedlegg A. Valgte statistiske modeller for hvert dybdelag

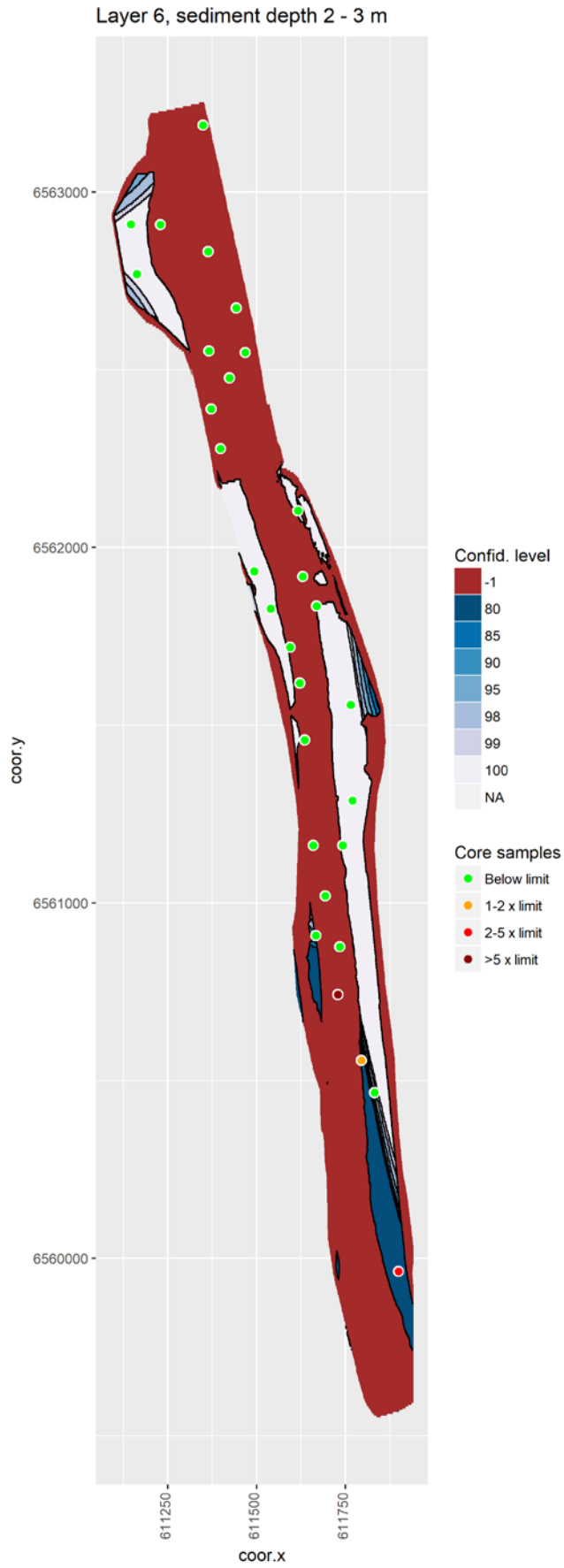


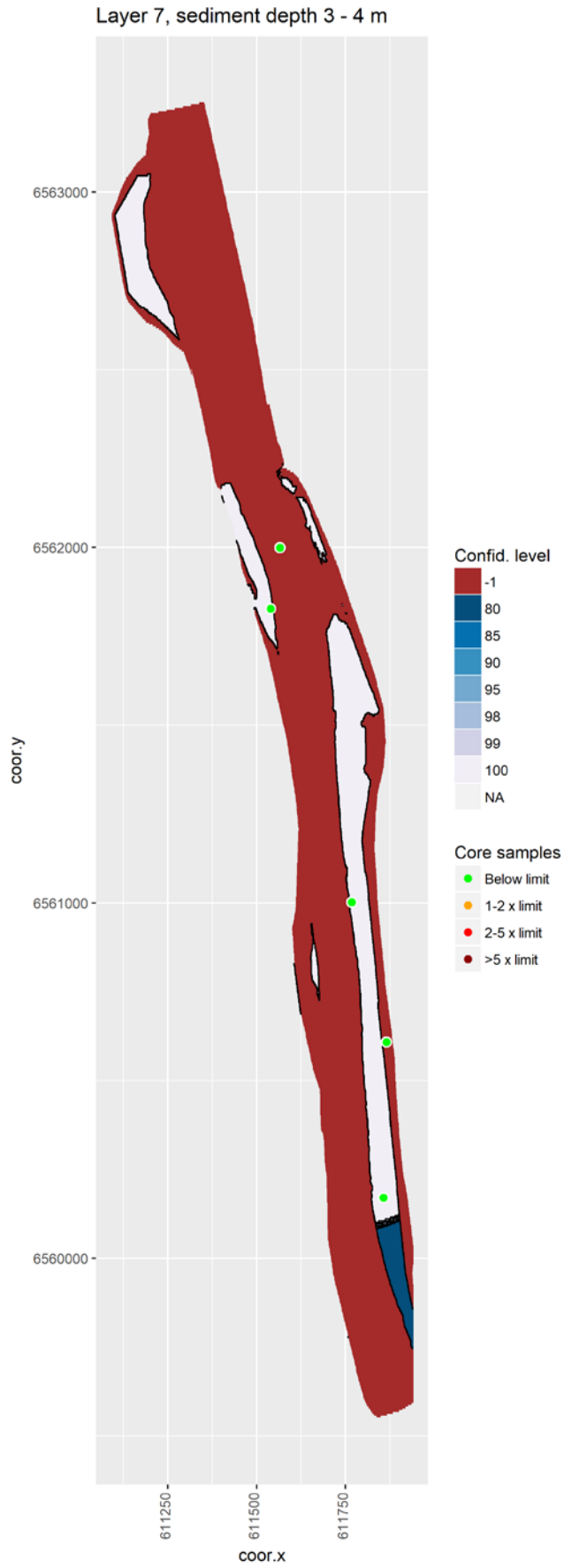


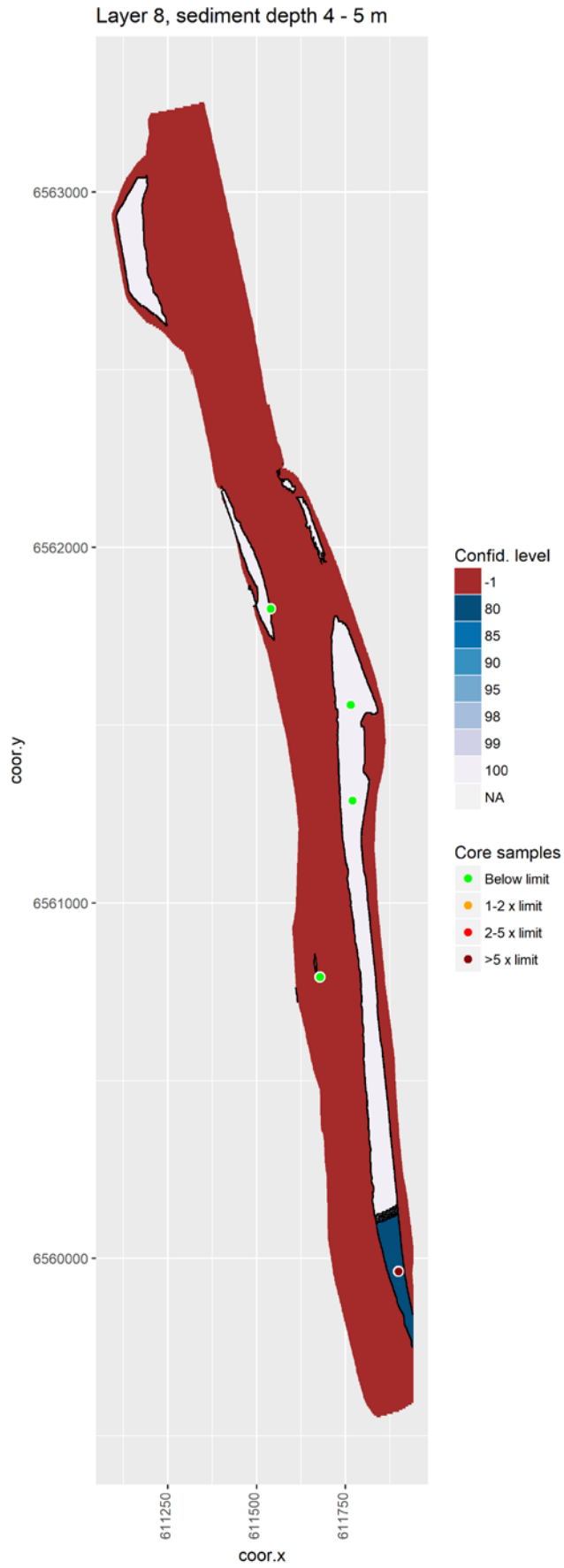


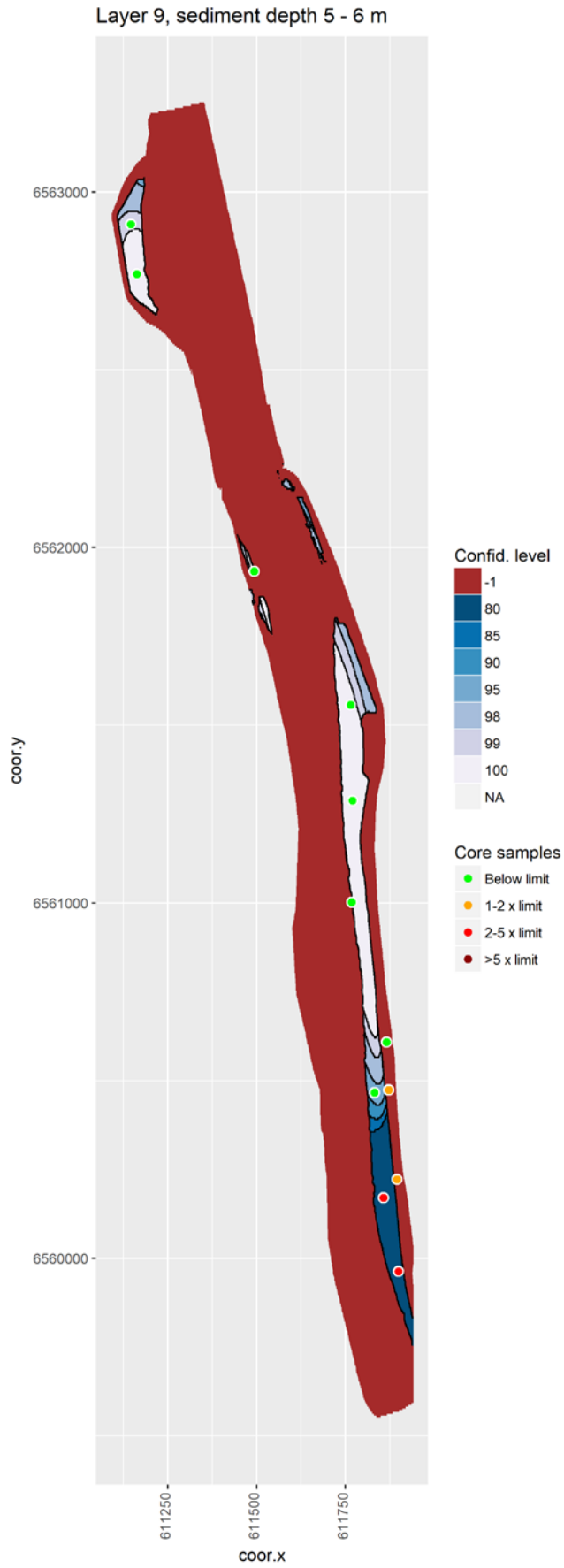


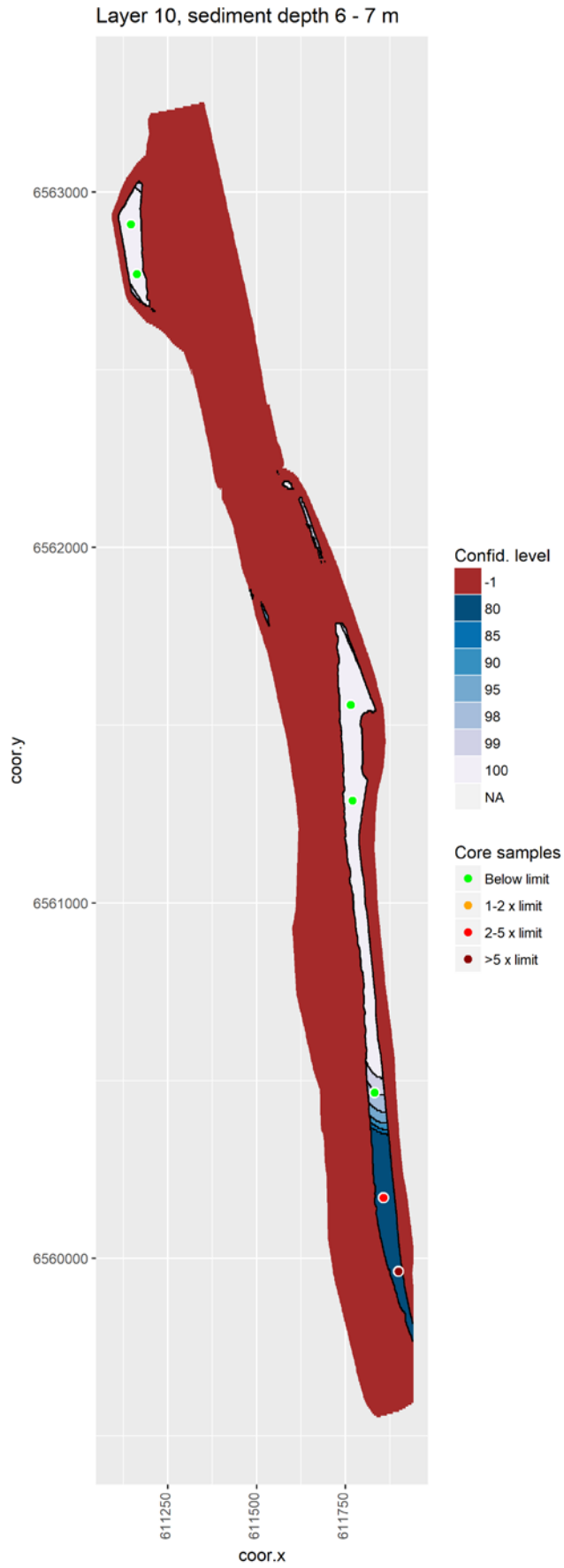


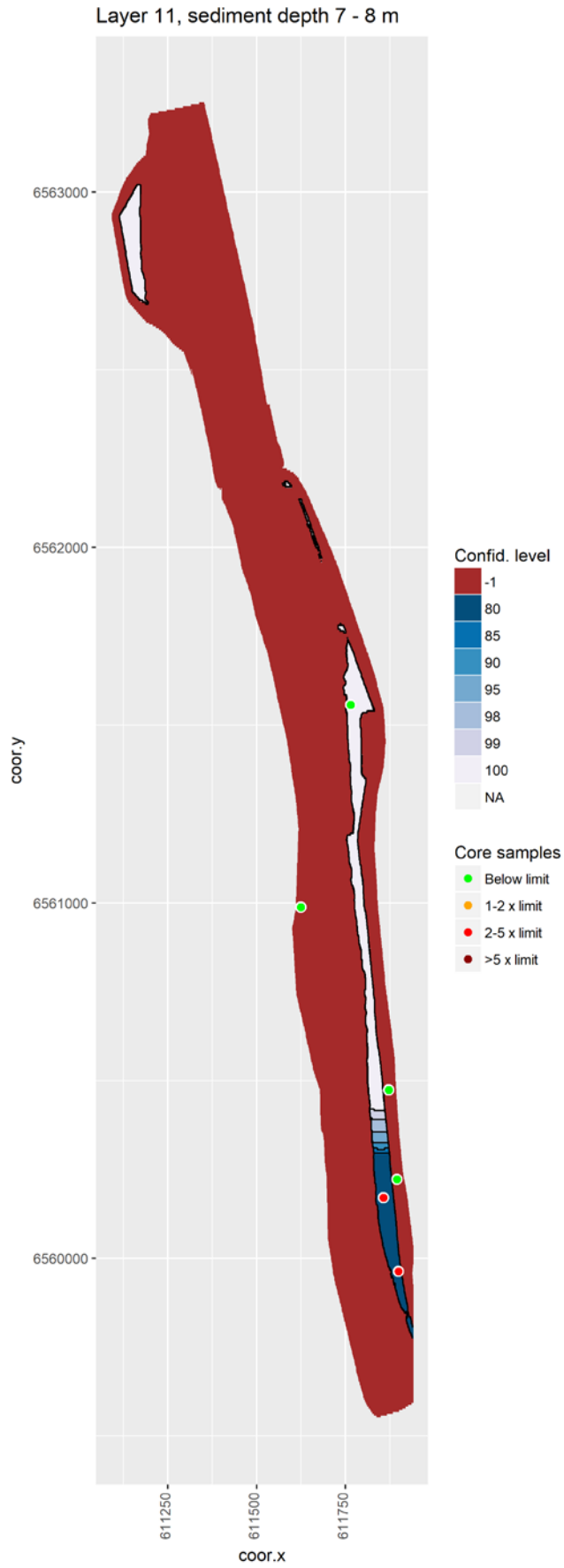


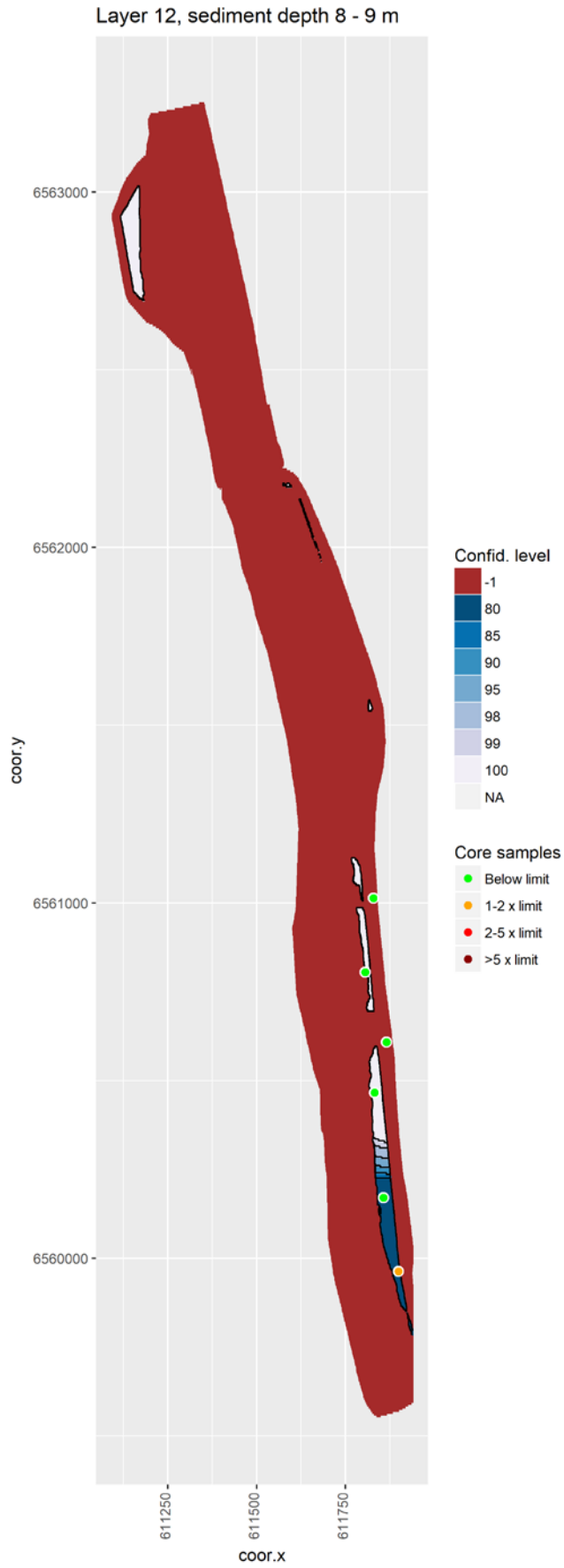




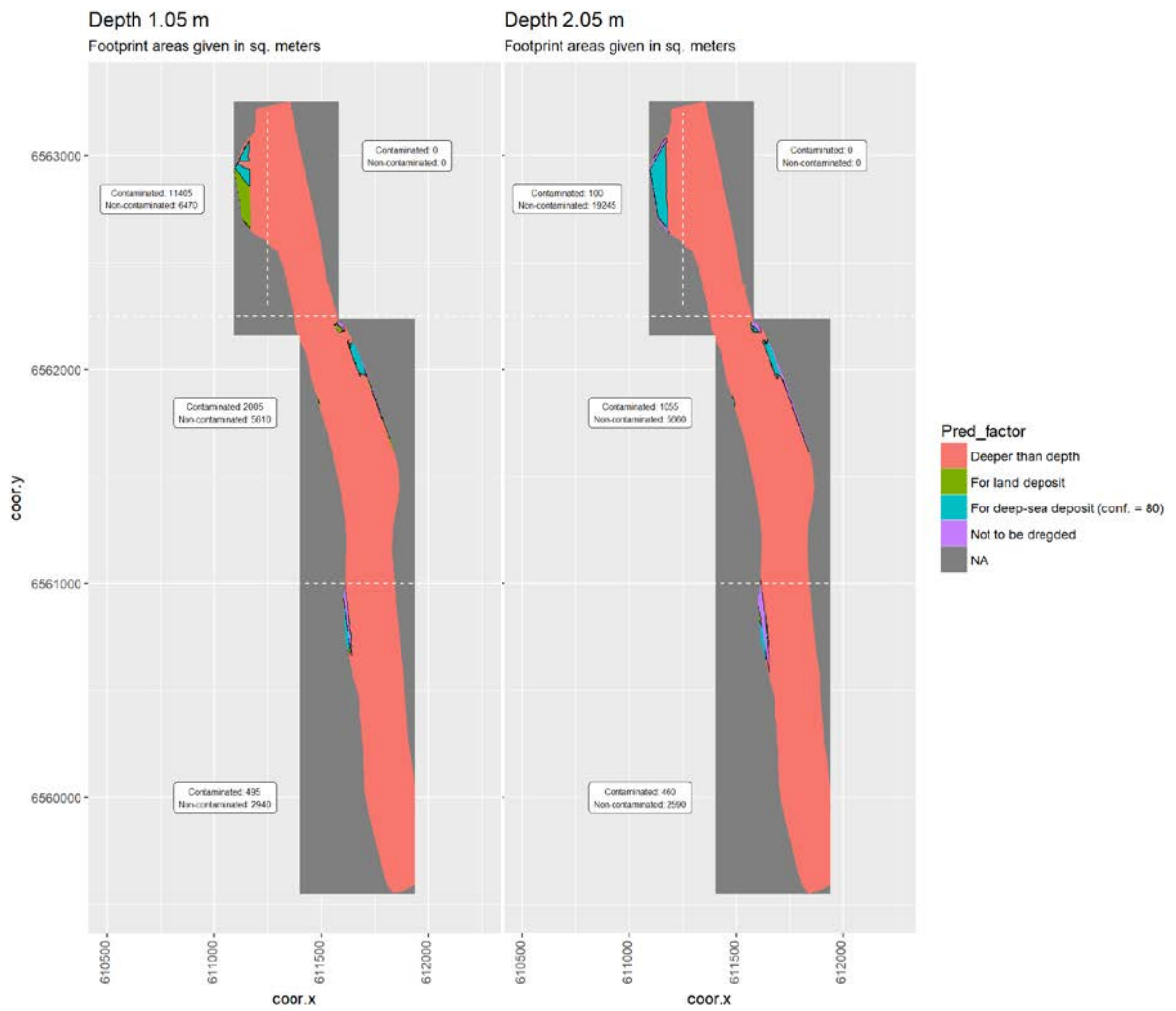


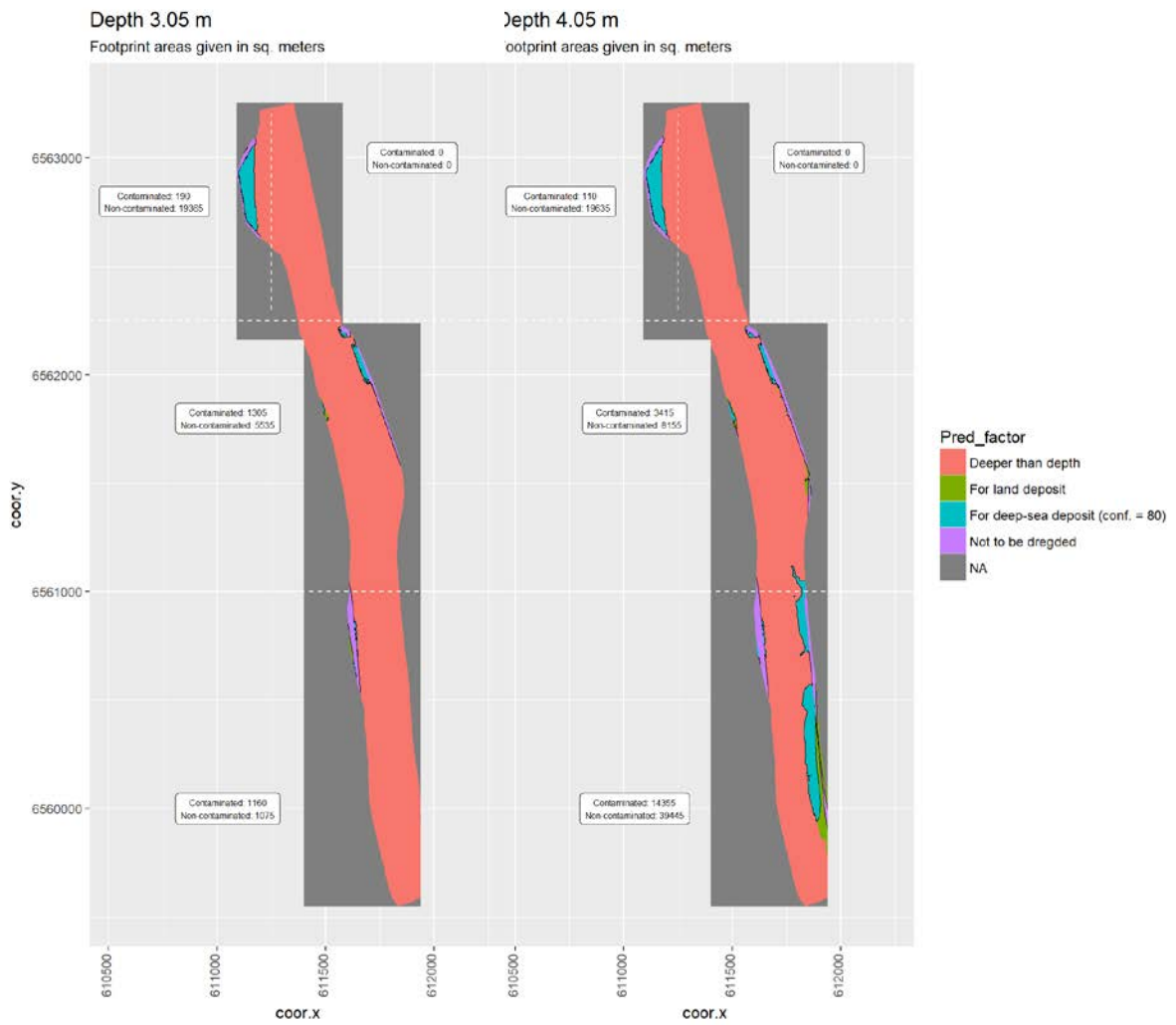


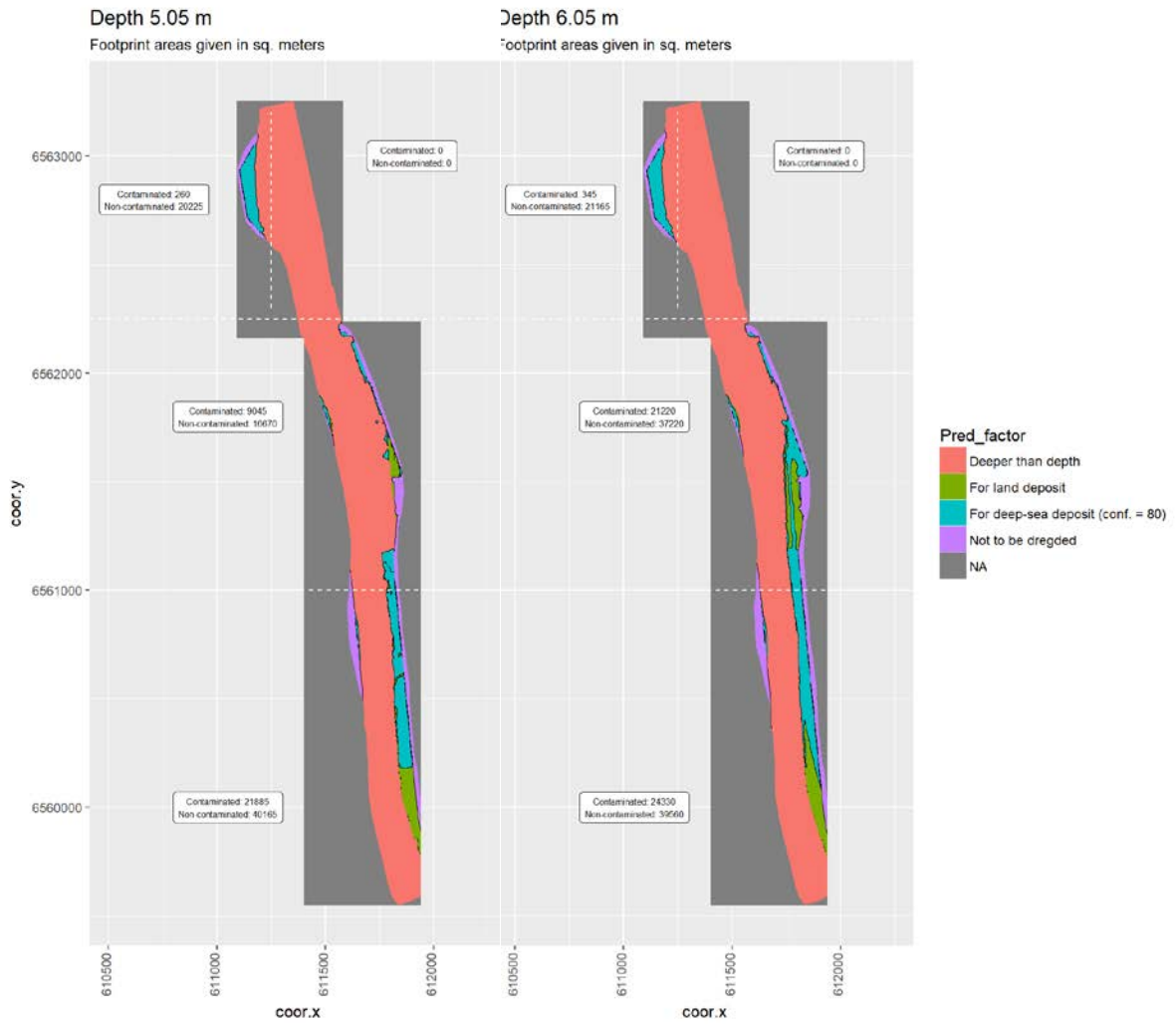


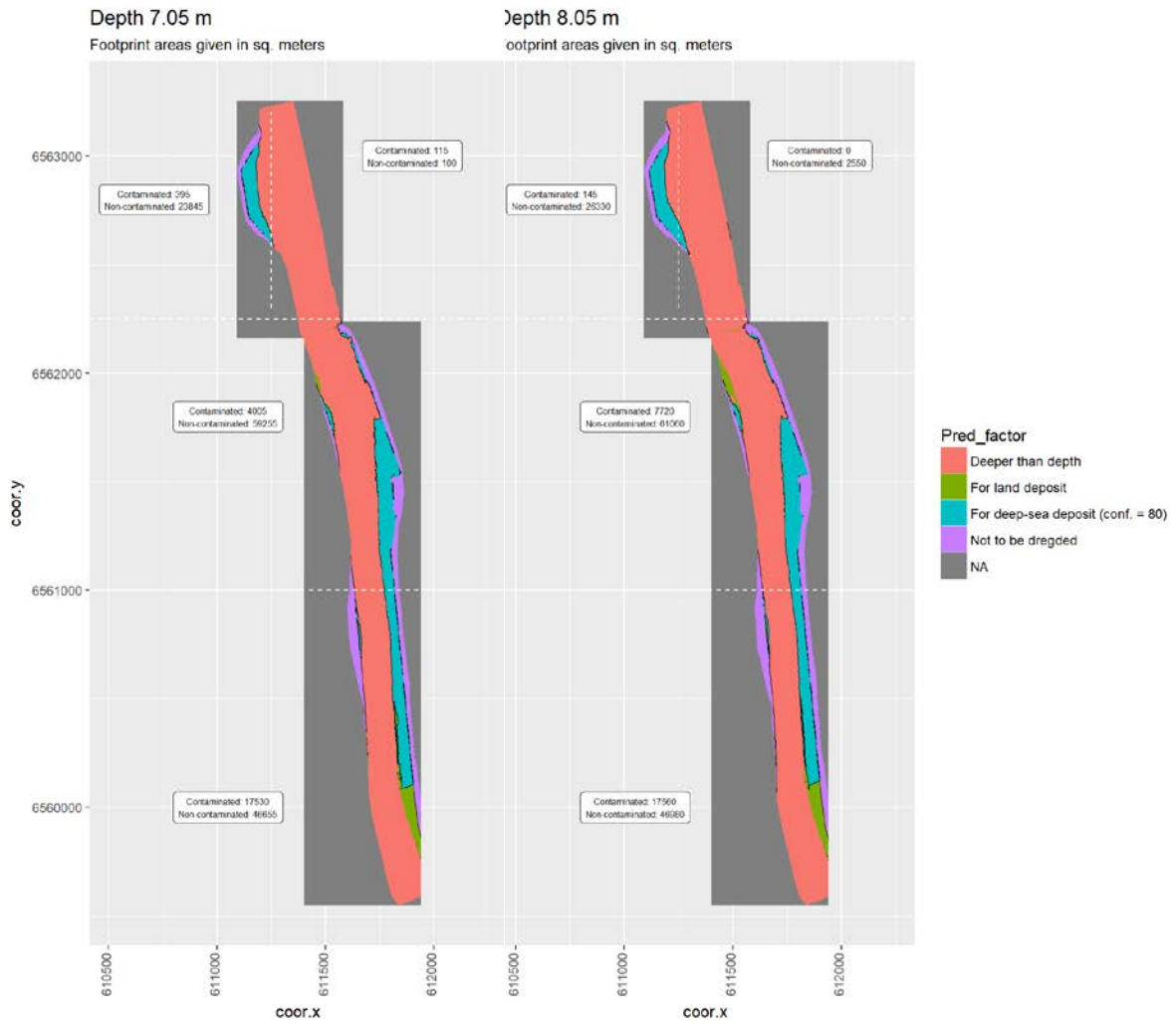


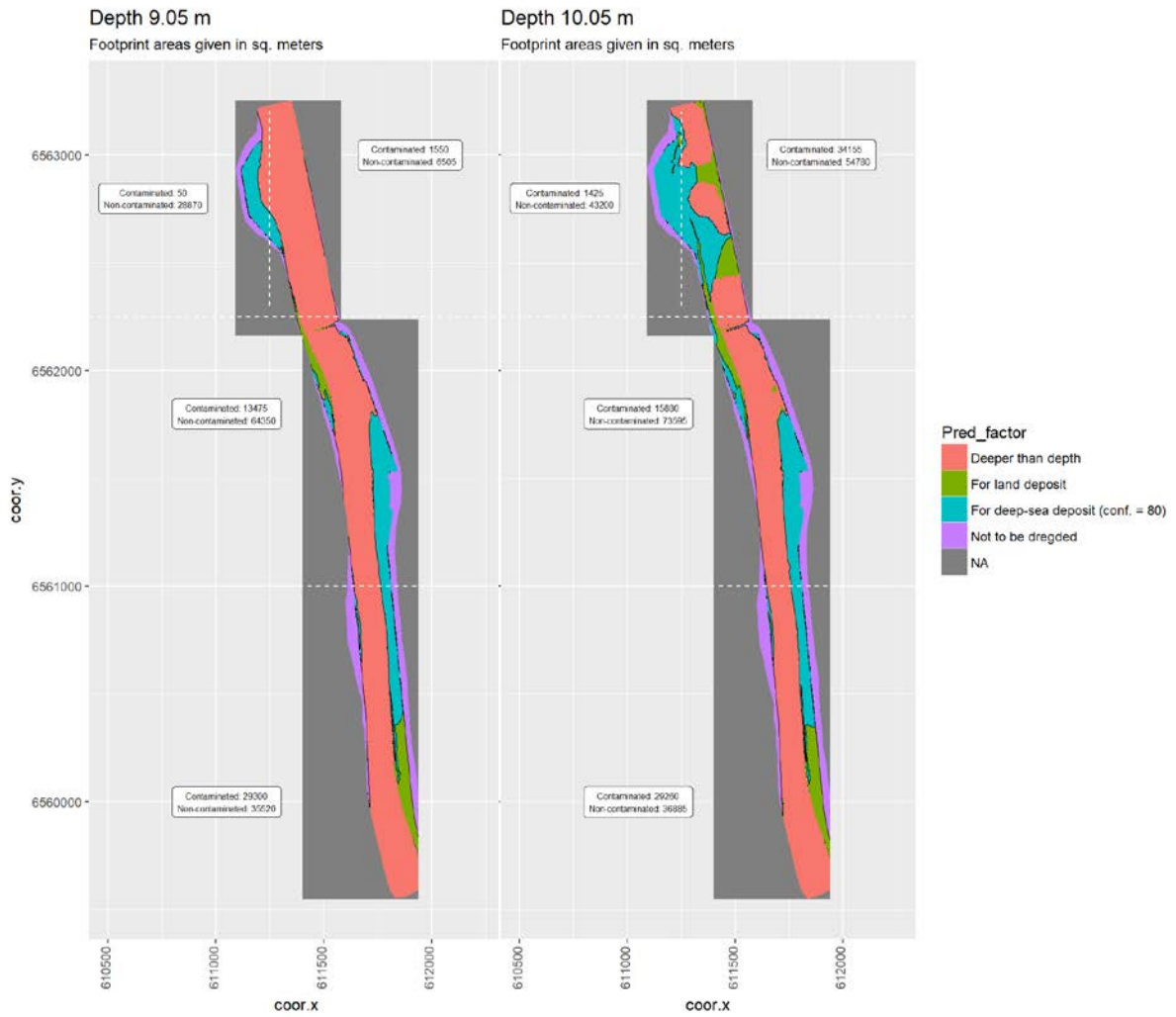
**Vedlegg B. Borg 1. Klassifisering av
sediment med vanddybde som referanse,
80% konfidens**

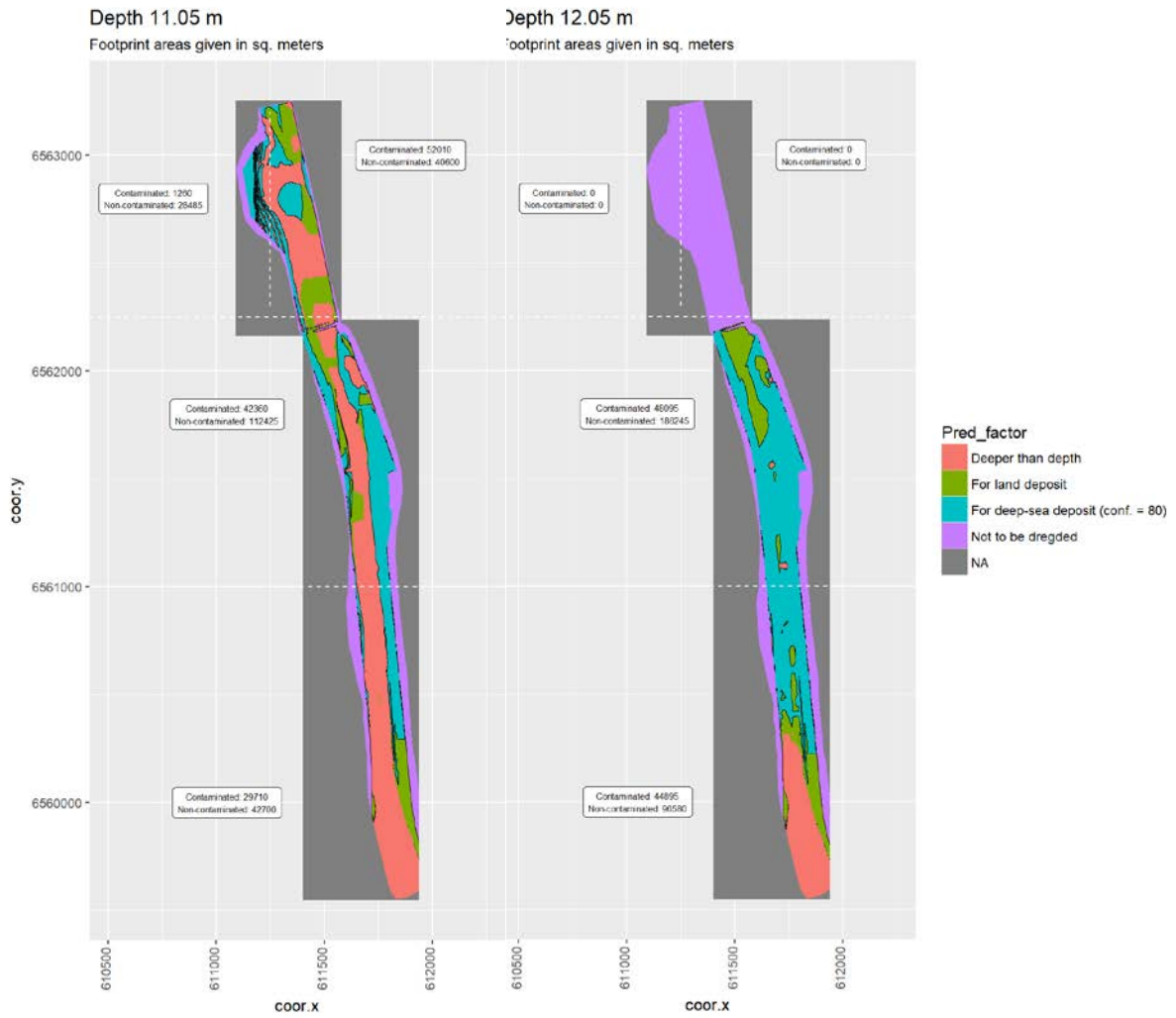


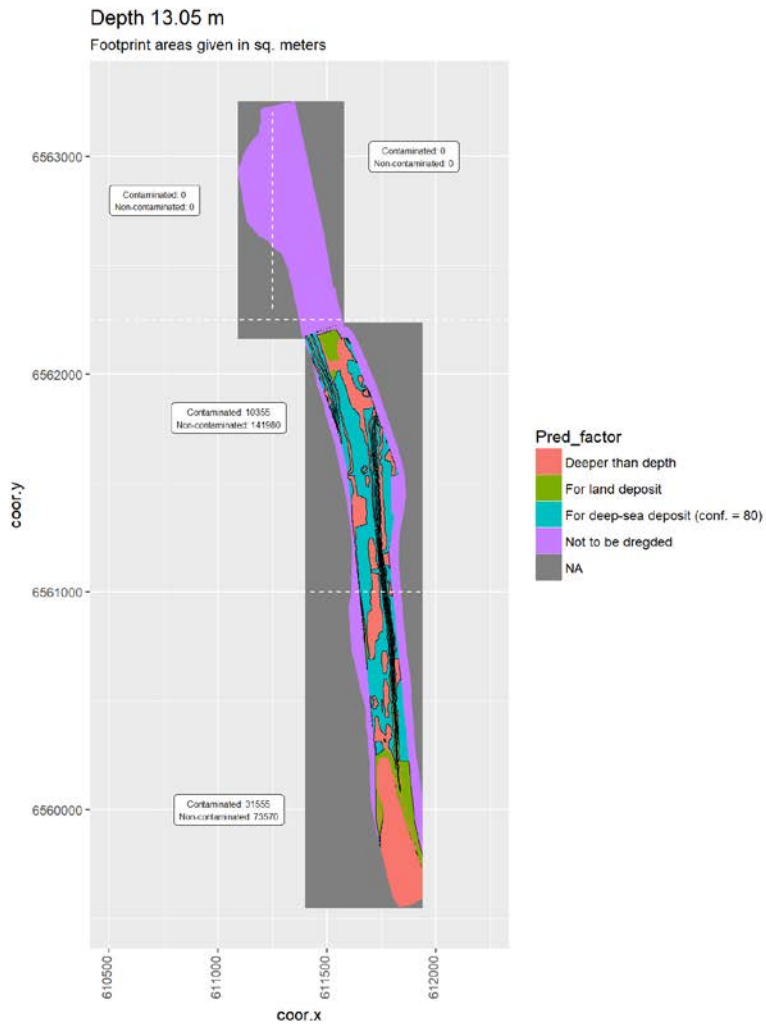




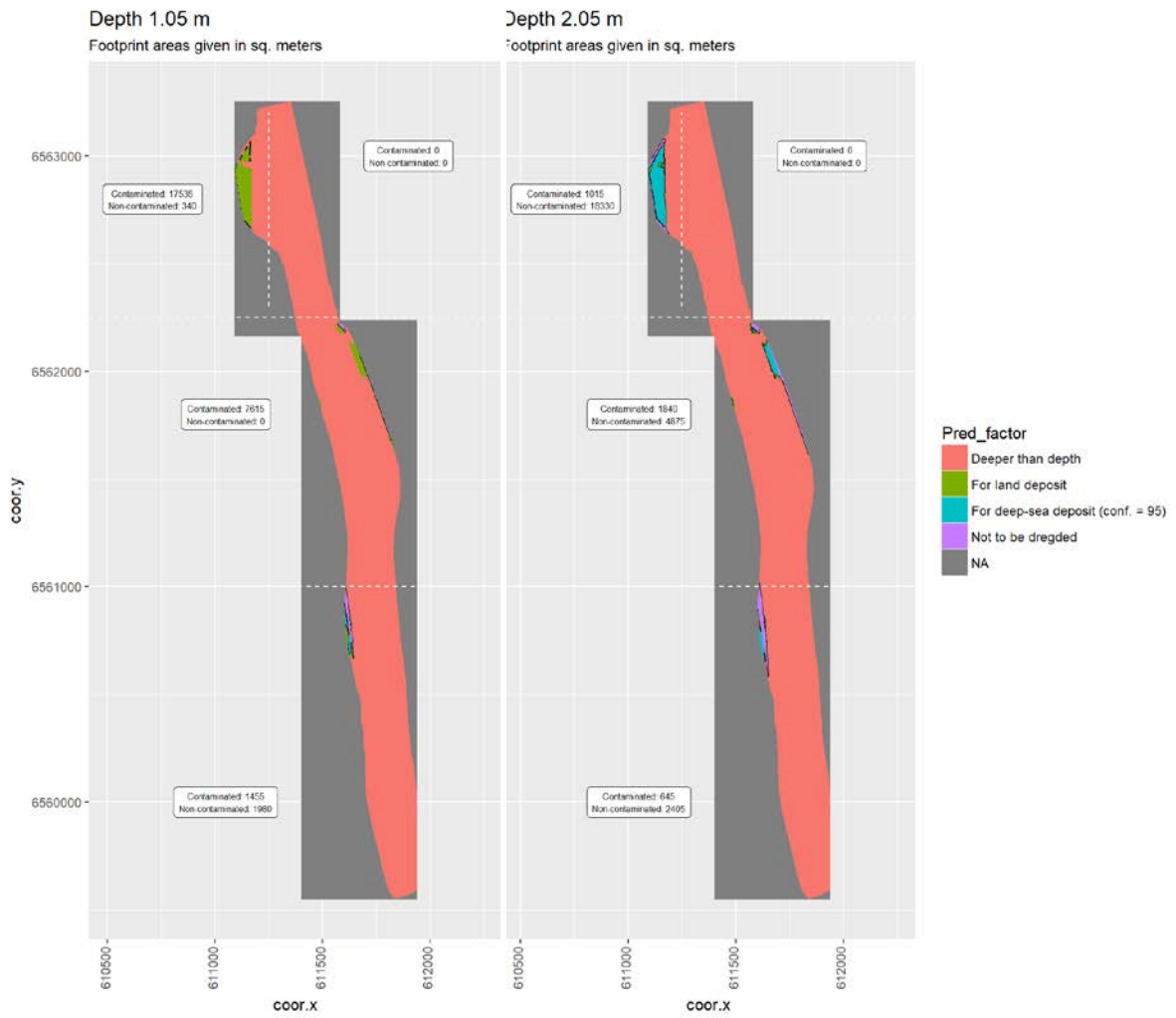


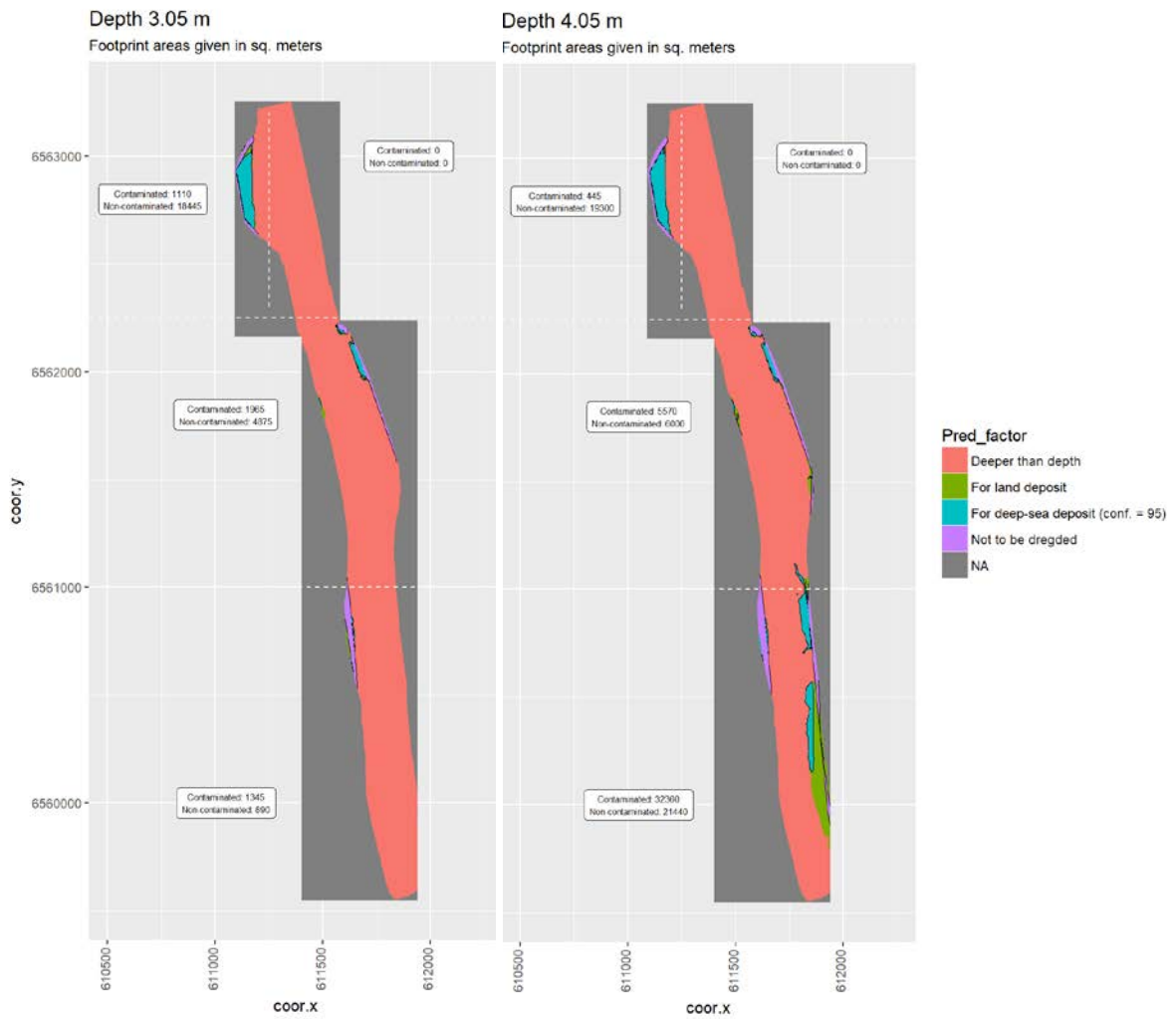


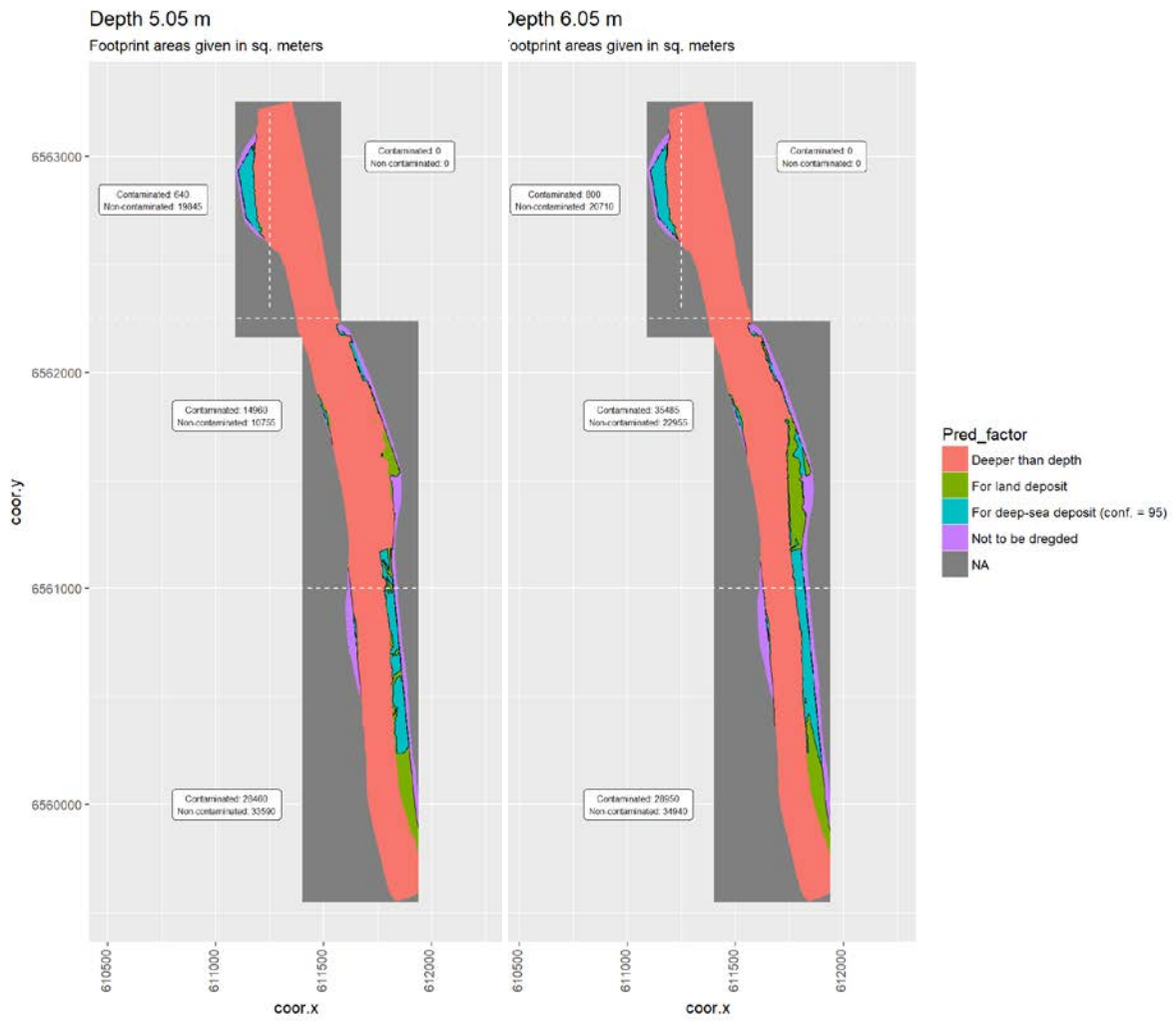


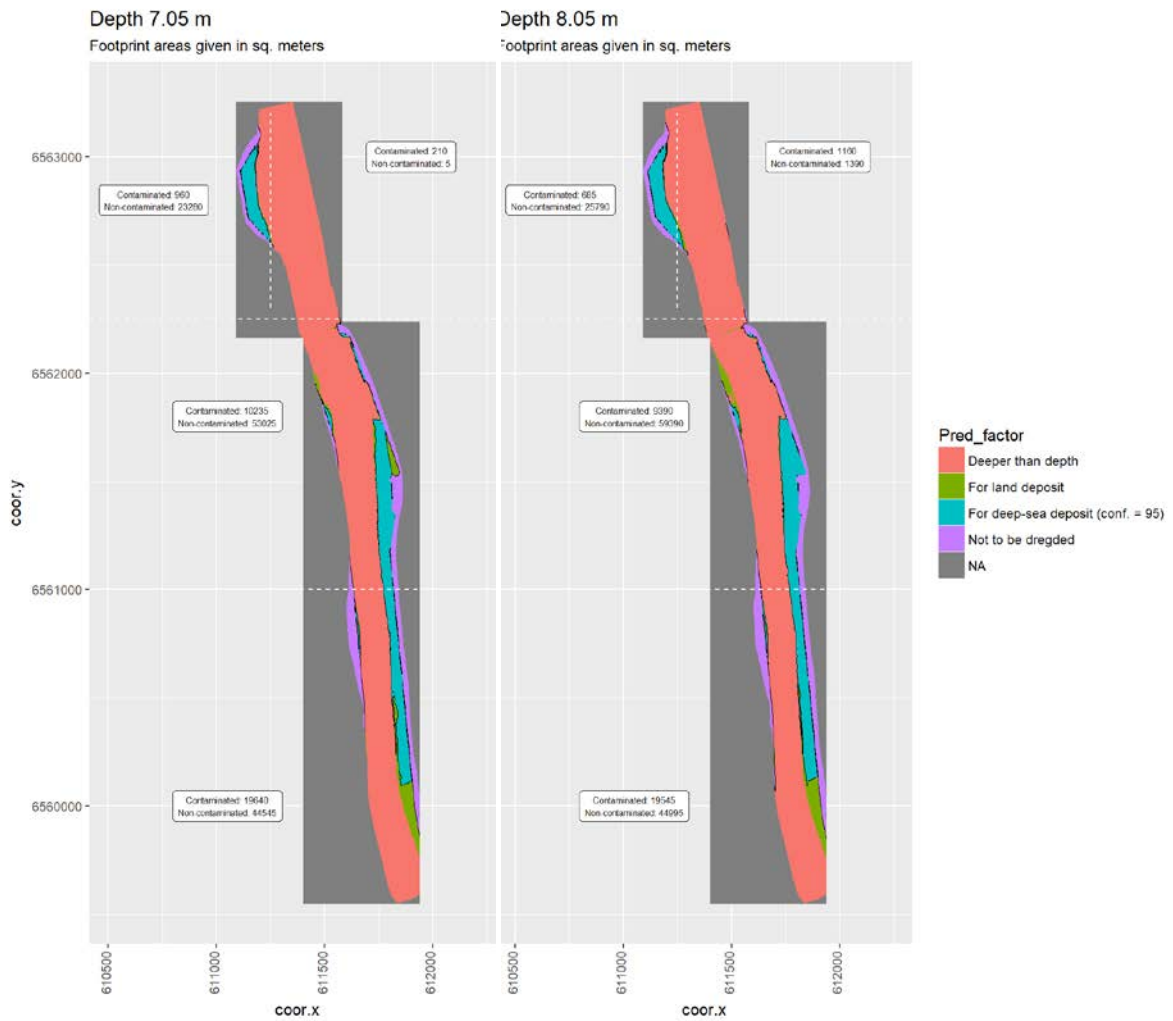


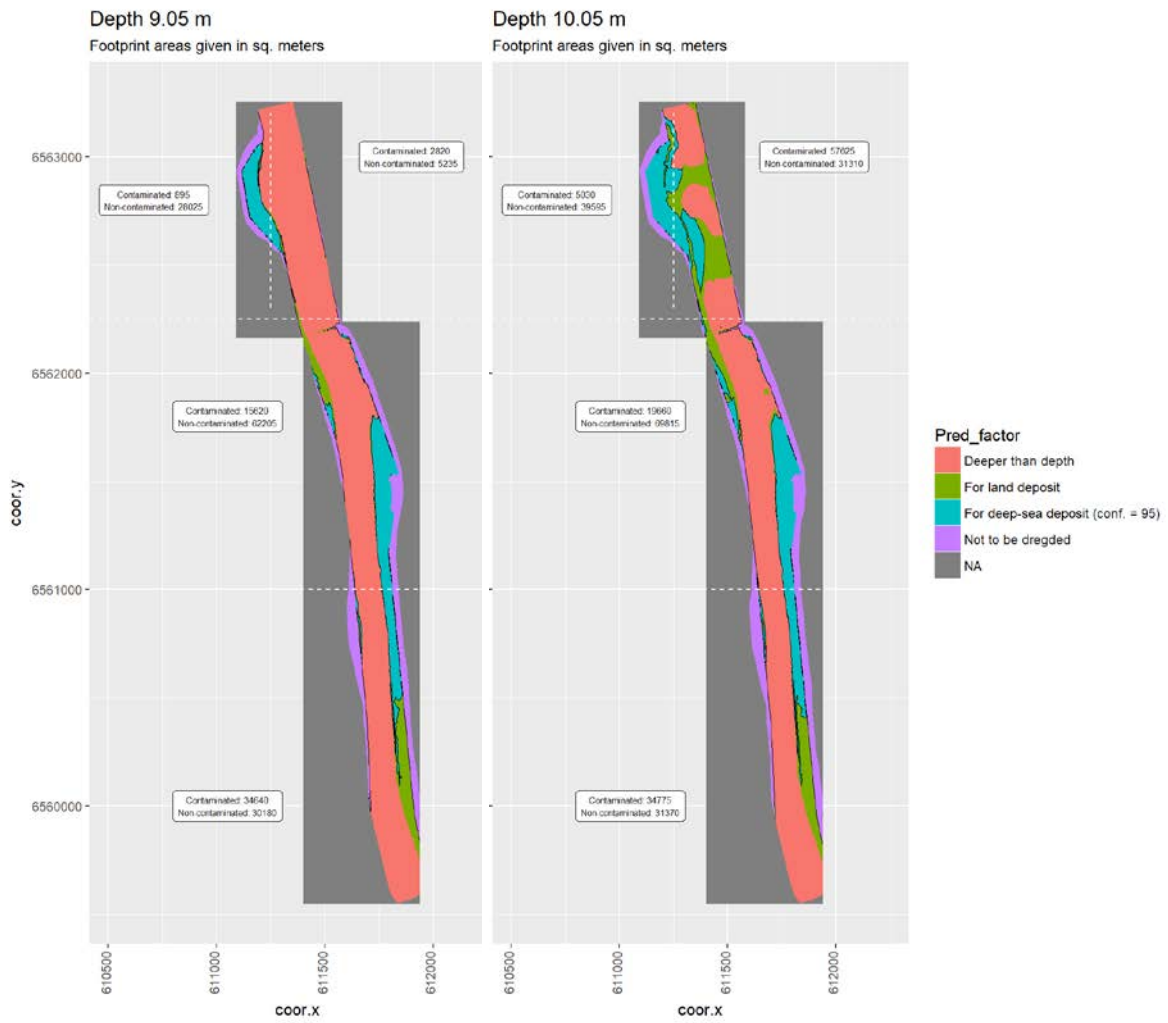
**Vedlegg C. Borg 1. Klassifisering av
sediment med vanddybde som referanse,
95% konfidens**

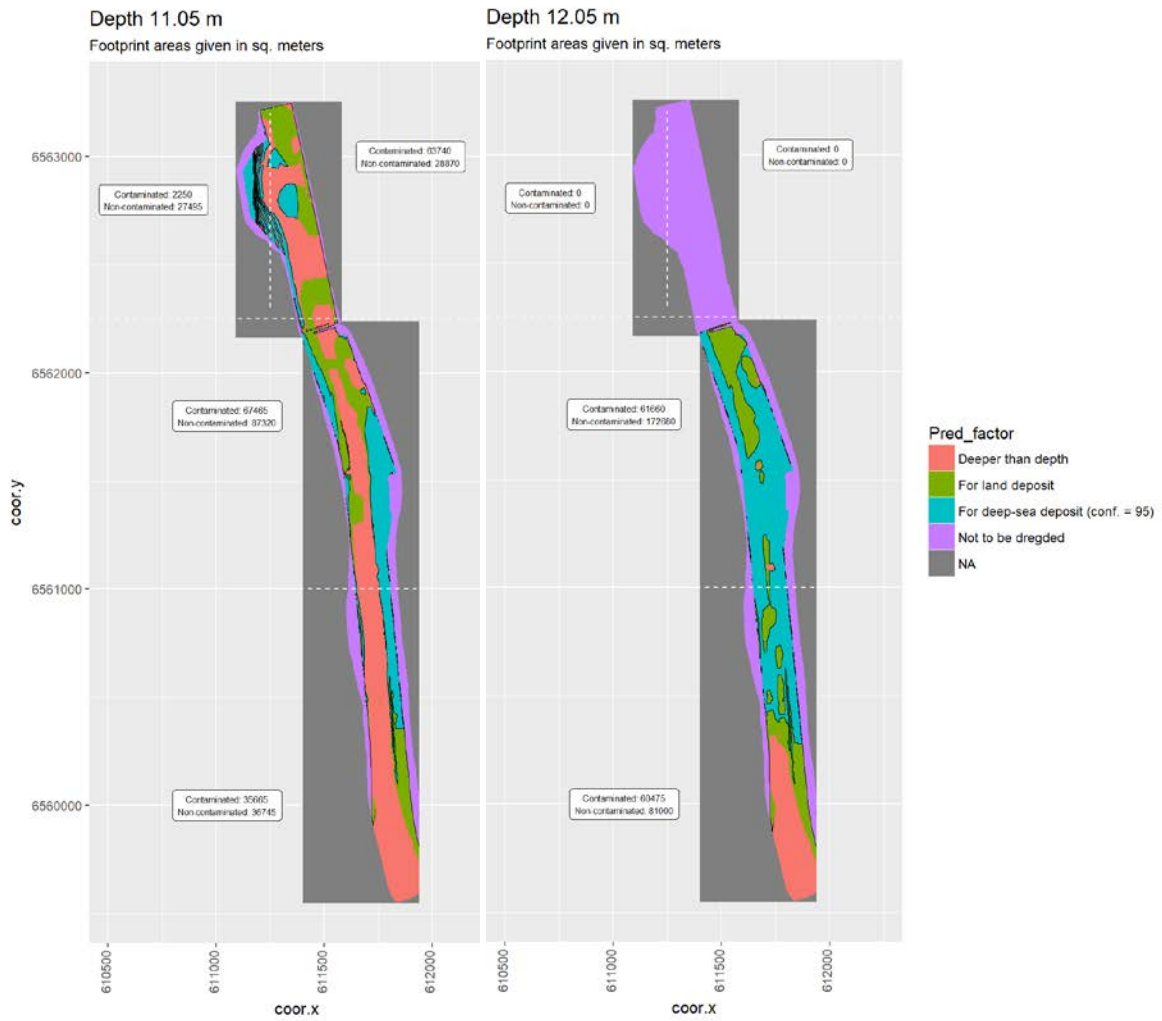


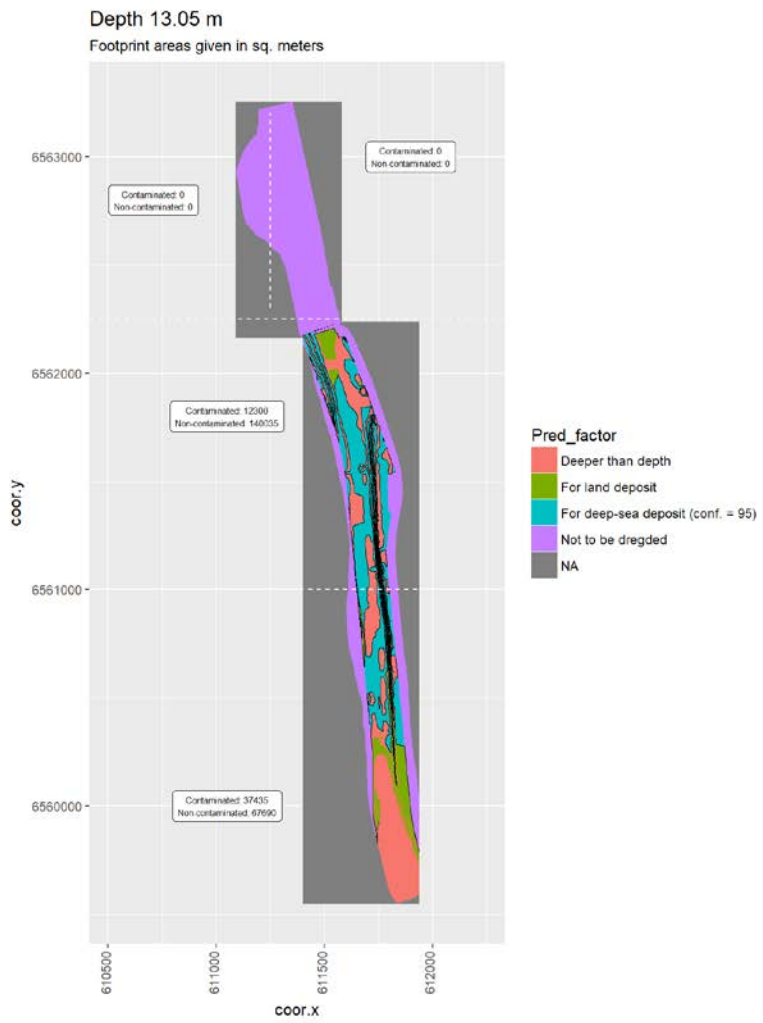












Vedlegg D. Borg 2, Flyndregrunnen. Sampling og klassifisering

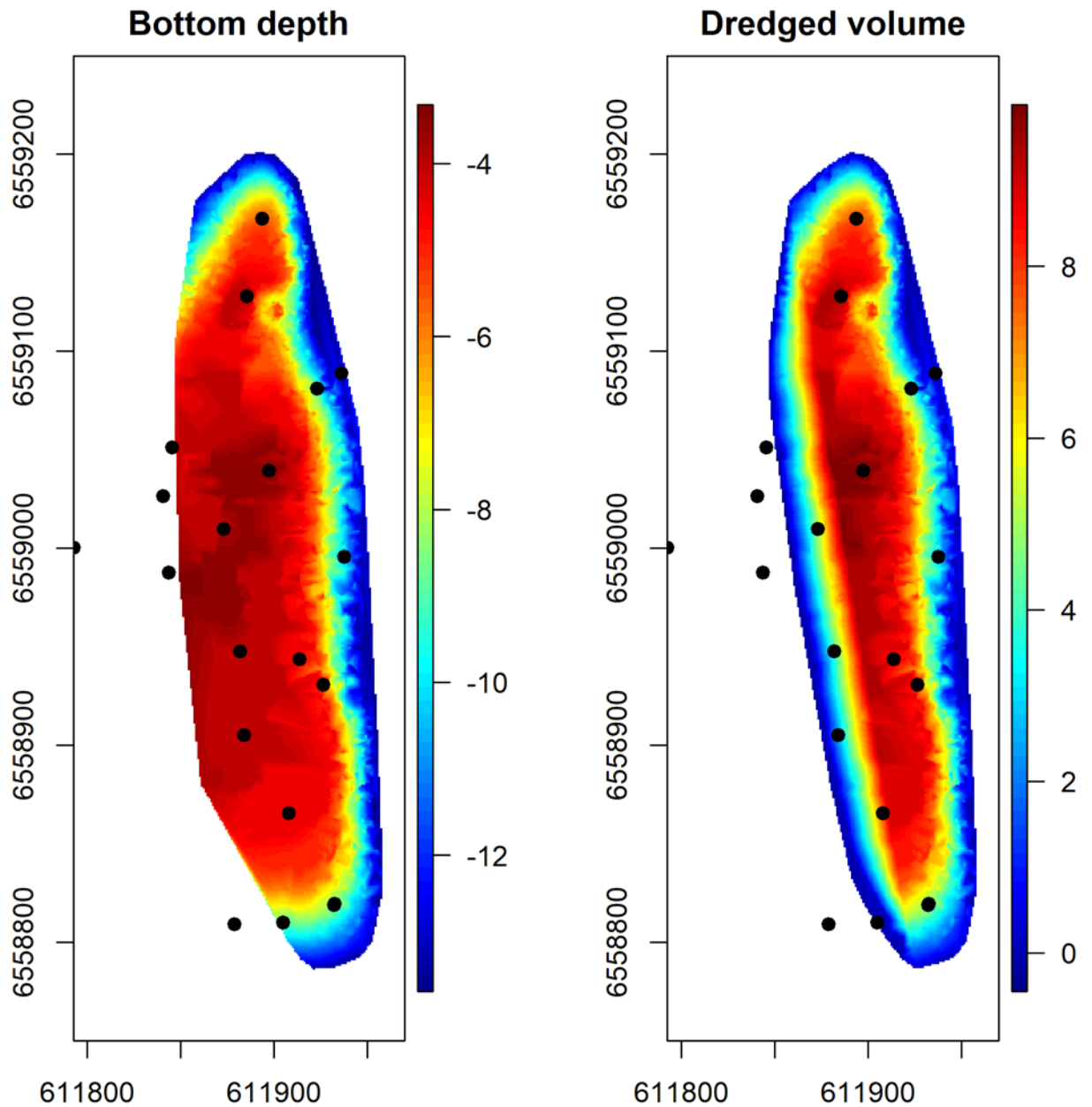
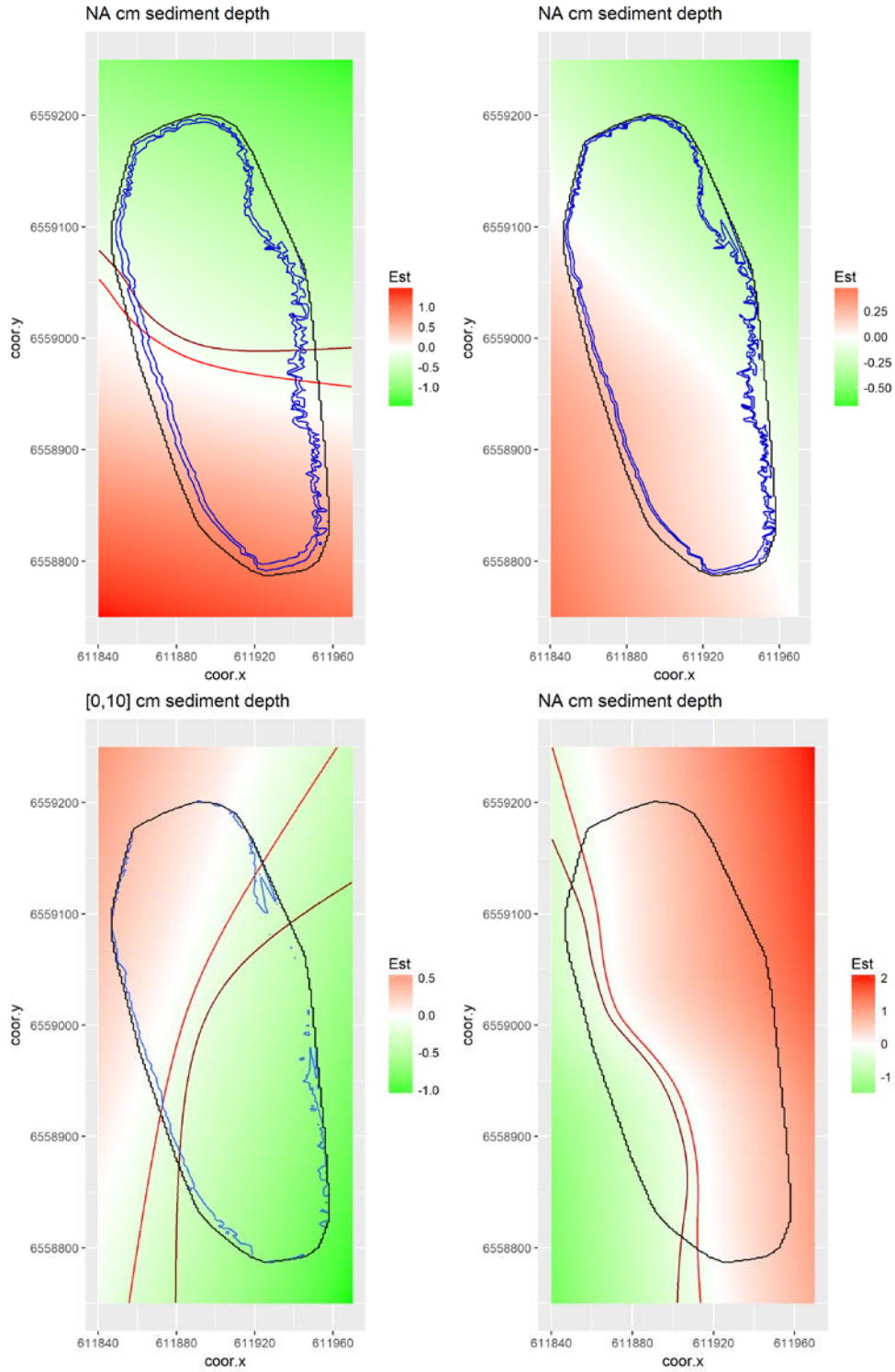


Fig. A4-1. Bunntopografi (venstre), sedimentdyb som er planlagt mudret (høyre), og prøvetaking (punkter)

Vedlegg E. Borg 2, Flyndregrunnen. Statistiske modeller



NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no